МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РОБОТОТЕХНИКИ

МОЛОДЕЖЬ И СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сборник трудов
XXII Международной научно-практической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых

15–17 апреля 2025 г.

Томск 2025

УДК 378:004(063)
ББК Ч481.23л0
М75

Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов
М75 XXII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 15–17 апреля 2025 г.) / под ред. А.С. Беляева ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2025. – 794 с.

Сборник содержит доклады, представленные на XXII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии», прошедшей в Томском политехническом университете на базе Инженерной школы информационных технологий и робототехники. Доклады принимались к обсуждению на секциях: «Автоматизация технологических процессов и производств», «Игровой дизайн и виртуальная реальность», «Мехатроника и робототехника», «Компьютерное зрение, обработка естественного языка и интеллектуальные системы», «Индустриальное и прикладное программное обеспечение», «Анализ данных и машинное обучение», «Цифровой дизайн».

Сборник предназначен для специалистов в области информационных технологий и робототехники, студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

УДК 378:004(063)
ББК Ч481.23л0

Редакционная коллегия

А.С. Фадеев, к.т.н., директор ИШИТР ТПУ, председатель оргкомитета;
М.С. Суходоев, к.т.н., доцент ОАР ИШИТР ТПУ, председатель 1-й секции;
В.И. Гончаров, д.т.н., профессор-консультант ОАР ИШИТР ТПУ, зам. председателя 1-й секции;
В.В. Видман, старший преподаватель ОИТ ИШИТР ТПУ, председатель 2-й секции;
В.В. Лоскутов, старший преподаватель ОИТ ИШИТР ТПУ, зам. председателя 2-й секции;
В.А. Коровкин, старший преподаватель ОИТ ИШИТР ТПУ, зам. председателя 2-й секции;
А.С. Беляев, к.т.н., доцент ОАР ИШИТР ТПУ, председатель 3-й секции, главный редактор;
Н. Поберезкин, старший преподаватель ОАР ИШИТР ТПУ, зам. председателя 3-й секции;
Н.Г. Марков, д.т.н., профессор ОИТ ИШИТР ТПУ, председатель программного комитета, сопредседатель 4-й секции;
В.Г. Спицын, д.т.н., профессор ОИТ ИШИТР ТПУ, зам. председателья программного комитета, сопредседатель 4-й секции;
А.О. Савельев, к.т.н., доцент ОИТ ИШИТР ТПУ, зам. председателя 4-й секции;
А.Ю. Малкин, ассистент ОИТ ИШИТР ТПУ, зам. председателя 4-й секции;
Е.А. Мирошниченко, к.т.н., доцент ОИТ ИШИТР ТПУ, председатель 5-й секции;
Р.В. Ковин, к.т.н., доцент ОИТ ИШИТР ТПУ, зам. председателя 5-й секции;
В.А. Дорофеев, к.т.н., доцент ОИТ ИШИТР ТПУ, зам. председателя 5-й секции;
К.В. Вик, старший преподаватель ОИТ ИШИТР ТПУ;
Е.И. Губин, к.ф.-м.н., доцент ОИТ ИШИТР ТПУ, председатель 6-й секции;
А.Д. Брагин, старший преподаватель ОИТ ИШИТР ТПУ, зам. председателя 6-й секции;
М.С. Кухта, д.ф.н., профессор ОАР ИШИТР ТПУ, председатель 7-й секции;
Е.В. Вехтер, к.пед.н., доцент ОАР ИШИТР ТПУ, зам. председателя 7-й секции;
А.В. Цавнин, к.т.н., зам. директора по развитию ИШИТР ТПУ, председатель МСИТ-ЭКСПО;
А.А. Филипас, к.т.н., зав. каф. – рук. ОАР на правах кафедры, зам. председателя МСИТ-ЭКСПО;
В.С. Шерстнев, к.т.н., зав. каф. – рук. ОИТ на правах кафедры, зам. председателя МСИТ-ЭКСПО.

Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание представленной информации ответственность несут авторы

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ И ЕГО АПРОБАЦИЯ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

Тихонов А.В., Зарницын А.Ю. 18

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПОЛИГОНОМ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ООО «КЭПС»

Жиляев М.Р., Саблина Г.В. 24

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА ОПЕРАТОРА ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ ГАЗА В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ «РТСИМ»

Заречнева Е.Д., Зебзеев А.Г., Шумейко А.О. 30

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИЙ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ МОДЕЛИ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА С ВОДЯНОЙ РУБАШКОЙ

Балахнин И.А., Тутов И.А. 36

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗА В ТРУБОПРОВОДАХ

Филипас А.А., Павленко П.В., Макаров Д.С., Уфимцев А.В. 40

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАСЛЯНОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ГАЗА

Можейко Л.А. 46

ВЕБ-СЕРВЕР ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА

Бояринцев А.Э., Солдатов А.И. 52

ВЫДЕЛЕНИЕ ТРЕНДА ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ОРТОГОНАЛЬНО-БАЗИСНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ПРОЕКЦИОННОГО АЛГОРИТМА

Аверкина Д.А., Беляускене Е.А., Глазырин А.С. 55

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ГАЗОКОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Вершинин И.М. , Семёнов Н.М. 61

ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЮДЖЕТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ

Вирвич П.В.., Курганов В.В. 66

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ПРОЕКЦИОННОГО АЛГОРИТМА
Иванов К.М., Кулеш Ю.О., Глазырин А.С. *72*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРШЕВОГО СУДОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ БЕСПИЛОТНОГО КАТЕРА
Казанцев А.В. 77

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА
Парыгин Р.П., Саблина Г.В. 81

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ ОБЪЕКТОМ С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ
Хрипунов Ю.А. 86

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА КРОСС-500
Трубников Г.К., Скороспешкин М.В. 93

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СБОРОЧНОЙ СТАНЦИЕЙ
Лю Биньци 100

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА
Уфимцев А.В., Павленко П.В., Макаров Д.С. Филипас А.А. 104

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ»
Цалко М.А., Скороспешкин М.В. 109

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МНЕМОСХЕМ В ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ АСУ ТП ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ И ПОДГОТОВКИ НЕФТИ И ГАЗА
Голещихин Д.А., Зебзеев А.Г. 116

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИКИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА
Коновалов В.А., Павловский А.В., Филипас А.А. 120

ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ НА МИКРОФОТОГРАФИЯХ ЭМУЛЬСИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ, ОСНОВАННОЙ НА НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ И КЛАССИЧЕСКОГО МЕТОДА
Шэн Юйсы 124

МОДЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПУНКТА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА
Пастухов А.И. 130

MIL-ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ЗАДВИЖКОЙ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ СИСТЕМЫ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ
Пешков Н.С., Громаков Е.И. 136

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ГАЗОВ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДОВ
Погорелова А.Ю......140

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ПРОЕКЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ВЕДУЩЕЙ ГИПЕРПЛОСКОСТИ
Попов Е.И., Глазырин А.С., Копырин В.А., Попов С.С., Боловин Е.В.[5] 144

ДОРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КУСТА СКВАЖИН ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧЕЙ ГАЗА
Романов И.В., Зебзеев А.Г. 149

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ НА РАСПОЛОЖЕНИЕ КОРНЕЙ СИСТЕМЫ ИЗ ОБЪЕКТА ВТОРОГО ПОРЯДКА И ПИД-РЕГУЛЯТОРА
Скворцов М.В., Саблина Г.В. 155

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ
Чулков В.В., Беляускене Е.А., Боловин Е.В.. 159

КОРРЕКЦИЯ КАНАЛА РАЗРЕЖЕНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДНОЙ В КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ
Сапогова А.М.., Курганов В.В. 162

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КРИВОШИПНО–ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА
Шубадеев Н.О. , Саблина Г.В. 168

ИНТЕГРАЦИЯ IOT КОНТРОЛЛЕРА В СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
Степанова П.А.., Суходоев М.С......175

ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ СОТРУДНИКОВ АО «ТОМСКНИПИНЕФТЬ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
Байделюк Е.А. , Аксёнов С.В. 180

СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ «АНАЛИЗАТОР ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ЭМУЛЬСИЙ»
Ясинский Д.Д., Кучман А.В. 184

РАЗРАБОТКА L2 КОНЦЕНТРАТОРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА SPD НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ NICA
БЕРНГАРДТ А.Е., ЕРОФЕЕВ Д.В…… 188

DEVELOPMENT OF A DYNAMIC USER INTERFACE FOR AN ELECTRONIC DEVICE DESCRIPTIONS INTERPRETER FOR INTELLIGENT SENSORS
PUSHKARSKIY R.V., BELSKI V.A. 195

СЕКЦИЯ 2. ИГРОВОЙ ДИЗАЙН И ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

РАЗРАБОТКА ИГРОВОГО ДИЗАЙНА ОБУЧАЮЩЕЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ
ХОМЧЕНКОВ Л.Г., ИСКАКОВ В.М., КУЗЕННЫЙ Р.Е......199

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ VR-ГАРНИТУР
КУРТУКОВ Д.А. , ЛОСКУТОВ В.В. 204

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ 2D РЕНДЕРИНГА ДЛЯ КРОССПЛАТФОРМЕННОГО ИГРОВОГО ДВИЖКА
ЛОБАНОВ В.В., КОРОВКИН В. А. 210

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЧАСТИЧНОГО СЖАТИЯ ТЕКСТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ SRCNN
ГУНЬКО А.А., КОРОВКИН В.А......216

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИМУЛЯТОРА ОКАЗАНИЯ ПОМОЩИ В ЭКСТРЕННЫХ СИТУАЦИЯХ НА ЛЬДУ
ОВДИН А.Е. , ВИДМАН В.В. 222

ПРИЛОЖЕНИЕ «СИМУЛЯТОР МАШИНИСТА VR»
ВЕРЛИНСКИЙ М. В. 227

СЕКЦИЯ 3. МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕРАПИИ ЛЕЧЕНИЯ ОСТЕОХОНДРОЗА
НИКИФОРОВА Р.Л., ПАВЛОВСКИЙ А.В., ФИЛИПАС А.А......231

РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫВОДА ДАННЫХ НА ДИСПЛЕЙ ПРОТОТИПА МОБИЛЬНОГО СЕКСТАНТА
ЯКОВЛЕВ Б.С., ВЛАСОВА М.А......235

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ В PROJECT CHRONO: СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ
БРЫЛЕВ О. А., РОЗУМ Д. И. 238

РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ФОКУСИРУЮЩЕЙ НАСАДКИ ГРЕБНОГО ВИНТА ДЛЯ ДВИЖИТЕЛЯ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА
АГАЛАКОВ Д.А......243

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ РОБОТОВ НА ПОЛИГОНЕ
Сорокопудов Н., Филипас А.А. 247

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА НА МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЕ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЯМИ
Нгуен Х.Т., Филипас А.А. 253

РАЗРАБОТКА НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ПЕШЕХОДОВ
Цзи Юнань 259

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО ИНВАЛИДНОГО КРЕСЛА
Ма Лунтан 266

РАЗРАБОТКА КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ
Борзенко Е.И., Сафиуллина А.А. 272

НАХОЖДЕНИЕ И КОРРЕКЦИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ РОБОТА ROBOTINO FESTO ПО СРЕДСТВОМ QR-КОДА
Командинов П.А. , Кривошеев Н.А. 277

РАЗРАБОТКА РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УТРАЧЕННОЙ ФУНКЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА
Борзенко Е.И., Жданов Д.С., Макаров Р.Е. 283

ADAPTIVE ENCODER ALIGNMENT FOR MAXIMIZING TORQUE AND SPEED IN SYNCHRONOUS MOTORS
Dotti P., Poberezkin N. I. 288

СЕКЦИЯ 4. КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ, ОБРАБОТКА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

АЛГОРИТМ СОРТИРОВКИ ИЗЮМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ
Язынин А.К. 294

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПОЛИГОНОМ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ООО «КЭПС»
Абдрашитов В.Р., Сидоров В.В., Сухоруков А.А. 298

РЕГИСТРАЦИИ ПОКАЗАНИЙ РТУТНОГО ТЕРМОМЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ
Чжан Юньда, Суханов А. В. 304

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ КАСКАДНЫХ ПРОТОКОЛОВ ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК В СИСТЕМАХ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ
Репников Н.И. 311

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕНЕРАЦИИ ЗАКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ СНИМКОВ
Пан А.Э, Аксёнов С.В. 318

ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА
Волков В.К., ,Спицын В.Г. 322

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ КАНАЛА WI-FI
Борн Р.С. 328

ПРИМЕНЕНИЕ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ И МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА
Бабинович А.Е. 333

ВЛИЯНИЕ АДДИТИВНЫХ ПОМЕХ НА КАЧЕСТВО СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ СНИМКОВ ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ, ВЫПОЛНЯЕМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ MO-U-NET
Булько С.В. , Малкин А.Ю. 338

ВЫБОР МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ АЛГОРИТМА КЭННИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАНИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ
Сюэ Юйнин 343

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ESP-CAM И RASPBERY PI ПРИ ОБУЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЯМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
Анакова Д.Т., Кудрявцев Н.Г. 348

ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLO ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ
Демлер И.С. 354

ДАТАСЕТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЪЕКТНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЛЕТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕПЛОИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ
Евсюткин И.В. , Небаба С.Г. , Курило Ю.Ю. , Кушнарев А.А. 360

АДАПТИВНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА БАЗЕ ОТКРЫТЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
Зайда А.В. 366

D-СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА НА СНИМКАХ МРТ
Закиев Я.Т., Спицын В.Г. 372

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLOV5 И YOLOV8 ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ ЛЕТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ
Клековкин В. А. 378

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ НА ВИДЕО
Кузнецов И.Е. 384

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ MO-U-NET С РОБАСТНОЙ ФУНКЦИИ ПОТЕРЬ ХЬЮБЕРА В УСЛОВИЯХ ЗАШУМЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
Малкин А.Ю. 390

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПОРАЖЕННЫХ ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ НА СНИМКАХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С МЕХАНИЗМОМ ВНИМАНИЯ
Мачука М.К.Р. 396

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АССИСТЕНТ ДЛЯ ОНЛАЙН-ОБРАЗОВАНИЯ
Брехова А.Г. 403

КЛАССИФИКАЦИЯ И ДЕТЕКЦИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
Эсенбеков Э. 407

ПРЕДОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLO В ШАХТАХ
Петровский В.В. 413

ОБРАБОТКА НОЧНЫХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИКАЦИИ ГАММА-КОРРЕКЦИИ
Сапегин А.А. 418

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLOv8 И YOLO ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ
Ли Цзюмин , Мамонова Т.Е. 422

МЕТОДЫ ПОИСКА АНОМАЛИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
Василенко В. И., Сурвилов А. О. 428

ДИАГНОСТИКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Тарасов Б.В. , Тимошкин В.В. , Борисова М.А. 432

МОДЕЛИ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLO ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ОБЪЕКТОВ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА
Тятюшкин И.М. , Кравченко А.А. 438

СЕКЦИЯ 5. ИНДУСТРИАЛЬНОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ПО ПОДБОРУ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ МАШРУТНЫХ ЛИСТОВ ДЛЯ ПУТЕШЕСТВЕННИКОВ
Сафьянников А.И. 445

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ДОКУМЕНТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ ПРОТОКОЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ PROTOQA
Дудник Д.А. 451

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АСИНХРОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДСИСТЕМЫ ЗАДАЧ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РИСКПРОФ
Грудина Н.А......458

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Михайлов Т.Ш. 462

РАЗРАБОТКА ВЕБ-СЕРВИСА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СЦЕНАРИЕВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ЦВЕТОВОЙ ПАЛИТРЫ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ КЛАСТЕРИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ
Кулешова Е.Е......467

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УВЕДОМЛЕНИЯ О ТЕКУЩЕМ УРОВНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА
Марцияш Д. А., Соколова В. В. 472

ПОСТРОЕНИЕ СОБЫТИЙНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ В СИСТЕМЕ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА
Зарубин В.А 477

РАЗРАБОТКА КРОССПЛАТФОРМЕННОГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПРИВЫЧЕК С ФУНКЦИЕЙ СОВМЕСТНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ
Ковалев Д.О. 482

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПОРТФЕЛЕМ
Науменко М.А., Соколова В.В......487

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА PWA-ПРИЛОЖЕНИЯ «SKILLMASTER» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В СФЕРЕ IT-ТЕХНОЛОГИЙ
Политыкин В. В., Кравец В.В., Дроздова А.Г., Старенченко Е.С., Клишин А.П. ..493

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ
Дмитрийчук Д.И., Дёмин А.Ю.....497

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА РАБОТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ С ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ
Малько А.Ю., Осипова В.В. 501

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «WI-FI-РАДАР»
Кошелюк Г.А., Каллистова А.А. 506

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ШАБЛОНИЗАЦИИ ЮРИДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ
Сидоров В.В., Абдрашитов В.Р., Сухоруков А.А. 511

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ PWA-ПРИЛОЖЕНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ВЕБ-ПУБЛИКАЦИИ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ
Яковлев С.Ю., Клишин А.П. 516

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ «НЕЙРОМОЛЬБЕРТ»
Мамонтов И.С. **,** *Хорошко А.Е.* **,**.....521

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПЛАНА КОГНИТИВНО-ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ
Шмулько А. Симонов Т.С., Ехлаков Ю.П......526

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ
Червов Т.О., Соколова В.В......530

СЕКЦИЯ 6. АНАЛИЗ ДАННЫХ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

СХЕМА ОЦЕНИВАНИЯ ВКЛАДА РАЗЛИЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ КОМПОНЕНТ В ОСЛАБЛЕНИЕ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ОБЛАКОМ
Алейник А.А. Шефер О.В.' 537

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ОБЛАКА
Алейник А.А. Шефер О.В.' 543

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО ПОРТФОЛИО СТУДЕНТА НА ОСНОВЕ БЛОКЧЕЙНА
Богорадникова Т.Г., Родионов А.В.. 548

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТОРГОВОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ БАНКОВСКИХ И КРИПТОВАЛЮТНЫХ API
Иордан И.Н......554

АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ПОРОД
Денисов В.И., Андренкова Е.А. 557

ОБРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
Шокодько Ф.А., Катаева С.С......563

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПАРСИНГА ВЕБ-СТРАНИЦ И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TELEGRAM-БОТА И АЛГОРИТМОВ ИИ
Марухина О.В., Шахтарин Д.Д......568

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИИЙ
Губин Е.И., Котов А.О......572

ПРИМЕНЕНИЕ LLM-АГЕНТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОД-РЕВЬЮ
Рыбаченко И.А......577

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЛАКОВ ТОЧЕК ОБЪЕКТОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ
Штайн В.А. *581*

ОБЗОР МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
Залогин Н.Е......586

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПЕКТРОСКОПИИ
Новоселов И.Е., Бакланова О.Е. 591

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЛАКА ТОЧЕК
Будзиаловский П.Б. 600

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ U-NET В ЗАДАЧАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
Денисов В.И., Семенченко Н.Е. 606

СИНТЕЗ ДАННЫХ ДЛЯ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА
Загибалов М.А. 612

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
Смирнов А.А. 615

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БУДУЩИХ ТЕНДЕНЦИЙ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
Солиев И.Б. 621

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПОЛИГОНОМ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ООО «КЭПС»
Губин Е.И., Франсис Н.Дж. , Старкова Ю.К. 625

СРЕДА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АЛГОРИТМОВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНТЕРВАЛОВ АГРЕГИРОВАНИЕМ ПРЕДПОЧТЕНИЙ
Шабрамов В.С., Муравьев С.В. 629

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГНОЗА ПАЦИЕНТОВ С КЛЕЩЕВЫМИ ИНФЕКЦИЯМИ
Сафронов В.С., Сафронова Е.В. 634

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ
Шевцова П.Э., Кочегурова Е.А. 638

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ ПО ЗНАКУ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
Богач Е.А., Колосов В.В., Дудоров В.В......644

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ СОТРУДНИКОВ ГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ К КОРПОРАТИВНОЙ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКЕ
Тишаева А.Г., Некрасов К.С., Симонов Т.С......650

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДАННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ ДЛЯ ИХ ОЦЕНКИ
Телеличко Н. Н......655

ТРАНСФОРМЕРЫ VS CNN: СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭМОЦИЙ В ВИДЕОПОТОКАХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
Джире. Ю.....661

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ
Шталина Е.С., Клишин А.П......665

RESEARCH ON LUNG TUMOR IMAGE SEGMENTATION ALGORITHM BASED ON U-NET
Ван Юйцянь, Ли Цилун.....670

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПОЛИГОНОМ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ООО «КЭПС»
Tekere Richard , Spitsyn V.G.....674

СЕКЦИЯ 7. ЦИФРОВОЙ ДИЗАЙН

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СЕМЕЙНОГО ОБУЧЕНИЯ
Бурнышева Е.С. , Вехтер Е.В......679

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПЕРЕХОДНИКА, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО ИНТЕГРИРОВАТЬ ДВА АКТУАЛЬНЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ СТАНДАРТА ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ
Нестеров Т.М., Вехтер Е.В......685

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ УСТРОЙСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ БЕЗОПАСНОЕ ПРЕБЫВАНИЕ СОБАК В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ
Спицына Д.В. , Васильева М.О......689

ДИЗАЙН И ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОДУКТОВОЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ СУМКИ
Годунова А.Е., Кухта М.С. 694

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И РЕШЕНИЯ В ДИЗАЙНЕ ЯЩИКОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ
Бельц Р., Серяков В.А. 700

СПОСОБЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ
Бородачева Т. Д. , Шкляр А.В. 704

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГАРМОНИЗАЦИИ ЗВУКОВОГО И ВИЗУАЛЬНОГО РЯДА
Гарифуллин Ф.А., Шкляр А.В. 709

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ АДАПТИВНОГО НАБОРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПИЩИ
Гузеева Е.А., Хмелевский Ю.П. 713

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОСТАНОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА
Деньгин Д.С., Давыдова Е.М. 718

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ФИТО-СЕСТЕМЫ В ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ
Довгановская Е.Ю. , Васильева М.О. 723

ИТОГОВОЕ КОМПОНОВОЧНОЕ РЕШЕНИЕ МОДУЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДОЕМОВ ОТ МУСОРА
Плещинская А.И. , Серяков В.А. 728

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ КВАРТИР НА ОСНОВЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
Калиниченко К.А., Вехтер Е.В. 732

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РОЗЕТОК И ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
Коваль С.Р., Вехтер Е.В. 736

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ И ЭСТЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНТЕРЬЕРА ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА
Маркер Н.А., Хмелевский Ю.П. 741

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПОЛИГОНОМ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ООО «КЭПС»
Кирилова М.В., Давыдова Е.М. 746

НАУЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНО-КОМФОРТНЫХ ИНТЕРЬЕРНЫХ ФОРМ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГРИБНОЙ ФЕРМЫ
Присяжная А.И., Кухта М.С. 750

ЮЗАБИЛИТИ ТЕСТИРОВАНИЕ В КОНТЕКСТЕ ВЛИЯНИЯ НА ПРОДУКТ И КОНЕЧНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ
Костин Д.А. 754

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТА ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ НАУШНИКОВ С ФУНКЦИЕЙ ПОРТАТИВНОЙ АКУСТИКИ
Немировский Л.С. , Серяков В.А. 759

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ДИЗАЙНА КОМПАКТНОГО НАБОРА ПОХОДНОЙ ПОСУДЫ
Баталова Д.А. , Давыдова Е.М. 763

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ МИКРОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА
Рашитов Н. И., Шкляр А. В. 767

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АГРОЭКОСИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПАКТНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ
Рудаченко В.В., Давыдова Е.М. , ...770

СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОГО ДОСТУПА В ПОМЕЩЕНИЕ
Сарычева А.К., Шкляр А.В., ...775

КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НАЛИЧНИКОВ ДЕРЕВЯННОЙ АРХИТЕКТУРЫ ТОМСКА
Симанович Е.Е., Кухта М.С. 780

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕСТВА И ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ МАРШРУТОВ
Лобастова Е.С. , Кухта М.С. 784

ФОРМ-ФАКТОР ЛИНИИ КОСМЕТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ
Степаненко А.А., Вехтер Е.В. , ...788

СВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ С ИЗМЕНЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ: ПРИНЦИПЫ ТРАНСФОРМАЦИИ И УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ
Тарасова А. Д., Васильева М.О. 791

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАНЦЕВОГО ЛЕСНОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ
Шейкина Е.А. , Серяков В.А. 795

Секция 1. Автоматизация технологических процессов и производств

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ И ЕГО АПРОБАЦИЯ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

Тихонов А.В.[1], Зарницын А.Ю.[2]
[1] Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, 8Т12, e-mail: avt131@tpu.ru
[2] Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, старший преподаватель, e-mail: ayz10@tpu.ru

Аннотация

В работе исследуется алгоритм адаптивного управления с эталонной моделью (ЭМ) для его применения на аэродинамическом стенде физического подобия. Была получена нелинейная математическая модель объекта управления (ОУ), проведена её идентификация, линеаризация, выбор алгоритма проводится по линеаризованной математической модели. Алгоритм апробируется на стенде с использованием среды имитационного моделирования и технологии OPC UA.

Ключевые слова: адаптивная система управления, адаптивный регулятор, эталонная модель, нелинейная модель, линеаризация.

Введение

Исследования по построению адаптивных систем управления начались в начале 50-х годов прошлого столетия в связи с усложнением объектов, управлением совокупностью объектов, высокими требованиями к точности и динамики объектов [1, 3]. В настоящий момент времени в связи с большими возможностями современных вычислительных комплексов методы адаптивного управления находят практическое применение в таких областях, как робототехника, управление самолётами и ракетами, энергетическая система, управление сложными технологическими процессами [1]. В сложных технологических процессах, например, в области нефтехимии, широко используются системы усовершенствованного управления технологическими процессами (СУУТП), иначе advanced process control (APC). Адаптация заключается в том, что многопараметрические регуляторы на уровне СУУТП используют текущую информацию с объекта управления и формируют задающие воздействия для контроллеров АСУ ТП, изменяя алгоритм управления технологическим процессом в оптимальную сторону. Таким образом, исследование и разработка адаптивных систем управления является актуальной задачей. Аэродинамический стенд физического подобия позволит исследовать, апробировать адаптивную систему управления с эталонной моделью на практике для изучения особенностей её реализации.

Алгоритм адаптивного управления с эталонной моделью

Система управления называется адаптивной, если в ней текущая информация, помимо выработки управляющего воздействия, используется также для изменения алгоритма управления [1]. Эталонная модель (ЭМ) – это динамическая модель системы, обладающая требуемым качеством [1]. В работе используется самонастраивающаяся адаптивная система с ЭМ, так как аэродинамический стенд включает объект с переменным аэродинамическим сопротивлением (далее объект), что является параметрической неопределенностью. ЭМ вырабатывает желаемый выходной сигнал [1]. Разность между выходным сигналом ОУ и ЭМ называется ошибкой слежения. Для существования возможности идеального слежения регулятора основного контура за выходом ЭМ необходимо, чтобы относительный порядок передаточной функции ЭМ был не меньше относительного порядка передаточной функции ОУ [1]. Кроме того, ЭМ выбирается так, чтобы в ней отражались желаемые требования к качеству переходного процесса выходной координаты ОУ [1].

В работе используется адаптивный алгоритм управления с ЭМ по выходу линейного объекта с относительным порядком, превышающим единицу. В источнике [1] утверждается,

что данный вид алгоритма обеспечивает глобальную устойчивость системы и сходимость к нулю ошибки слежения при стремлении времени к бесконечности. При этом передаточные функции (далее ПФ) ОУ и ЭМ имеют один и тот же относительный порядок, который больше единицы. Алгоритм управления принимает вид:

$$u = k^T w, \tag{1}$$

где u – управляющее воздействие, k – вектор варьируемых параметров регулятора, w – вектор сигналов. Алгоритм адаптации принимает вид:

$$\dot{k} = \frac{-\text{sign}(k_0)\gamma\varepsilon\tilde{w}}{1+|\tilde{w}|^2}, \tag{2}$$

$$\dot{\mu} = -\frac{\gamma\varepsilon\eta}{1+|\tilde{w}|^2}, \tag{3}$$

где μ – дополнительный переменный параметр, который вычисляется в процессе адаптации, k_0 – коэффициент усиления ПФ ОУ, γ – произвольная положительная константа, ε – комбинированная ошибка, η – вспомогательная ошибка, $\tilde{w}$ – преобразованный вектор сигналов. Формулы вычисления $\tilde{w}$, η и ε приведены ниже:

$$\tilde{w} = W_{\text{М}}(s)w, \tag{4}$$

$$\eta = k^T\tilde{w} - W_{\text{М}}(s)u, \tag{5}$$

$$\varepsilon = e + \mu\eta, \tag{6}$$

где $W_{\text{М}}(s)$ – ПФ ЭМ, e – ошибка слежения.

Таким образом, для использования данного алгоритма необходимо получить линеаризованные уравнения ОУ и задать ЭМ, по требованиям и условиям, описанным выше. Алгоритм будет решать задачу стабилизации объекта при изменении его аэродинамики на заданной высоте в воздушном потоке.

Получение математической модели ОУ

Аэродинамический стенд включает в себя асинхронный однофазный конденсаторный электродвигатель с вентиляторной нагрузкой, имеющим короткозамкнутый ротор и несимметричный по параметрам. Для описания данного электродвигателя используется математическая модель двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и несимметричного по параметрам, приведенная в источнике [2]. Соотношения, характеризующие несимметричность параметров, были заимствованы из источника [2]. Данная модель переводится во вращающуюся систему координат «d-q» – направление оси «q» выбрано вдоль вектора напряжения статора. Таким образом, при постоянной угловой скорости вращения электродвигателя, токи статора и ротора по осям «d-q» также будут принимать постоянные значения, перестают быть синусоидальными. Это упрощает выбор рабочей точки линеаризации математической модели. Была проведена параметрическая идентификация нелинейной модели с помощью средств среды имитационного моделирования. Таким образом нелинейная математическая модель электродвигателя принимает вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -10.6x_1 + 19.9x_3 - 0.271x_2x_5 - 0.309x_4x_5 + (108 - 2.65x_2 - 2.23x_4)f, \\ \dot{x}_2 = -982x_2 + 838x_4 + 2.46x_1x_5 + 2.81x_3x_5 + (48.9x_1 - 9.44x_3)f, \\ \dot{x}_3 = 9.31x_1 - 156x_3 + 2.12x_2x_5 + 2.42x_4x_5 + (-94.5 - 9.53x_2 - 11.6x_4)f, \\ \dot{x}_4 = 861x_2 - 874x_4 - 2.57x_1x_5 - 2.93x_3x_5 + (-40.3x_1 + 11.2x_3)f, \\ \dot{x}_5 = -0.008x_5^2 + 0.952x_1x_4 - 4.4x_2x_3, \end{cases} \tag{7}$$

где x_1 – проекция тока статора на ось «q», x_2 – проекция тока статора на ось «d», x_3 – проекция тока ротора на ось «q», x_4 – проекция тока ротора на ось «d», x_5 – угловая скорость вращения ротора электродвигателя, f – управляющее воздействие, частота питающего напряжения обмотки статора.

Результат параметрической идентификации модели (7) показан на рис. 1. Сравниваются зависимости угловой скорости ротора от времени идентифицированной модели и реального электродвигателя стенда.

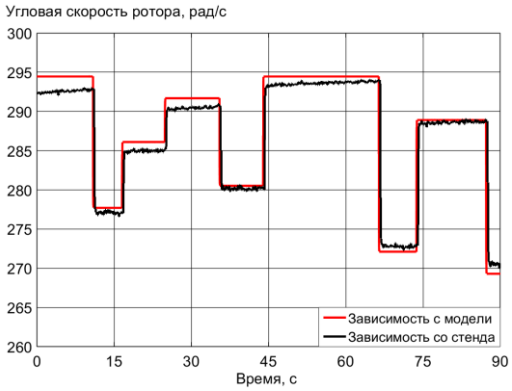


Рис. 1. Результат идентификации нелинейной модели по сравнению с электродвигателем стенда

Для количественной оценки сравнения данных зависимостей, используем интегральный критерий, заключающийся в процентном отличии площадей под данными графиками. В математический пакет были импортированы данные с модели и со стенда с одинаковым числом точек. Площадь вычисляется методом левых прямоугольников с одинаковым шагом. В результате, площадь под графиком модели отличается от площади под графиком с физического стенда на -0.226%, что говорит о высокой точности нелинейной модели. Знак « - » означает, что площадь под графиком модели больше площади под графиком со стенда.

Было получено математическое описание механической части стенда, а именно полёт объекта в вертикальной аэротрубе за счёт потока воздуха от вентилятора электродвигателя.

Математическая модель представлена в форме Коши:

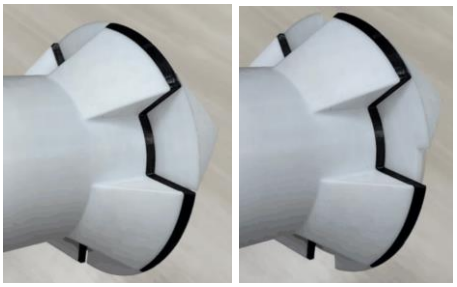
$$\begin{cases} \dot{x}_6 = x_7, \\ \dot{x}_7 = \dfrac{K_C K}{m} x_5 - \dfrac{K_C}{m} x_7 - g, \end{cases} \tag{8}$$

где x_6 – текущая высота, на которой находится объект в аэротрубе, x_7– абсолютная скорость объекта в аэротрубе, m – масса объекта, g – ускорение свободного падения, K – коэффициент пропорциональности между скоростью набегающего потока воздуха и угловой скоростью вращения ротора x_5 электродвигателя, K_c – аэродинамическое сопротивление объекта (параметр, который может изменяться произвольным образом). Параметр K_c будем изменять путём управления объектом с мобильного приложения по Wi-Fi, изменяя его аэродинамику. Так будем задавать параметрическую неопределенность объекта управления.

Была проведена параметрическая идентификация математической модели (8). Масса объекта m была найдена путём взвешивания его на настольных весах, ускорение свободного падения g – известная константа. Параметр K_c был идентифицирован при установке открытого на 15% аэродинамического положения объекта (подробнее об аэродинамических положениях в следующем разделе) путём проведения физического эксперимента. Параметр K был найден при подстановке в систему (8) всех других известных параметров, а также при условии стабилизации объекта в воздушном потоке.

Выбор рабочей точки для ОУ

Поскольку существует два граничных аэродинамических положений объекта (рис. 2), его аэродинамическое сопротивление K_c будет находится внутри отрезка $K_C \in [K_{C_{МИН}}; K_{C_{МАКС}}]$, где $K_{C_{МИН}}$ – минимальное аэродинамическое сопротивление, $K_{C_{МАКС}}$ – максимальное аэродинамическое сопротивление.



а) *б)*

Рис. 2. Граничные аэродинамические положения объекта:
а) – закрытое положение, б) – открытое на 30% положение

При степени открытия больше 30% мощности потока воздуха недостаточно для полёта объекта, поэтому данные положения являются граничными для объекта. Будем использовать рабочую точку на основе среднего значения $К_с$, которое было найдено при параметрической идентификации. Рабочая точка переменных состояния $x_1 \ldots x_7$ принимает вид:

$$X_0 = (x_1^0 \quad x_2^0 \quad x_3^0 \quad x_4^0 \quad x_5^0 \quad x_6^0 \quad x_7^0)^T = (8.4 \quad 24.2 \quad -6.1 \quad 0 \quad 284.4 \quad 1 \quad 0)^T \tag{9}$$

Рабочая точка управляющего воздействия f принимает значение:

$$f_0 = 48.2 \tag{10}$$

Рабочие точки $x_1^0 \ldots x_5^0$ были найдены по нелинейной модели электродвигателя, при подаче управляющего воздействия f_0.

Рабочая точка x_6^0 выбирается произвольной в пределах высоты аэротрубы, поскольку удержание объекта может происходить при различных высотах вне зависимости от других рабочих точек. Таким образом, алгоритм адаптивного управления будет работать в окрестности данной рабочей точки.

Линеаризация и запись уравнений ОУ в отклонениях

Математическая модель электродвигателя (7) была линеаризована с использованием формулы Тейлора:

$$\dot{X} = F(X_0, U_0) + A(X_0)(X - X_0) + B(X_0)(U - U_0), \tag{11}$$

где $F(X_0, U_0)$ – значение уравнений системы в точках X_0 и U_0; матрицы $A(X_0)$ и $B(X_0)$ – матрицы Якоби по состоянию и управлению; X – вектор состояния; X_0 – рабочая точка линеаризации; U – вектор управляющих воздействий; U_0 – рабочая точка управляющего воздействия. Для данной системы $U = f$ и $U_0 = f_0$. Причём $F(X_0, U_0) = 0$, так как полагаем, что в рабочей точке система работает в статическом режиме – объект удерживается на произвольной высоте в воздушном потоке.

В результате проведения линеаризации математической модели электродвигателя и записи всех уравнений ОУ в отклонениях от рабочей точки, была получена математическая модель в пространстве состояний. Для того, чтобы перейти от математической модели в пространстве состояний к математической модели в виде ПФ, используется метода Крамера. В результате была получена ПФ ОУ (без явного указания коэффициентов):

$$W_0(s) = k_0 \frac{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^7 + b_6 s^6 + \ldots + b_1 s}, \tag{12}$$

где $a_0 \ldots a_2$ и $b_1 \ldots b_6$ – коэффициенты числителя и знаменателя, которые рассчитываются с помощью метода Крамера. Был определён относительный порядок ПФ ОУ как разность между числом полюсов и нулей ПФ, равный четырём. Применяется соответствующий вид алгоритма адаптивного управления с ЭМ.

Результаты работы

Была разработана адаптивная система управления с ЭМ в среде имитационного моделирования (рис. 3).

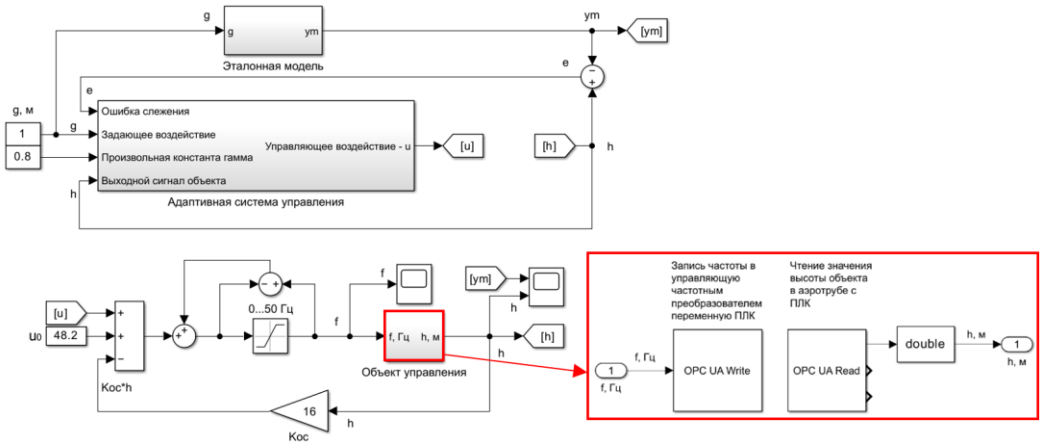


Рис. 3. Адаптивная система управления с эталонной моделью

В разработанной системе управления применяется метод борьбы с возможным насыщением алгоритма управления «back calculation». Так как алгоритмы адаптивного управления синтезируются на основе уравнений в отклонениях [1], то к управляющему воздействию алгоритма прибавляется величин f_0. Поскольку ОУ содержит интегрирующее звено, выходная переменная не будет приходить к установившемуся значению. Так как ЭМ задана как передаточная функция с самовыравниванием, необходимо, чтобы ОУ так же обладал данным свойством. Поэтому ОУ был охвачен обратной связью. Относительный порядок ОУ при этом не изменяется, но теперь он способен к самовыравниванию. При этом в системе управления есть два настраиваемых параметра: $K_{\text{ОС}}$ – коэффициент введённой обратной связи и постоянная γ. При этом выяснено экспериментально, что чем больше $K_{\text{ОС}}$, тем меньше перерегулирование, но время переходного процесса увеличивается. Чем больше γ, тем быстрее протекает процесс адаптации, косвенно уменьшается время переходного процесса. Однако при увеличении γ управляющее воздействие становится колебательным, и система может стать неустойчивой [1]. Обмен данными между клиентом среды имитационного моделирования и аэродинамическим стендом происходит с помощью технологии OPC UA. При этом, в среде имитационного моделирования используется библиотека, предоставляющая ядро реального времени для тестирования систем управления, не требуя специального оборудования, работающего с операционными системами реального времени, таких как программируемые логические контроллеры. Результат работы адаптивной системы управления показан на рис. 4.

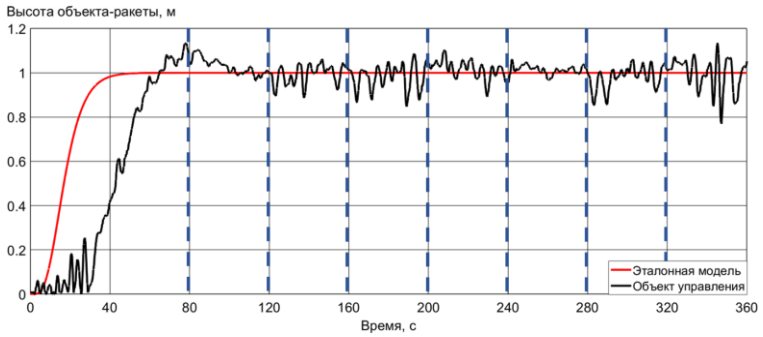


Рис. 4. Кривая переходного процесса объекта при варьировании его параметра по сравнению выходом эталонной модели

Апробирование алгоритма адаптивного управления проводились при $K_{ОС} = 16$ и $\gamma = 0.8$. Данные значения были подобраны экспериментально, соблюдая баланс между перерегулированием и временем переходного процесса. При снятии переходного процесса на рис. 4 параметр $K_С$ варьировали через заданные промежутки времени ΔT путём изменения аэродинамических положений объекта согласно таблице 1.

Таблица 1. Изменение аэродинамических положений объекта через промежутки времени ΔT

ΔT , с	0-80	80-120	120-160	160-200	200-240	240-280	280-320	320-360
Степень открытия положений, %	30	0	15	30	15	0	30	Хаотично 0-30

Таким образом, алгоритм адаптивного управления с ЭМ был апробирован на аэродинамическом стенде. Система управления лучше стабилизирует объект при его закрытом положении. При этом система управления остаётся устойчивой на протяжении всего времени апробации.

Заключение

Таким образом, предложенные подходы исследования и апробации адаптивного алгоритма управления с эталонной моделью могут облегчить синтез адаптивной системы управления для других физических систем или технологических процессов с параметрической неопределенностью. При этом важно учитывать физические ограничения каждого отдельного объекта управления. Прежде чем применять адаптивные системы управления на производстве, необходимо проводить их математическое моделирование, для того чтобы пронаблюдать за поведением системы при различных условиях; предсказать, как поведёт себя реальная система при натурных испытаниях; исследовать систему безопасно для окружающего мира и использовать меньшее количество материальных затрат [4].

Целю дальнейшего исследования данной работы может стать разработка системы подстройки параметров адаптивного регулятора, таких как γ и $K_{ОС}$ в данной работе, в процессе функционирования системы. Данная идея уже используется для настройки параметров типовых регуляторов различными методами, например в работах [5, 6].

Список использованных источников

1. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы : Учеб. Пособие. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2004. – 464 с.

2. Krause P. C. et al. Analysis of electric machinery and drive systems. – New York : IEEE press, 2002. – Т. 2. – 688 p.

3. Воронин А.В. Адаптивные системы управления : Учеб. Пособие. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – 138 с.

4. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. – Лаб. базовых знаний, 2004. – 832 с.

5. Кудинов Ю. И. и др. Построение и настройка нечеткого адаптивного ПИД-регулятора // Информатика и системы управления. – 2016. – №. 3. – С. 86-96.

6. Яковис Л. М., Смирнова Н. А., Шагниев О. Б. Адаптивная настройка типовых регуляторов с применением настраиваемой модели // IV Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2021). Сборник докладов. – СПб. : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. – С. 324-327.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПОЛИГОНОМ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ООО «КЭПС»

Жиляев М.Р.[1], Саблина Г.В.[2]
[1]НГТУ, гр. ААМ-24, студент, maks.zhilyaev.88@mail.ru
[2]НГТУ, к.т.н., доцент каф. АВТ, gv.sablina@gmail.com

Аннотация

Для ускорения и повышения качества выходного контроля высоковольтного оборудования, в частности устройств плавного пуска и преобразователей частоты серий КЭПС-УПП и КЭПС-ПЧ, а также для проведения опытно-конструкторских работ по созданию синхронного вакуумного выключателя КЭПС-СВВ, была разработана система управления автоматизированным полигоном испытаний.

Введение

Система управления автоматизированным полигоном испытаний (далее СУ АПИ) для ООО «КЭПС» предназначена для повышения эффективности и объективности тестирования высоковольтной приводной техники (УПП, ПЧ, КЭПС-СВВ). СУ АПИ автоматизирует процессы управления испытаниями, сбор и обработку данных, обеспечивая высокую точность, скорость и минимизируя влияние человеческого фактора. Работа включает в себя изучение существующих методов испытаний, разработку архитектуры СУ АПИ, выбор оборудования и ПО, создание алгоритмов управления и тестирование системы. Автоматизация обоснована повышением производительности, уменьшением количества ошибок персонала и возможностью тестирования различных устройств на одном стенде. В настоящее время тестирование осуществляется вручную квалифицированными специалистами, что трудоёмко и требует тщательной подготовки.

Список сокращений:

АПИ – автоматизированный полигон испытаний.
УПП – устройство плавного пуска.
ПЧ – преобразователь частоты.
СВВ – синхронный вакуумный выключатель.
ПО – программное обеспечение.
ЭМС – электромагнитная совместимость.
СУ – система управления.

1. Основная часть

1.1 Основные компоненты

- ОВЕН ПР103 – контроллер автоматики.
- Weintek MT8072iP – панель оператора.
- ОВЕН МЭ110-220.3М – модуль измерения электрической сети.
- Трансформатор 380/1140В.
- Шкаф управления – включает в себя контакторы и разводку вторичных цепей.

1.2 Краткие технические характеристики компонентов

1.2.1 ПР103-230.1610.01.2.0 [1]

- Напряжение питания: ~220 В.
- Количество дискретных входов: 16 шт.
- Количество дискретных выходов: 10 шт.
- Количество интерфейсов RS-485: 2 шт.
- Количество интерфейсов Ethernet: 1 шт.
- Среда программирования: Owen Logic.

1.2.2 Weintek MT8072iP [3]

- Напряжение питания: =24 В.
- Количество интерфейсов RS-485: 1 шт.
- Диагональ экрана: 7.0”.
- Среда программирования: EasyBuilder Pro.

1.2.4 ОВЕН МЭ110-220.3М [2]

- Напряжение питания: ~220 В.
- Количество каналов измерения: 3 шт.
- Входной сигнал: ~(2…580) В, 45…65 Гц.
- Погрешность: ±0.5%.
- Время опроса входа: не более 1 с.

1.2.5 Трансформатор 380/1140В

- Напряжение низкой стороны: ~380 В.
- Напряжение высокой стороны: ~1140 В.
- Полная мощность: 15 кВА.

1.3 Определение требований к СУ АПИ

1. Интерфейс системы должен быть интуитивно понятным для сотрудников.
2. Система должна иметь обработчик событий.
3. Система должна иметь архивирование данных испытаний.
4. Система должна обеспечивать защиту от ошибок сотрудников.
5. Система должна обеспечивать безопасность сотрудников.
6. Алгоритмы работы системы должны быть заточены под автоматизированное проведение испытаний для УПП и ПЧ.

1.4 Структура системы управления

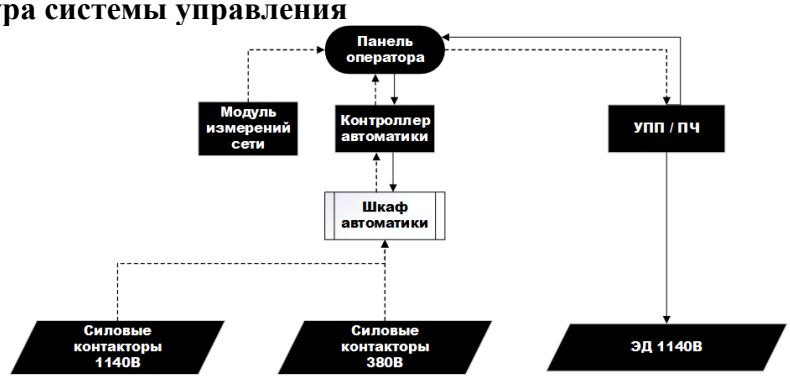


Рис. 1. Структурная схема системы управления АПИ

На рисунке 1 представлена структурная схема СУ АПИ, включающая в себя панель оператора, как главный узел системы, контроллер автоматики, управляющий вторичными цепями полигона, испытуемое устройство и остальные важные компоненты системы.

1.5 Однолинейная схема АПИ

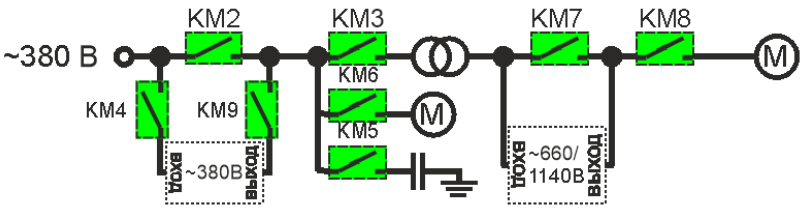


Рис. 2. Однолинейная схема электрической цепи АПИ

На скриншоте (рис. 2) можно увидеть однолинейную схему силовых электрических цепей полигона испытаний.

1.6 Разработка ПО

1.6.1 ПО для контроллера автоматики ОВЕН ПР103

Пользовательская программа контроллера ОВЕН ПР103 [1] разрабатывается в среде OwenLogic на одном из пяти языков программирования МЭК 61131-3 – FBD. Рисунки 3 и 4 отображают программу контроллера автоматики со сбором данных о положении контакторов, переключателей и управлением дискретными выходами конроллера.

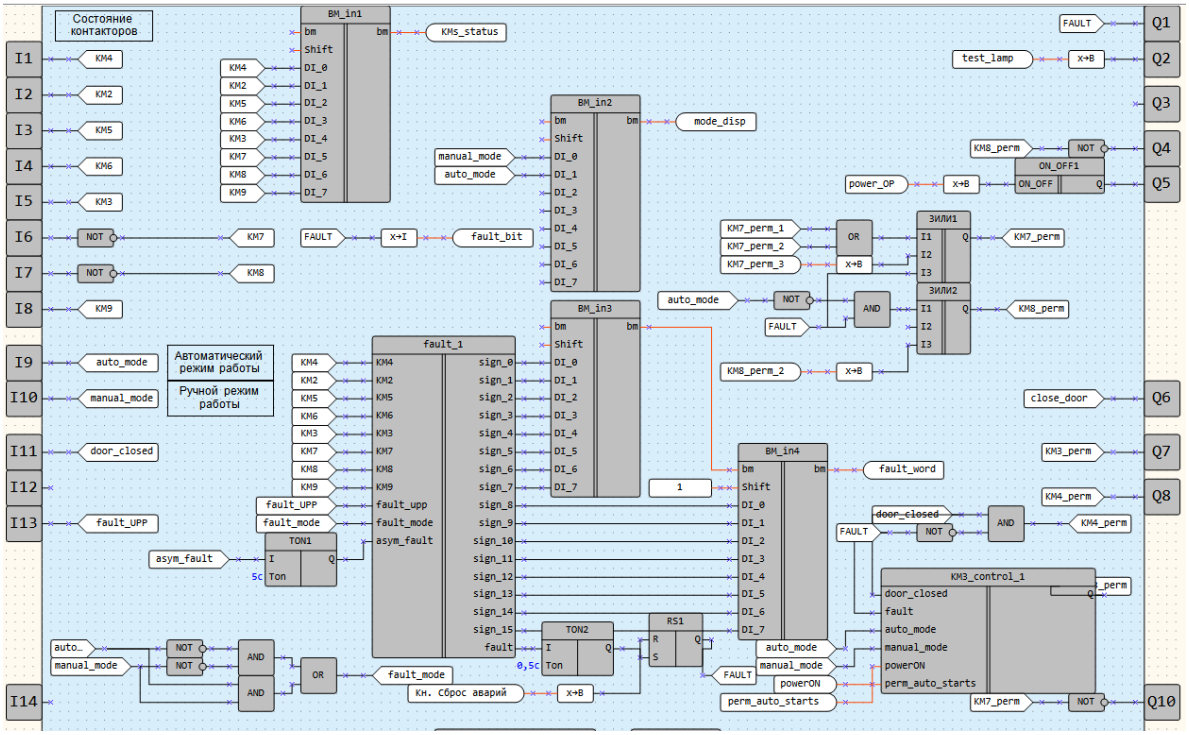


Рис. 3. Скриншот части программы контроллера автоматики

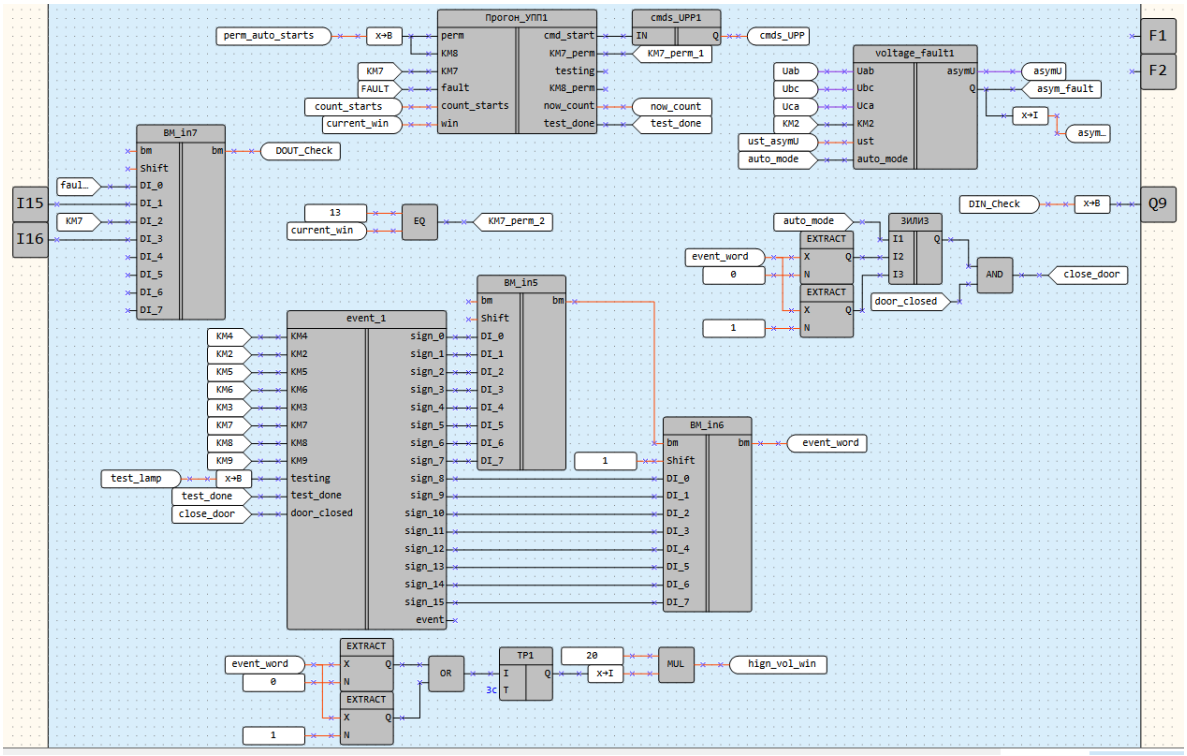


Рис. 4. Скриншот части программы контроллера автоматики

1.6.2 ПО для панели оператора Weintek MT8072iP

Для разработки программного обеспечения для панели оператора Weintek MT8092iP [3] используется среда EasyBuilder Pro. Написание программ в этой среде принципиально такое же, как в случае разработки SCADA-систем, т.е. к добавленному графическому объекта привязывается тэг: внешний или внутренний.

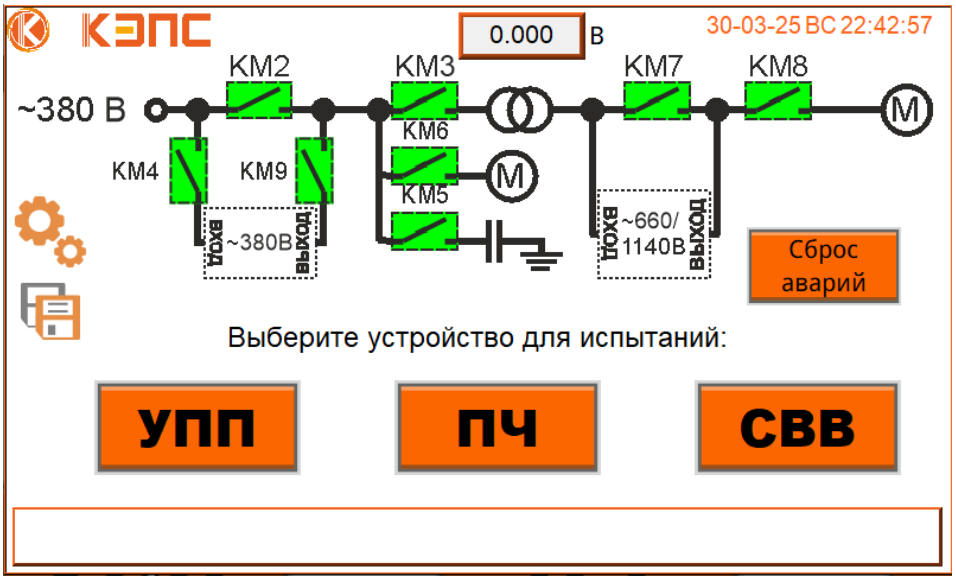


Рис. 5. Главный экран интерфейса пользователя

На главном экране интерфейса (рис.5) предлагается выбрать испытуемое устройство. Также на можно увидеть мнемосхему электрической цепи полигона и сбросить аварию.

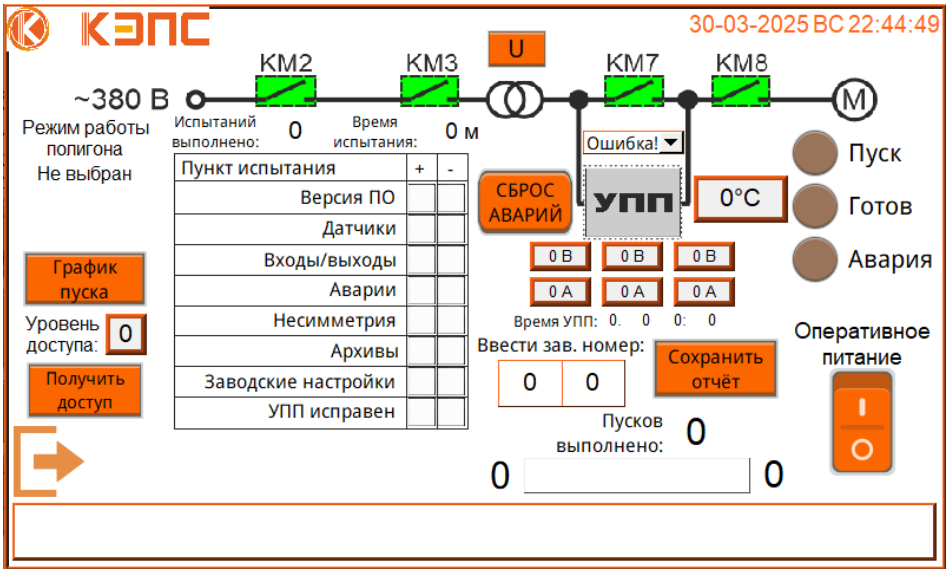


Рис. 6. Окно испытаний УПП

В окне испытаний УПП (рис.6) отображается часть необходимой мнемосхемы, состояние УПП и режимные параметры, а также чек-лист испытания.

1.6.3 Описание алгоритма испытания УПП.

Для проведения испытаний выходного контроля специалисту достаточно убедиться в необходимом уровне сопротивления изоляции устройства, подключить силовые кабели к испытуемому, закрыть дверь испытательного бокса и нажать кнопку «ПУСК». Далее система в автоматическом режиме проверит устройство плавного пуска, заполняя чек-лист. В конце СУ формирует протокол испытаний с осциллограммой последнего пуска (рис. 7).

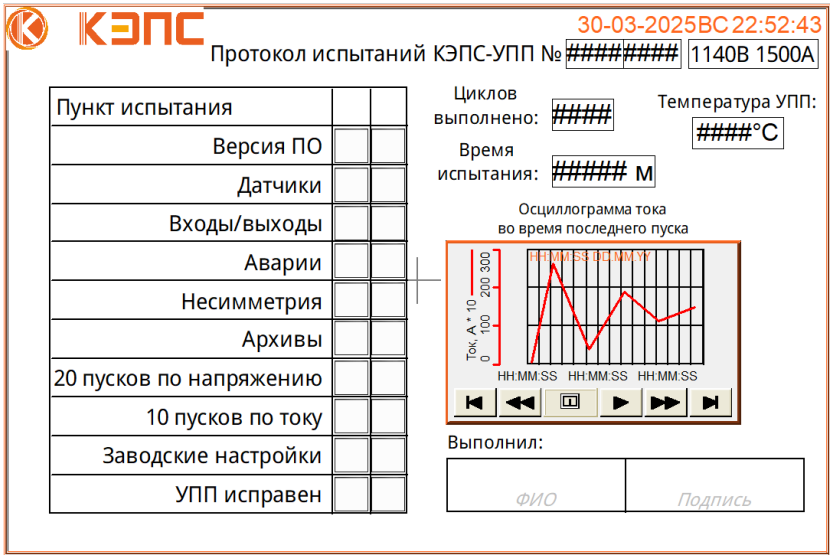


Рис. 7. Отчёт после испытаний УПП

2. Результаты

Результаты работ подтверждают соответствие функционирования стенда проектным требованиям. Микроконтроллеры демонстрируют устойчивую работу в условиях высокого уровня электромагнитных помех, генерируемых контакторами, что свидетельствует о высокой электромагнитной совместимости системы управления. Применение панели оператора вместо традиционного пульта управления повышает удобство эксплуатации.

Эксплуатация автоматизированного полигона испытаний (внешний вид полигона на рис. 8) показала значительное повышение эффективности испытаний устройств плавного пуска. Время проведения испытаний сократилось с 45-60 минут (при ручном тестировании) до 15 минут. Качество испытаний улучшилось за счет минимизации влияния человеческого фактора благодаря контролю СУ над основными узлами.

Рис. 8. Автоматизированный полигон испытаний

Заключение

В заключение следует отметить, что эффективный контроль качества продукции является одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность предприятия в современной производственной среде. Разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами, в частности, в области энергетического оборудования, способствует повышению эффективности и качества работы отдела технического контроля.

Целью настоящей работы являлась разработка системы управления автоматизированным полигоном испытаний (СУ АПИ) устройств плавного пуска серии КЭПС-УПП. Система должна была обеспечивать высокую точность и оперативность измерений, а также исключать субъективное влияние на результаты испытаний.

Для достижения поставленной цели был выполнен комплекс задач, включающий: анализ существующих методов и средств проведения испытаний вакуумных выключателей; разработку архитектуры системы управления; выбор и обоснование выбора оборудования и программного обеспечения; разработку алгоритмов управления и взаимодействия компонентов системы; проведение тестирования разработанной системы на высоковольтном испытательном стенде; оценку экономической эффективности и практической значимости предложенного решения.

Успешное внедрение автоматизированной системы испытаний устройств плавного пуска серии КЭПС-УПП выявило необходимость автоматизации испытаний преобразователей частоты серии КЭПС-ПЧ и синхронных вакуумных выключателей серии КЭПС-СВВ.

Список использованных источников

1. ОВЕН, Руководство по эксплуатации ПР103. Версия 2.18 / ОВЕН. – Москва, 2024. – 144 с.

2. ОВЕН, Руководство по эксплуатации МЭ110-220.3М. Версия 1.14 / ОВЕН – Москва, 2024. – 45 с.

3. WEINTEK, Руководство пользователя EasyBuilder Pro V6.09.1 / Weintek IIOT LTD – 2023. – 1167 с.

4. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ) / Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. – 610 с.

5. Приказ Минэнерго России от 12 августа 2022 г. № 811 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии».

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА ОПЕРАТОРА ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ ГАЗА В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ «РТСИМ»

Заречнева Е.Д.[1], Зебзеев А.Г.[2], Шумейко А.О.[3]
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, студент гр. 8Т11, e-mail: edz2@tpu.ru
АО «ТомскНИПИнефть», Отдел ТОГО, Техник
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, доцент ОАР, e-mail: ZebzeevAG@tomsknipi.ru
АО «ТомскНИПИнефть», Экспертная группа, Главный эксперт по цифровизации
[3] АО «ТомскНИПИнефть», Отдел ТОГО, Главный специалист, e-mail: ShumeykoAO@tomsknipi.ru

Аннотация

Разработан тренажер для оператора дожимной компрессорной станции (ДКС) с установкой подготовки газа (УПГ), предназначенный для отработки навыков управления технологическим процессом. Модель охватывает сепараторы-пробкоуловители и первую ступень компрессорной станции. Реализована система противоаварийной защиты (ПАЗ) для моделирования и отработки действий в аварийных ситуациях в реальном времени. В дальнейшем планируется расширить тренажер на весь технологический объект.

Ключевые слова: тренажер, дожимная компрессорная станция, установка подготовки газа, РТСИМ, моделирование, технологический процесс, оператор.

Введение

Тренажёры для операторов – это специализированные устройства или программные комплексы, предназначенные для обучения управлению сложным технологическим оборудованием в условиях, максимально приближённых к реальным. Они позволяют операторам отрабатывать алгоритмы работы, реагировать на нештатные ситуации и повышать эффективность управления системами без риска для оборудования и окружающей среды.

Актуальность разработки тренажёра для операторов ДКС с УПГ обусловлена необходимостью повышения уровня безопасности и эффективности работы в нефтегазовой отрасли. Высокий риск на ДКС связан с работой в условиях высокого давления и высоких температур, а также транспортировкой газа. Эти факторы создают повышенную вероятность аварийных ситуаций. Ошибки в управлении оборудованием могут привести к утечкам газа, повреждению оборудования, нарушению технологического процесса и значительным экономическим, экологическим и человеческим потерям. Внедрение тренажёра позволит минимизировать эти риски за счёт обучения операторов правильным действиям в критических ситуациях.

Тренажёр позволяет провести тренировки с отработкой персоналом способности правильно реагировать на нештатные ситуации, безошибочно определять пути выхода из любых сложившихся условий, возникающих на производстве [1]. Операторы получают возможность отрабатывать алгоритмы действий при отклонении параметров от нормы, отказах оборудования и утечках газа. Это повышает устойчивость к стрессу, скорость реакции и точность принятия решений в реальных условиях.

Цель данной работы – разработка тренажёра для оператора ДКС с УПГ на базе программного комплекса РТСИМ. В рамках работы планируется создание динамической модели технологического процесса, охватывающей ключевые элементы станции, и реализация системы противоаварийной защиты (ПАЗ), позволяющей моделировать аварийные ситуации и отрабатывать действия операторов в реальном времени. Внедрение тренажёра позволит повысить профессиональную подготовку операторов, снизить риск аварийных ситуаций и повысить безопасность эксплуатации оборудования.

Тренажёры для операторов: назначение, виды и роль в профессиональной подготовке

Тренажёры для операторов – это специальные устройства или программы для обучения и тренировки операторов различного оборудования и систем управления. Они создают условия, максимально приближённые к реальным, чтобы операторы могли отрабатывать навыки управления, реагировать на внештатные ситуации и повышать эффективность работы. Основная цель таких тренажёров – обеспечить безопасное обучение без риска для здоровья людей и повреждения оборудования. Они позволяют операторам изучать алгоритмы работы, отрабатывать действия в аварийных ситуациях, повышая скорость принятия решений.

Тренажёры для операторов используются в самых разных сферах. В промышленности это симуляторы для операторов станков с числовым программным управлением (ЧПУ), сварочных аппаратов и других видов оборудования. Они помогают повысить профессиональный уровень оперативного и технологического персонала отрасли, дать необходимый практический опыт – отрабатывать базовые навыки работы с системой управления и навыки действий в аварийных ситуациях без риска повлиять на ход реального технологического процесса и не прибегая к экспериментам на реальных объектах [2]. В транспортной сфере широко применяются симуляторы для водителей автомобилей, машинистов поездов и пилотов. Авиасимуляторы, например, позволяют пилотам отрабатывать взлёт, посадку, полёт в сложных погодных условиях и действия в случае отказа систем. Железнодорожные симуляторы помогают машинистам тренировать управление составом, реагировать на сигналы и работать в условиях ограниченной видимости.

В энергетике тренажёры используются для подготовки операторов атомных, тепловых и гидроэлектростанций. Они моделируют работу сложных энергосистем, помогая операторам осваивать управление мощностью, реагировать на перебои в подаче энергии и устранять неисправности и т. д. Военные тренажёры предназначены для обучения управлению танками, бронетранспортёрами, артиллерией и ракетными системами, моделируя реальные боевые условия. В морской сфере тренажёры используются для подготовки капитанов и навигаторов судов, позволяя им тренировать управление в сложных погодных условиях, в узких проходах и при отказе систем управления. Также существуют тренажёры для операторов беспилотных аппаратов, которые позволяют тренировать управление при сбоях навигации или потери связи.

Преимущества тренажёров для операторов очевидны. Мировая практика внедрения тренажерных комплексов свидетельствует о том, что при постоянном проведении обучения персонала на компьютерных тренажерных комплексах (КТК), значительно уменьшается вероятность допущения ошибок операторами, что способствует комплексному увеличению безопасности объекта, увеличивает эффективность производства и, как следствие, повышает рентабельность предприятия в целом [3]. Операторы получают возможность многократно отрабатывать действия в разных сценариях, повышая уверенность и скорость реакции.

Основные этапы работы тренажера

Работа тренажера включает несколько ключевых этапов, направленных на формирование у оператора навыков управления технологическим процессом и принятия решений в штатных и аварийных ситуациях.

Перед началом работы оператор проходит этап подготовки, в ходе которого он знакомится с технологической схемой и регламентными параметрами работы оборудования. На этом этапе тренажер предоставляет доступ к виртуальной схеме установки, на которой отображаются все основные элементы системы: трубопроводы, насосы, компрессоры, клапаны, контрольно-измерительные приборы и системы сигнализации. Оператор изучает характеристики системы, допустимые значения параметров и схемы работы оборудования в различных режимах. Тренажер использует все проектные параметры процесса, обеспечивая точное моделирование работы оборудования с учетом внешних факторов. Благодаря этому, оператор может управлять процессом с помощью клапанов и другого оборудования, реагируя на изменения в технологическом процессе в реальном времени.

После запуска модели оператор начинает управлять технологическим процессом с помощью удобного интерфейса. Интерфейс тренажера включает в себя панель управления, позволяющую регулировать параметры работы оборудования (давление, температура, расход), и графическую схему, которая в реальном времени отображает состояние системы, положение клапанов, скорость потока, уровень жидкости и другие рабочие параметры. Система сигнализации предупреждает оператора о выходе параметров за допустимые значения или о возможных неисправностях оборудования. Оператор может выбирать между автоматическим контролем работы системы или ручной настройкой параметров. Во время управления процессом оператор отслеживает поведение динамической модели системы, где могут изменяться различные входные параметры, соответствующие реальным изменениям, возможным на производстве. Оператор корректирует параметры в зависимости от изменения этих данных и предотвращает отклонения от нормального режима работы. Например, при повышении давления в системе оператор может вручную открыть перепускной клапан, чтобы избежать аварийной ситуации.

Тренажер включает в себя различные сценарии работы, которые помогают оператору отрабатывать действия как в нормальных, так и в аварийных ситуациях. Сценарии могут включать штатную работу, в которой оператор управляет системой в стандартных условиях, отклонения от нормы, при которых моделируются ситуации с выходом параметров за допустимые значения (например, повышение давления, падение температуры, отказ насоса), и аварийные ситуации, в ходе которых оператор отрабатывает действия при возникновении утечек газа, разрушении трубопровода или отказе клапана. Также могут моделироваться переходные режимы, связанные с пусками и остановками оборудования. Например, при моделировании утечки газа оператору необходимо быстро обнаружить проблему по сигналам тревоги, принять меры для остановки утечки (например, закрыть аварийный клапан) и стабилизировать параметры системы. В ходе выполнения сценариев система фиксирует действия оператора, оценивая скорость реакции, правильность принятых решений и соответствие действий установленным нормам.

После завершения тренировочного сеанса тренажер автоматически анализирует действия оператора и формирует подробный отчет о результатах работы. В отчете отображаются время реакции оператора на отклонение от нормы, точность выполнения задач в соответствии с установленными технологическими нормами, ошибки и отклонения, приведшие к неправильной работе оборудования или возникновению потенциальной аварийной ситуации, а также рекомендации по улучшению навыков и устранению ошибок.

Описание программного продукта «РТСИМ»

Для реализации тренажёра был выбран программный комплекс РТСИМ, который обладает широкими возможностями по моделированию технологических процессов в реальном времени. РТСИМ позволяет точно воспроизводить поведение реальных систем, что делает его незаменимым инструментом для разработки тренажёров операторов, таких как тренажёры для дожимных компрессорных станций (ДКС). Рассмотрим подробнее основные возможности и преимущества данного программного продукта.

РТСИМ – это современный российский программный комплекс, широко применяемый в различных отраслях промышленности, включая нефтегазовую [4]. Его главное преимущество заключается в возможности точного воспроизведения поведения реальных систем и в адаптации под конкретные объекты. Программа позволяет моделировать технологические процессы, учитывая характеристики каждого оборудования, что делает её незаменимым инструментом для создания тренажёров, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации.

Программа поддерживает моделирование сложных процессов, включая газодинамику, тепловые процессы, механическую работу оборудования и электрические системы. Одним из ключевых преимуществ РТСИМ является возможность адаптации под реальные объекты:

технологические схемы, параметры оборудования и взаимодействие компонентов настраиваются в соответствии с характеристиками конкретной станции. Это позволяет создавать модели, максимально соответствующие реальным условиям эксплуатации.

Одной из уникальных возможностей программы является создание сценариев нештатных ситуаций. Это включает в себя моделирование аварий, таких как утечки газа, отказ оборудования или отключение систем управления. Такие сценарии позволяют операторам вырабатывать устойчивость к стрессу и обучаться правильным действиям в критических условиях.

Описание технологического процесса

Для успешной работы тренажёра и достоверного моделирования поведения оборудования в разных режимах необходимо детально учитывать специфику технологического процесса. Рассмотрим схему работы дожимной компрессорной станции (ДКС) с установкой подготовки газа (УПГ) и ключевые этапы обработки и транспортировки газа.

Описание технологической схемы работы дожимной компрессорной станции (ДКС) с установкой подготовки газа (УПГ) [5]. Процесс начинается с того, что природный газ поступает на узел подключения. Газ направляется на первую технологическую площадку, где он проходит через сепараторы-пробкоуловители. Сепараторы-пробкоуловители – это оборудования, предназначенные для предотвращения попадания крупных механических загрязнений, таких как песок, ржавчина и другие твердые частицы, которые могут вызвать повреждения оборудования, включая компрессоры и клапаны. Они также обеспечивают удаление жидких примесей, таких как конденсат и вода, что способствует защите дальнейшего оборудования и поддержанию его эффективной работы. Сепараторы-пробкоуловители обеспечивают более высокое качество газа, исключая попадание вредных загрязняющих веществ, которые могут нарушить процесс сжатия и транспортировки газа.

Далее предварительно отсепарированный газ поступает на компрессорную станцию, оснащенную газокомпрессорными агрегатами (ГКА). Эти агрегаты включают центробежные компрессоры с газотурбинным приводом, которые обеспечивают сжатие газа до требуемого давления для дальнейшей подготовки газа. В процессе сжатия газа происходит повышение его температуры. Это связано с тем, что при сжатии газа молекулы газа сталкиваются друг с другом, что приводит к увеличению внутренней энергии и, соответственно, к повышению температуры газа.

Для предотвращения перегрева и обеспечения стабильности работы компрессоров, используется система охлаждения, представлена аппаратами воздушного охлаждения (АВО). Охлаждение газа необходимо для того, чтобы поддерживать оптимальные температурные параметры и не допустить повреждения оборудования, а также чтобы уменьшить износ рабочих компонентов компрессора [4]. В многоступенчатых компрессорных машинах охлаждение особенно важно, так как каждый этап сжатия может приводить к дальнейшему увеличению температуры, и без эффективного охлаждения это может привести к перегреву и снижению эффективности работы.

Давление в приемном коллекторе компрессоров регулируется с помощью пневмоприводных клапанов, что позволяет избежать избыточного давления и поддерживать стабильность работы оборудования. Излишки газа в случае превышения проектных параметров направляются на факел высокого давления, где они безопасно утилизируются.

Для обеспечения работы газокомпрессорных агрегатов используется как топливный, так и уплотнительный газ, который проходит через установки подготовки газа (УПТУГ). Установки гарантируют подачу газа, соответствующего требованиям по чистоте и температуре, которая не превышает +40 °С. Это необходимо для эффективной работы как систем газодинамических уплотнений, предотвращающих утечку газа из компрессоров, так и для стабильного функционирования топливных систем, обеспечивающих работу газотурбинных приводов компрессоров.

Разработка динамической модели в программном продукте «РТСИМ»

На данном этапе работы была создана динамическая модель, охватывающая два ключевых элемента технологического процесса: сепараторы-пробкоуловители и первую ступень компримирования. Эти модели позволяют воспроизводить процессы, происходящие в реальных условиях эксплуатации оборудования, с высокой степенью детализации. Разработанная модель дает возможность анализировать различные режимы работы системы, выявлять потенциальные риски и отрабатывать правильные решения в критических ситуациях. Это способствует улучшению подготовки операторов к экстренным условиям и снижению рисков возникновения аварийных ситуаций, что в свою очередь повышает безопасность эксплуатации и эффективность работы оборудования.

Динамическая модель сепараторов-пробкоуловителей разработана с учетом физических процессов, которые происходят в оборудовании. Модель включает в себя ключевые параметры, такие как скорость потока газа, удаление механических примесей, капельной жидкости, а также поведение фаз в различных режимах работы станции. Это обеспечивает возможность изучения динамики разделения компонентов газа и отработки возможных отклонений, возникающих в процессе эксплуатации.

Модель первой ступени компрессорной станции охватывает процесс сжатия газа, включая регулировку давления, температуру газа на выходе, а также параметры работы аппаратов воздушного охлаждения (АВО). В динамической модели реализованы алгоритмы управления газокомпрессорными агрегатами, что позволяет анализировать эффективность их работы в разных режимах и условиях.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты разработки данных динамических моделей. Эти графические материалы демонстрируют схематическое отображение процессов, происходящих в сепараторах-пробкоуловителях и на первой ступени компрессорной станции, что позволяет наглядно проанализировать и оценить их работу.

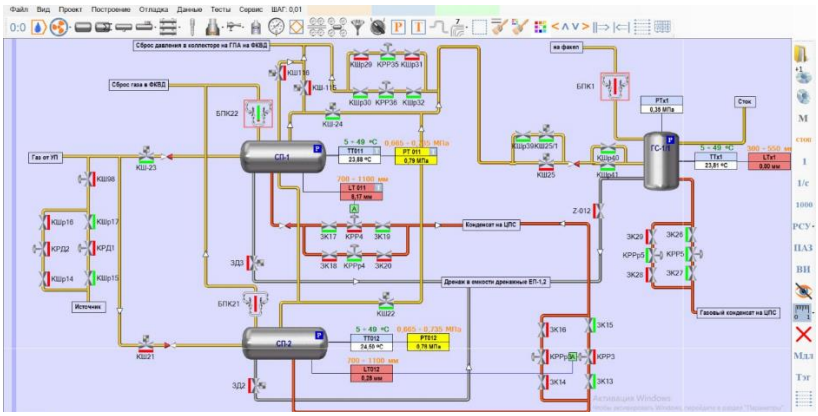


Рис. 1. Динамическая модель сепараторов-пробкоуловителей

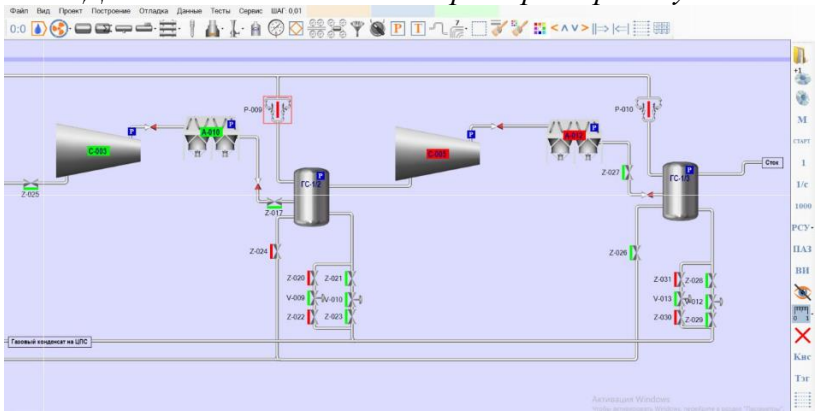


Рис. 2. Динамическая модель первой ступени компрессорной станции

Заключение

Разработка тренажёра для операторов дожимных компрессорных станций ДКС с УПГ на базе программного комплекса РТСИМ представляет собой важный шаг в повышении безопасности и эффективности работы в нефтегазовой отрасли. Создание динамических моделей технологических процессов, таких как сепараторы-пробкоуловители и первая ступень компрессорной станции, позволяет имитировать реальные условия эксплуатации и обучать операторов правильным действиям в различных ситуациях, включая аварийные.

Использование тренажёров позволяет не только повысить профессиональную подготовку операторов, но и существенно снизить риски, связанные с работой на ДКС, такие как утечка газа, повреждение оборудования или нарушение технологического процесса. Моделирование различных сценариев работы и нештатных ситуаций помогает операторам быстрее реагировать на отклонения, повышая их уверенность и готовность к критическим ситуациям.

Применение современных технологий моделирования, таких как РТСИМ, предоставляет возможность адаптации тренажёра под конкретные условия эксплуатации, что делает его эффективным инструментом для обучения и повышения квалификации операторов. Это способствует значительному улучшению безопасности, снижению экономических потерь и оптимизации работы оборудования на компрессорных станциях.

Внедрение тренажёра позволит повысить уровень подготовки операторов, что, в свою очередь, будет способствовать минимизации рисков и повышению безопасности на производственных объектах нефтегазовой отрасли. В дальнейшем планируется расширение тренажёра на весь технологический комплекс ДКС с УПГ, что позволит охватить все ключевые узлы оборудования, включая системы управления, теплообменные установки и другие критически важные компоненты. Это позволит создавать ещё более комплексные сценарии для обучения операторов и обеспечит высокий уровень готовности к экстренным ситуациям, улучшая общую безопасность и эффективность работы на объектах.

Список использованных источников

1. Борис Хозе АСУ ТП и моделирование: тренажёры для операторов / Борис Хозе // Fine Start school of future professionals [Электронный ресурс]. – URL: finestart.school/media/training_operators (дата обращения: 01.07.2025).

2. Тема 4.3. Компьютерные тренажеры в обучении персонала нефтегазовой отрасли / [Электронный ресурс]. – URL: sfsamgtu.ru/epa/docs/ITiOvNGO/4.3.pdf (дата обращения: 01.07.2025).

3. ООО «Т-Софт». Описание программы для ЭВМ компьютерный тренажерный комплекс «Т-СОФТ». – СПб.: 32 с.

4. RTsim – компьютерные тренажеры для нефтегазового сектора // RTsim компьютерные тренажеры для нефтегазового сектора [Электронный ресурс]. – URL: rtsim.ru (дата обращения: 01.07.2025).

5. ДКС технические требования [Электронный ресурс]. – URL: ccpowerplant.ru (дата обращения: 01.07.2025).

6. Дягилев В. Д. Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода: специальность 21.03.01 «Нефтегазовое дело»; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск, 2023. – 96 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИЙ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ МОДЕЛИ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА С ВОДЯНОЙ РУБАШКОЙ

Балахнин И.А.[1], Тутов И.А.[2]
[1] Томский политехнический университет, студент гр. 8ТМ32, e-mail: iab36@tpu.ru
[2] Томский политехнический университет, старший преподаватель ОАР ИШИТР, e-mail: ivantutov@tpu.ru

Введение

Химические процессы получения пластмасс с заданными свойствами требуют точной температуры для обеспечения стабильности и эффективности производства. Температура играет ключевую роль в процессах полимеризации в химических реакторах, поскольку ее изменения могут приводить к потере качества выходного продукта и ухудшению безопасности процесса. Одним из наиболее распространенных методов управления температурой является использование пропорционально-интегральных (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) регуляторов и их модификаций. Однако эти методы управления не всегда обеспечивают требуемую точность регулирования и время переходного процесса, особенно при наличии возмущений и нелинейных эффектов.

Работа направлена на выявление наиболее эффективных алгоритмов регулирования температуры, обеспечивающих минимальное время переходного процесса при перерегулировании менее 4%, так как даже небольшое перерегулирование может привести к браку продукции. Поэтому 4% – это компромиссное значение, которое обеспечивает стабильность без ущерба для качества.

Основная часть

Исследуемая установка (рис. 1) представляет собой физический макет химического реактора с водяной рубашкой. В основе математической модели лежит передача тепловой энергии от нагревателя через теплоноситель (воду) к рабочей камере реактора [1].

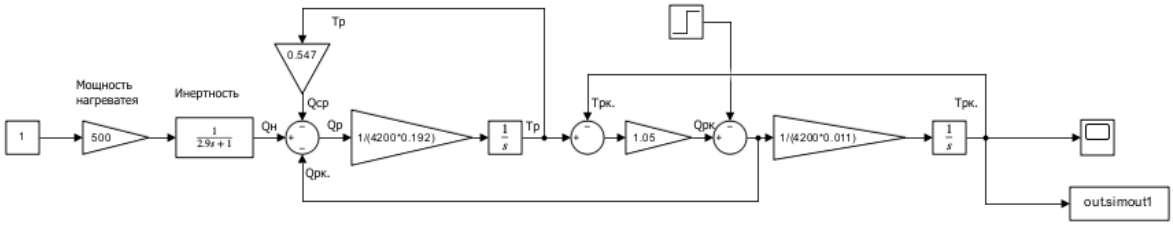


Рис. 1. Объект управления

Дифференциальное уравнение модели в форме вход-состояние-выход (1) имеет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = -x_1 \dfrac{k_2}{cm_{рк}} + x_2 \dfrac{k_2}{cm_{рк}}, \\ \dfrac{dx_2}{dt} = x_1 \dfrac{k_2}{cm_p} - x_2 \left(\dfrac{k_2}{cm_p} + \dfrac{k_1}{cm_p} \right) + x_3 \dfrac{1}{cm_p} + f(t) \dfrac{k_1}{cm_p}, \\ \dfrac{dx_3}{dt} = -x_3 \dfrac{1}{T} + u(t) \dfrac{k}{T}, \end{cases} \quad (1)$$

где

c – удельная теплоёмкость воды.

$m_{\text{р}}$ – масса воды в рубашке.

$m_{\text{рк}}$ – масса воды в рабочей камере.

$k1$ – коэффициент теплопередачи стенок между водяной рубашкой и окружающей средой.

$k2$ − коэффициент теплопередачи стенок между водяной рубашкой и рабочей камерой реактора.

k – мощность нагревателя.

x_1 – температура рабочей камеры.

x_2 – температура воды в рубашке.

x_3 – количество теплоты, переданное нагревателем.

Матрица коэффициентов состояния A (2), матрица коэффициентов управляющего воздействия B (3) и матрица коэффициентов возмущающего воздействия F (4) равны:

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{k_2}{cm_{рк}} & \frac{k_2}{cm_{рк}} & 0 \\ \frac{k_2}{cm_p} & \left(\frac{k_2}{cm_p} + \frac{k_1}{cm_p}\right) & \frac{1}{cm_p} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k}{T} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

$$F = \begin{pmatrix} \frac{-1}{cm_{рк}} & \frac{1}{cm_p} & 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Данная установка используется для исследования различных алгоритмов регулирования температуры, включая ПИ, каскадный ПИ-ПИ регулятор и ПИД, а также применение фильтров низкой частоты при дифференциальной составляющей для уменьшения влияния шумов на систему. Для работы были взяты коэффициенты теплопередачи $k1$ = 0,547 и $k2$ = 1,05 [2]. Все эксперименты были проведены при мощности нагревателя 592,2 Вт [2]. Была проведена работа с подбором наилучших коэффициентов стандартного ПИ регулятора, ПИ-ПИ регулятора (каскадная система), ПИД регулятора, ПИД регулятора с фильтром низкой частоты 1-го, 2-го и 4-го порядка при дифференциальной составляющей.

Для поиска наилучших коэффициентов использовался перебор значений. Моделирование выполнялось в среде имитационного моделирования. Целью являлся подбор коэффициентов регулятора, обеспечивающих минимальное время переходного процесса с перерегулированием не более 4%.

Алгоритм:

1. Для каждого значения коэффициентов получался температурный отклик системы.

2. Определялось максимальное перерегулирование, при превышении заданного значения переходили к проверке следующего значения.

3. Определялось время установления температуры в пределах ±2% от уставки.

4. Выбирались параметры, обеспечивающие минимальное время переходного процесса и не превышающие 4% перерегулирования.

Каскадное регулирование представляет собой двухконтурную систему управления, где основной (внешний) контур отвечает за поддержание температуры реакционной среды, а вспомогательный (внутренний) контур регулирует температуру теплоносителя в рубашке реактора. Такая архитектура позволяет компенсировать возмущения на более ранней стадии, улучшая качество управления. Минимизация времени переходного процесса проводится аналогично разделу выше с ПИ-регулятором, но с учетом взаимодействия между контурами.

Дифференциальная составляющая ПИД регулятора чувствительна к шумам и высокочастотным помехам. Для реалистичного моделирования ПИД регулятора в контур обратной связи добавлены шумы в пределах ±3% от заданного значения.

Для устранения влияния шумов применяется фильтр низких частот при дифференциальной составляющей. Фильтр первого порядка (5) имеет передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{1}{Tf \cdot s + 1}, \tag{5}$$

где Tf – постоянная времени фильтра.

Фильтр второго порядка (6) имеет передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{1}{(T_1 f \cdot s + 1)(T_2 f \cdot s + 1)}, \tag{6}$$

где T_1 и T_2 – постоянные времени фильтров.

Исследования проводились при $T = T_1 = T_2$.

Фильтр четвертого порядка (7) обладает более высокой степенью подавления шумов и представлен следующей передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{1}{(T_{14} f \cdot s + 1)(T_{24} f \cdot s + 1)(T_{34} f \cdot s + 1)(T_{44} f \cdot s + 1)}, \tag{7}$$

где T_{14}, T_{24}, T_{34} и T_{44} – постоянные времени фильтров.

Исследования проводились при $T = T_{14} = T_{24} = T_{34} = T_{44}$.

После подготовки всех элементов был выполнен подбор всех коэффициентов, перечисленных выше регуляторов. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение результатов оптимизации

Регулятор	**Коэффициенты**	**Время**
ПИ	$K_p = 0.013$ $K_i = 1490$	325 секунд
ПИ-ПИ	$K_{p1} = 0.0170$ $K_{i1} = 1.62$ $K_{p2} = 0.046$ $K_{i2} = 14.00$	250 секунд
ПИД	$K_p = 0.145$ $K_i = 762.0$ $K_d = 47.0$	20 секунды
ПИД с фильтром 1-го порядка	$K_p = 0.1360$ $K_i = 830$ $K_d = 47$ $T_d = 0.24$	19 секунд
ПИД с фильтром 2-го порядка	$K_p = 0.1380$ $K_i = 812$ $K_d = 47$ $T_d = 0.081$	19 секунд
ПИД с фильтром 4-го порядка	$K_p = 0.1380$ $K_i = 824$ $K_d = 46$ $T_d = 0.05$	19 секунд

На рис. 2 приведено сравнение всех регуляторов с наилучшими коэффициентами.

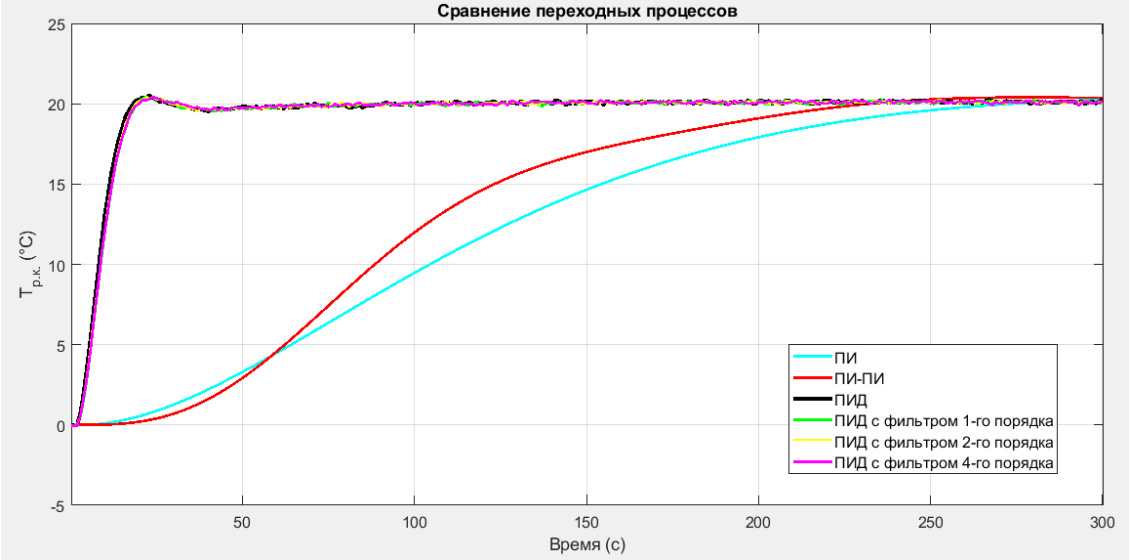


Рис. 2. Переходные процессы ПИ, ПИ-ПИ, ПИД, ПИД (с фильтром 1-го, 2-го и 4-го порядка) регуляторов

Заключение

В ходе работы был проведён сравнительный анализ различных алгоритмов регулирования температуры химического реактора с водяной рубашкой. ПИД регулятор с фильтром 1-го порядка при дифференциальной составляющей демонстрирует наиболее быстрый переходный процесс для данного химического реактора с водяной рубашкой.

Список использованных источников

1. Емельянова Т.А., Гончаров В.И., Дементьев Ю.Н., Тутов И.А. Синтез двухконтурной системы управления химическим реактором численным методом с привлечением регуляризации [Электронный ресурс] – URL: journal.tusur.ru/storage/97946/20-Емельянова-Гончаров-Дементьев-Тутов.pdf?1516334565 1 (дата обращения: 01.04.2025).

2. Скользящие режимы в системе стабилизации температуры химического реактора с водяной рубашкой [Электронный ресурс] URL: earchive.tpu.ru/bitstream/11683/47989/1/TPU552054.pdf (дата обращения: 01.04.2025).

3. Бутузов Д. В. Математическая модель испытательной установки химического реактора с водяной рубашкой [Электронный ресурс] URL: earchive.tpu.ru/bitstream/11683/36921/1/conference_tpu-2016-C04_V1_p319-320.pdf?ysclid=m8jys98ppm655361235 (дата обращения: 01.04.2025).

4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. Учебник для студентов. – Москва, МЭИ, 2004 [Электронный ресурс] – URL: djvu.online/file/txYZ5ISl34Ure (дата обращения: 01.04.2025).

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗА В ТРУБОПРОВОДАХ

Филипас А.А.[1], Павленко П.В.[2], Макаров Д.С.[3], Уфимцев А.В.[4]
[1]ТПУ, ИШИТР, Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры, к.т.н., доцент, e-mail: filipas@tpu.ru
[2]ТПУ, ИШИТР, группа 8Т12, e-mail: pvp19@tpu.ru
[3]ТПУ, ИШИТР, группа 8Т11, e-mail: dms36@tpu.ru
[4]ТПУ, ИШИТР, группа 8Т11, e-mail: avu34@tpu.ru

Аннотация

В работе рассматривается разработка лабораторного стенда физического подобия для исследования гидродинамических процессов в трубопроводах. Основное внимание уделено созданию автоматизированного стенда, предназначенного для проведения лабораторных исследований в учебных аудиториях. Представлены этапы проектирования, включая определение функционала стенда, создание электрических схем, проектирование и сборку трехмерной модели, а также сборка реального стенда.

Ключевые слова: стенд физического подобия, автоматизация, гидравлика, пневматика, трубопровод.

Введение

Эффективность подготовки будущих специалистов во многом зависит от качества образования, а именно: лекционные занятия, демонстрационные эксперименты, лабораторные практикумы с применением учебно-лабораторного оборудования, мультимедийные средства обучения. Как показывает педагогическая практика, достичь высокого качества образования невозможно без использования учебной техники и стендового оборудования. Не последнюю роль в этом процессе играет использование качественного лабораторного оборудования, включая лабораторные стенды.

Одним из лучших способов обучения, несомненно, является применение специальных учебных лабораторных стендов. С их помощью проведение практических и лабораторных занятий становится увлекательным и позволяет более качественно изучить техническую базу, а также получить практические навыки работы с современными средствами автоматизации и программным обеспечением.

Учебные лабораторные стенды созданы с применением спецоборудования и программного обеспечения для организации полноценного обучения студентов и проведения исследовательских работ. С помощью учебных лабораторных стендов можно безопасно и максимально приближенно к реальности работать с виртуальными и реальными объектами управления. А в связи с тем, что нефтегазовое отрасль не теряет своей актуальности, то создание лабораторного стенда для этого направления позволит будущим специалистам получить не только теоретические, но и практические навыки работы в нефтегазовом деле.

Стенд для лабораторных работ, являющийся темой данного доклада, основан на взаимосвязях между гидравлической и пневматической систем. Данная установка позволит проводить множество лабораторных работ по изучению гидродинамических процессов, в частности определение места утечки на трубопроводе, основанного на методе определения утечки по изменению профиля давления вдоль трубопровода [1].

Постановка задачи

Для создания такого стенда особо важными задачами являются: анализ требований, предъявляемых к функционалу стенда, из которых следует подбор компонентов, необходимых для сборки стенда, создание чертежей, а также масштабного виртуального макета стенда для оценки габаритов и компоновки.

Принимая во внимание всё вышеописанное, а также то, что данный стенд предназначен для изучения системы движения по трубопроводам двух разных веществ, в том числе для имитирования трёх точек нефтепровода, а также должен использоваться как лабораторный стенд в учебных аудиториях, он должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Имитирование трёх точек трубопровода – начальной (в качестве неё выступает перекачивающая станция, откуда жидкость поступает в конец трубопровода), промежуточной (предназначена для имитирования места утечки) и конечной (выступает в роли принимающей станции). Каждая точка включает в себя системы управления регулирования потока и создания возмущающего воздействия, что в целом образуют каскад.
2. Управление гидравлической частью – циркулирование жидкости в системе, управление потоком этой жидкости в каждой точке трубопровода, а также обеспечение в них как противодавления, так и возмущающего воздействия в гидравлической части, которым можно управлять.
3. Управление пневматической частью – обеспечение возмущающего воздействия на каждую из трёх точек имитируемого трубопровода и управление этим возмущением. Кроме того, наличие пневматической части в стенде позволяет создать возмущения на повышенных относительно гидросистемы частотах. Это даёт возможность моделирования повреждения в трубопроводе.
4. Управление технологическими процессами как в ручном, так и в автоматическом режиме.
5. Возможность проведения нескольких лабораторных работ на данном стенде.
6. Возможность модернизации отдельных частей стенда и стенда в целом в пределах технического задания.
7. Соответствие требованиям габаритных ограничений для размещения в аудитории и возможности переноса стенда без необходимости его разбора по частям.
8. Соответствие требованиям эргономики по способу и форме предоставления информации о протекании процессов в системе [2].
9. Соответствие требованиям надёжности и безопасности [3].

Исходя из этого, в компонентную базу стенда должны входить различные управляемые и считывающие компоненты, которые позволят:

Во-первых, снимать статические и динамические характеристики, такие как величина давления в начальной точке имитируемого трубопровода, в его промежуточной и конечной точке; величину расхода жидкости на участках трубопровода, предусмотренных по плану; состояние каждого из двух насосов.

Во-вторых, собирать информацию о протекании процесса в нескольких точках.

В-третьих, управлять всеми датчиками и преобразователями как дистанционно, так и с помощью оборудования, которое может располагаться непосредственно на стенде и включать в себя программируемые логические устройства (программируемые реле, ПЛК), различные показывающие устройства (индикаторы, экраны), а также устройства для ручного управления процессом (кнопки, переключатели).

За счёт большого количества автоматических регуляторов и элементов, управляемых дистанционно, разрабатываемый стенд имеет высокую степень автоматизации, поэтому этим стендом можно будет управлять удаленно, что также даёт возможность создания SCADA для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте и управления им.

Помимо всего вышеописанного, стоит также отметить, что каскады могут сообщаться друг с другом в различных комбинациях, которые достигаются благодаря трёхходовым клапанам, принимающим одно из трёх положений (0°, 90°, 180°). На рисунке 1 показаны варианты параллельного, последовательного и комбинированного подключения каскадов стенда.

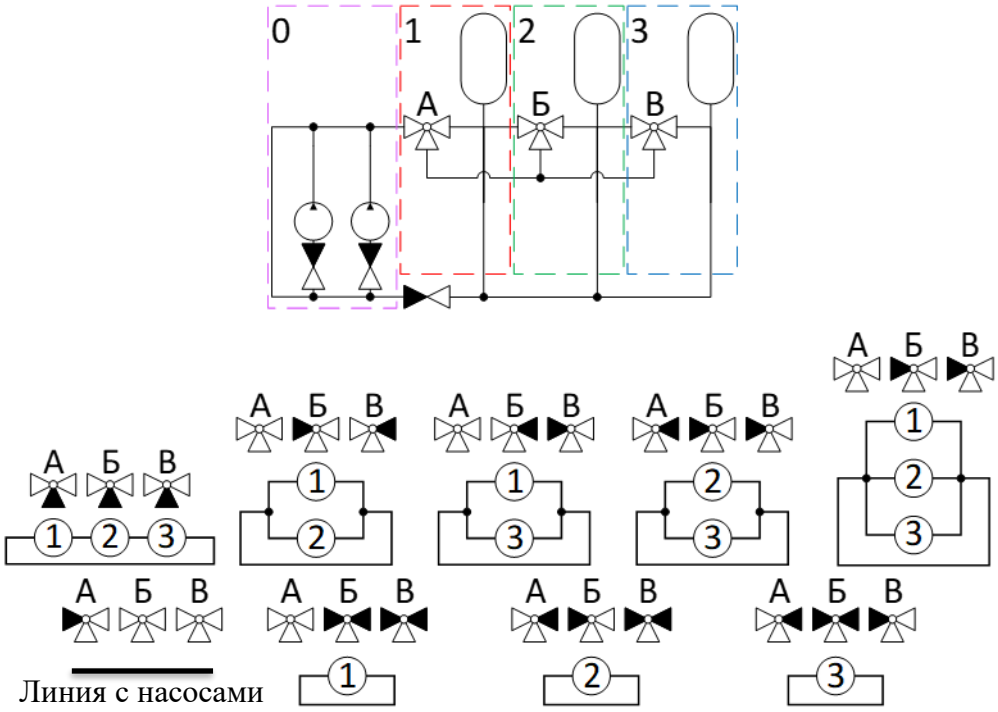


Рис. 1. Упрощённая гидравлическая схема вариативности подключения каскадов

Предварительные работы

В первую очередь была создана трёхмерная модель стенда, включающая все используемые компоненты и их взаимные связи. Для этого были разработаны точные 3D-модели электронасосов, регулирующих клапанов, датчиков давления и расхода, компрессора, электромагнитных клапанов и других элементов, входящих в состав стенда. Особое внимание уделялось точному соблюдению размеров, форм и точек крепления компонентов, что позволило создать модель с высокой степенью детализации и достоверностью. Все элементы были объединены в общую компоновку, размещённую на специально спроектированном столе, чертёж которого был разработан отдельно. Проектирование стола осуществлялось с учётом требований по габаритам, стиля уже имеющихся лабораторных столов в аудиториях, эргономике и удобству размещения в учебной аудитории, чтобы обеспечить возможность беспрепятственного доступа к основным компонентам стенда. На основе трёхмерной модели было разработано несколько возможных вариантов компоновки стенда, из которых был выбран оптимальный по критериям компактности и удобства эксплуатации. Созданная трёхмерная модель позволила не только оценить удобство расположения оборудования, но и предварительно выявить возможные коллизии в компоновке. Это упростило дальнейшую сборку стенда и обеспечило высокую степень соответствия реального объекта проектной модели. Внешний вид трёхмерной модели показан на рисунке 2.

Рис. 2. Трёхмерная модель разрабатываемого стенда

После завершения разработки трёхмерной модели стенда были созданы электрические схемы для подключения всех устройств управления, что включало проработку логических и физических связей между различными элементами системы. Электрические схемы охватывают соединение ПЛК, модулей ввода-вывода и всех используемых устройств – датчиков давления, расхода, а также исполнительных механизмов, таких как клапаны, насосы и регуляторы. Для каждого устройства были определены параметры сигналов, типы подключения и используемые интерфейсы, что позволило обеспечить совместимость всех элементов. Разработанные схемы служат основой для дальнейшего монтажа, настройки и тестирования системы, а также являются важным инструментом при выявлении и устранении возможных ошибок на этапе подключения. На рисунке 3 представлен один из нескольких листов схем подключения.

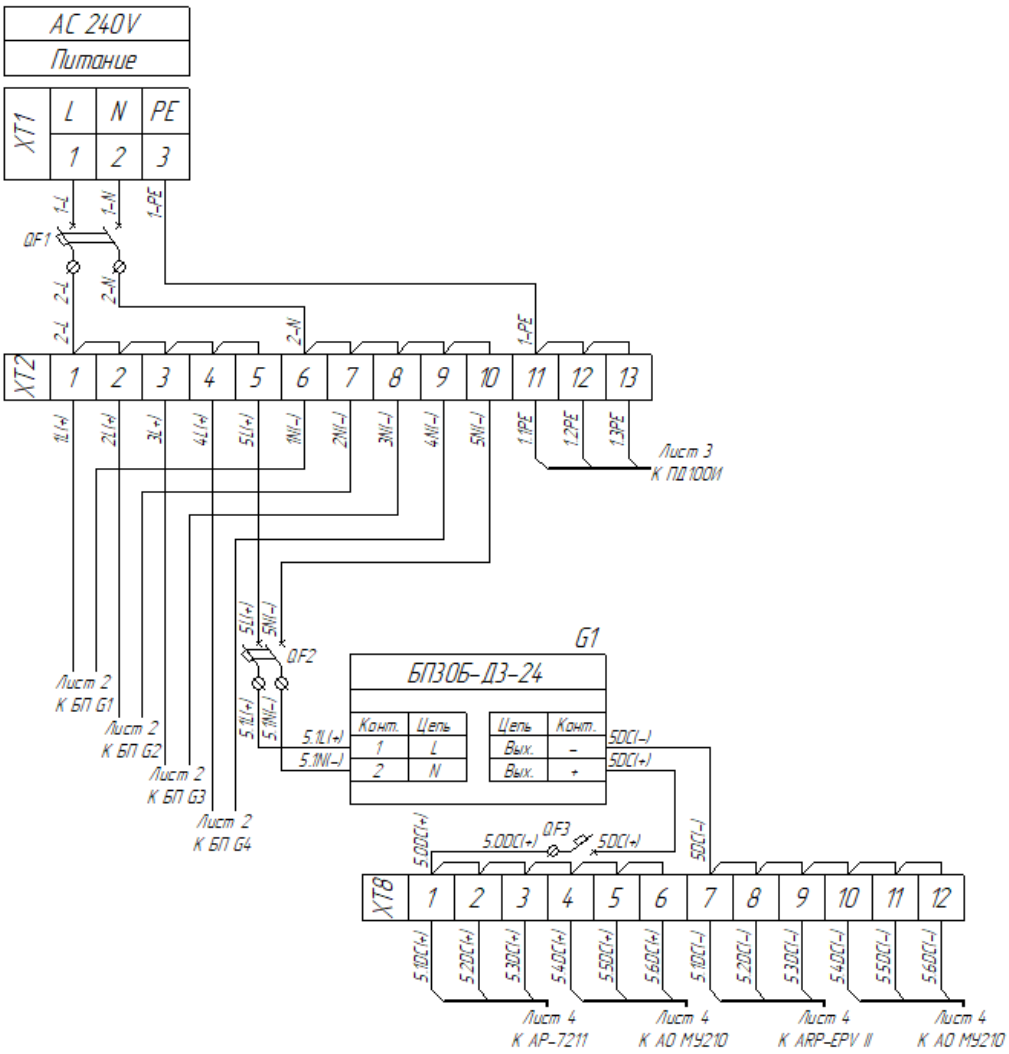


Рис. 3. Часть схем подключения электрической части стенда

Результаты

Заключительным этапом стала сборка реального стенда на основе разработанной трёхмерной модели (рисунок 4). Компоненты были размещены на подготовленном столе в строгом соответствии с компоновкой, предусмотренной виртуальной моделью. Была выполнена установка насосов, клапанов, датчиков, регуляторов давления и других элементов, которые обеспечивают функционирование системы. Компоненты соединялись механически с использованием подходящих крепёжных элементов, что обеспечило их надёжную фиксацию на рабочем столе. Сборка реального стенда проходила с постоянным сравнением результатов с разработанной трёхмерной моделью. Это позволило оперативно вносить коррективы в компоновку и крепление компонентов при необходимости. Помимо этого, стоит отметить, что дополнительно проводилась проверка герметичности соединений и устойчивости конструкции к механическим нагрузкам, а также проверка доступности компонентов для проведения их подключения и дальнейшего обслуживания, что подтвердило корректность выбранного подхода к проектированию. Полученный физический стенд идентичен созданной трёхмерной модели и готов к дальнейшему этапу подключения электрических цепей. На данный момент базовая механическая часть стенда полностью собрана, однако электрические соединения и системы управления ещё не подключены. Следующим шагом станет монтаж проводки, подключение ПЛК и устройств, а также настройка автоматических и ручных режимов управления, что позволит провести полноценные испытания и оценку работоспособности стенда.

Рис. 4. Сборка стенда

Заключение

В ходе выполнения данной работы была успешно разработана и частично собрана лабораторная установка для исследования гидродинамических процессов в трубопроводах. Были реализованы основные этапы проектирования, включая определение функционала, создание трёхмерной модели, разработку электрических схем и сборку стенда. Процесс создания модели позволил детально проработать компоновку элементов, обеспечить их совместимость и оптимизировать размещение оборудования в соответствии с требованиями эргономики и безопасности. Проектируемый стенд позволяет моделировать различные гидродинамические процессы, включая циркуляцию жидкости, регулирование потоков и создание возмущающих воздействий. Установка также обеспечивает возможность гибкой настройки и модернизации системы для проведения широкого спектра лабораторных исследований. Следующим этапом проекта станет подключение электрической части стенда, настройка системы управления и проведение испытаний в различных режимах работы. Ожидается, что данный стенд станет эффективным инструментом для обучения студентов, а также для проведения научных исследований в области гидравлики и пневматики.

Список использованных источников

1. Степанченко Т.Е., Шкляр В.Н. Разработка и исследование алгоритмов обнаружения утечек в магистральных трубопроводах на основе их гидродинамических моделей // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309 – №7. С. 70-73.

2. ГОСТ Р ИСО 9241-303-2012. Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 303. Требования к электронным видеодисплеям: издание официальное: дата введения 29.11.2012. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 36 с.

3. ГОСТ IEC 61010-1-2014. Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования: издание официальное: дата введения 01.09.2015. – Москва : Стандартинформ, 2015. 131 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАСЛЯНОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ГАЗА

Можейко Л.А.[1]
Научный руководитель: Семенов Н.М.[2]
[1]*Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники 8Т11, e-mail: lam11@tpu.ru*
[2]*Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, Старший преподаватель, e-mail: semyonov@tpu.ru*

Аннотация
В работе рассмотрена проблема поддержания уровня масла в масляном пылеуловителе на месторождении газа. Составлено и предложено решение по усовершенствованию масляного пылеуловителя с внедрением автоматизации регулирования уровня масла.
Ключевые слова: масляный пылеуловитель, природный газ, масло, уровень.

Введение

Природный газ является всё более востребованным ресурсом в настоящее время и играет важную роль в большинстве производств на территории России. Добыча природного газа – сложный процесс, при котором требуется очистка газа от различных примесей. В частности, очистка механических примесей производится в масляных пылеуловителях, где присутствует отток масла вместе с проходящим газом, вследствие чего возникает проблема регулирования уровня масла.

С целью улучшения качества регулирования и увеличения эффективности очистки газа возникает необходимость в разработке новых способов автоматизации масляного пылеуловителя. В представленной работе разработан и предложен вариант автоматизации масляного пылеуловителя с применением современных средств автоматизации.

Описание варианта автоматизации масляного пылеуловителя

При добыче природного газа производится его очистка с использованием циклонных и масляных пылеуловителей, а также гравитационных сепараторов. Обращая внимание на масляные пылеуловители, обладающие высокой степенью очистки (до 97-98%) [1], отмечается безвозвратный расход масла, уходящего вместе с природным газом. Поскольку такой расход приводит к уменьшению уровня масла в пылеуловителе, для повышения эффективности его работы необходимо создание автоматизированной системы, способной определять недостаток уровня и восполнять его без прямого вмешательства работников.

Решая проблему, связанную с регулированием уровня масла, был разработан вариант системы, в которой присутствует как сам пылеуловитель, так и оборудование для очистки масла. Уровнемеры, установленные в системе, занимаются непрерывной передачей информации об уровне масла в SCADA и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. Клапаны, выполняющие роль исполнительного механизма и производят восполнение и пропуск масла. На случай нештатной ситуации, связанной с превышенным или недостаточным уровнем масла, в системе применяется световая и звуковая сигнализация. На рисунке 1 представлена структурная схема предлагаемой системы автоматизации масляного пылеуловителя. На рисунке 2 представлена функциональная схема этой системы.

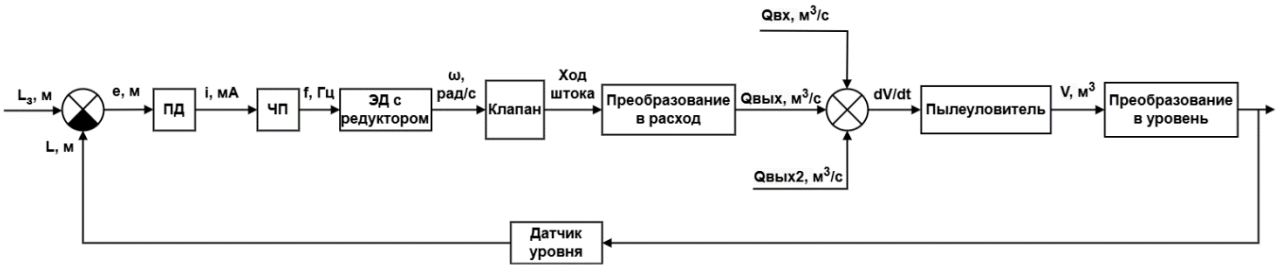


Рис. 1. Структурная схема системы автоматизации масляного пылеуловителя

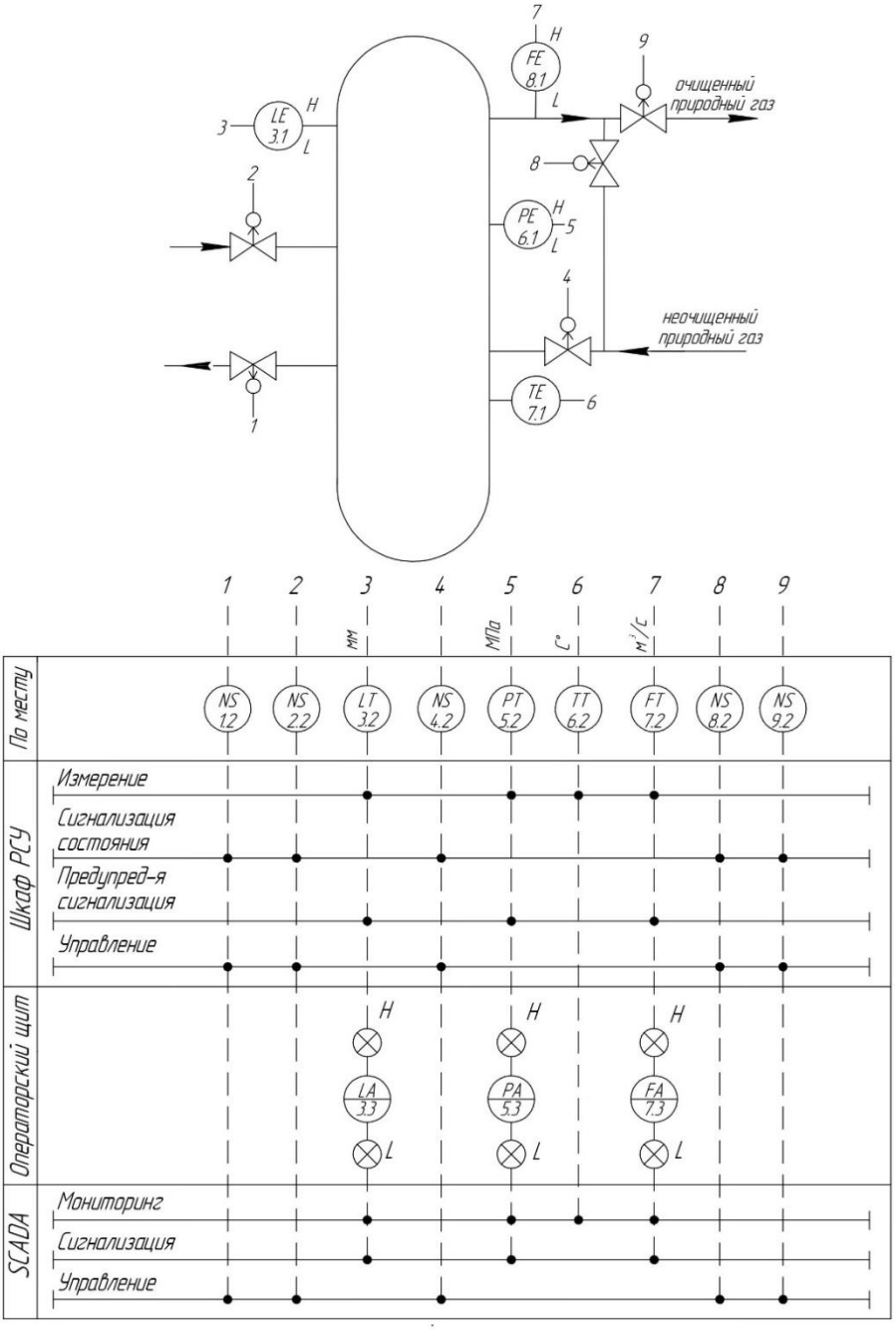


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации масляного пылеуловителя

С целью проверки работоспособности системы было проведено её моделирование в математическом пакете прикладных программ. Для этого были определены передаточные функции основных элементов структурной схемы.

Поскольку в системе имеются два интегрирующих звена, регулирование осуществляется с использованием ПД-регулятора [2], передаточная функция которого определяется по формуле:

$$W_{\text{ПД}}(s) = K_{\text{р}} \cdot e(t) + K_{\text{d}} \cdot \frac{de}{dt}, \quad (1)$$

где $K_{\text{р}}$ – пропорциональный коэффициент регулятора, K_{d} – дифференциальный коэффициент регулятора. В процессе моделирования коэффициенты регулятора $K_{\text{р}} = 10$ и $K_{\text{d}} = 1150$ были определены эмпирическим методом.

Передаточная функция частотного преобразователя, следующего за ПД-регулятором, описывается формулой:

$$W_{\text{ЧП}}(s) = \frac{K_{\text{ЧП}}}{T_{\text{ЧП}} \cdot s + 1}, \quad (2)$$

где $K_{\text{ЧП}}$ – коэффициент частотного преобразователя, $T_{\text{ЧП}}$ – постоянная времени частотного преобразователя, принятая равной 0,1 с. Коэффициент частотного преобразователя определяется как:

$$K_{\text{ЧП}} = \frac{\Delta f}{\Delta I} = \frac{50-0}{20-4} = \frac{50}{16} = 3{,}125 \frac{\text{Гц}}{\text{мА}}, \quad (3)$$

где Δf – диапазон частот в Гц, ΔI – диапазон для токового сигнала в мА.

Электропривод с редуктором имеют передаточную функцию вида:

$$W_{\text{ЭПР}}(s) = \frac{K_{\text{ЭПР}}}{T_{\text{ЭПР}} \cdot s + 1}, \quad (4)$$

где $K_{\text{ЭПР}}$ – коэффициент электропривода с редуктором, $T_{\text{ЧП}}$ – постоянная времени электропривода с редуктором, принятая равной 0,25 с.

Коэффициент передаточной функции электропривода с редуктором определяется как:

$$K_{\text{ЭПР}} = \frac{\omega_{\text{ЭПР}}}{f} = \frac{19{,}635}{50} = 0{,}3927 \frac{рад/\text{с}}{\text{Гц}}, \quad (5)$$

где $\omega_{\text{ЭД}}$ – номинальная скорость вращения вала электропривода в рад/с, f – максимальное значение частоты питающего напряжения в Гц.

Регулирующий орган в виде клапана имеет вид:

$$W_{\text{кл}}(s) = \frac{K_{\text{кл}}}{s}, \quad (6)$$

где $K_{\text{кл}}$ – коэффициент передачи клапана, определяемый формулой:

$$K_{\text{кл}} = \frac{l_{\text{шс}}}{K_{\text{ЭПР}}}, \quad (7)$$

где $l_{\text{шс}}$ – ход штока за 1 секунду. Учитывая, что в соответствии с паспортными данными электропривода [3] за 50 секунд при номинальной скорости вращения вала электропривода 19,635 рад/с обеспечивается номинальный ход штока $l_{\text{ш}} = 40$ мм, за 1 секунду ход штока будет равным $l_{\text{шс}} = 0{,}8$ мм. Тогда коэффициент передачи клапана будет равен:

$$K_{\text{кл}} = \frac{l_{\text{шс}}}{K_{\text{ЭПР}}} = \frac{0{,}8}{0{,}3927} = 2{,}0371 \frac{\text{мм} \cdot \text{с} \cdot \text{Гц}}{рад} = 0{,}002 \frac{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Гц}}{рад}. \quad (8)$$

Частью регулирующего органа в модели также является ограничительное звено (Saturation), которое является ходом штока клапана и имеет диапазон [0; 0,04] мм.

Согласно структурной схеме, после клапана присутствует блок преобразования хода штока в выходной расход масла. Этот расход вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{вых}}(t) = S \cdot \sqrt{2g \cdot h(t)}, \tag{9}$$

где S – площадь сечения клапана, g – ускорение свободного падения, $h(t)$ – уровень масла в пылеуловителе.

Для того, чтобы перевести ход штока клапана $I_{ш}$ в площадь сечения клапана, вводится коэффициент $K_{ПС}$ равный:

$$K_{\text{ПС}} = \frac{S}{l_{\text{ш}}}. \tag{10}$$

При радиусе проходного сечения клапана 0,02 м (20 мм), площадь сечения клапана вычисляется по формуле:

$$S = r^2 \cdot \pi = 0,02^2 \cdot 3,14159 = 0,00125664\,\text{м}^2. \tag{11}$$

Тогда коэффициент пересчета $K_{\text{ПС}}$ будет равен:

$$K_{\text{ПС}} = \frac{S}{l_{\text{ш}}} = \frac{0,00125664}{0,04} = 0,0314159\,\text{м}. \tag{12}$$

В пылеуловителе присутствует приток и отток масла, из чего следует, что изменение объема среды в ёмкости пылеуловителя равно алгебраической сумме входящего и выходящего потоков, то есть:

$$\frac{d}{dt}V(t) = Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вых}}(t) - Q_{\text{вых}2}(t); \tag{13}$$

$$V(t) = \int (Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вых}}(t) - Q_{\text{вых}2}(t))dt, \tag{14}$$

где $V(t)$ – объем масла в пылеуловителе (м³), $Q_{\text{вх}}(t)$ – приток масла в пылеуловитель (м³/с), $Q_{\text{вых}}(t)$ – отток отработанного масла из пылеуловителя (м³/с), $Q_{\text{вых}2}(t)$ – отток масла вместе с газом. Предполагается, что приток масла в пылеуловитель будет равен 0,01 м³/с, а отток масла вместе с газом будет равен 5% от притока (0,0005 м³/с).

Учитывая, что площадь сепаратора $S_{\text{П}}$ предполагается равной 4,52 м^2, для преобразования объема масла в уровень используется коэффициент пересчета $K_{\text{УМ}}$, определяемый согласно формуле:

$$K_{\text{УМ}} = \frac{1}{S_{\text{П}}} = \frac{1}{4,52\,\text{м}^2}. \tag{15}$$

В обратной связи математической модели присутствует блок датчика уровня, описываемый коэффициентом, равным единице.

Таким образом, была составлена математическая модель системы автоматического регулирования (САР), представленная на рисунке 3.

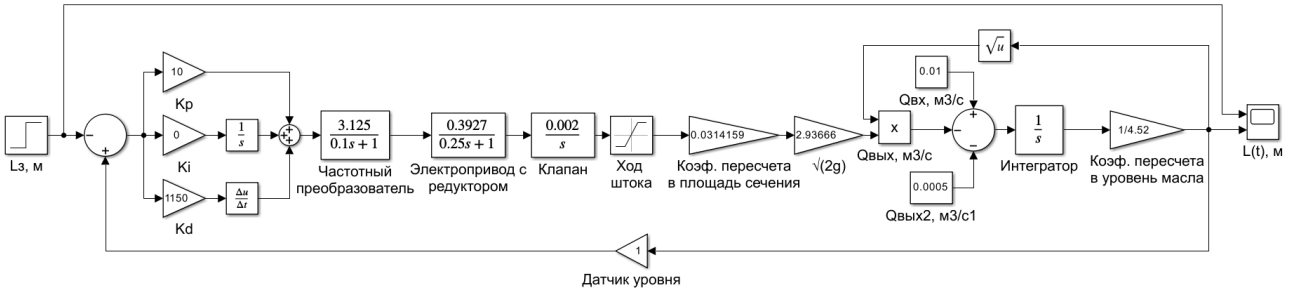


Рис. 3. Модель САР масляного пылеуловителя в математическом пакете прикладных программ

Задав уставку уровня масла в пылеуловителе и настроив ПД-регулятор по определенным ранее коэффициентам, была получена переходная характеристика уровня, представленная на рисунке 4.

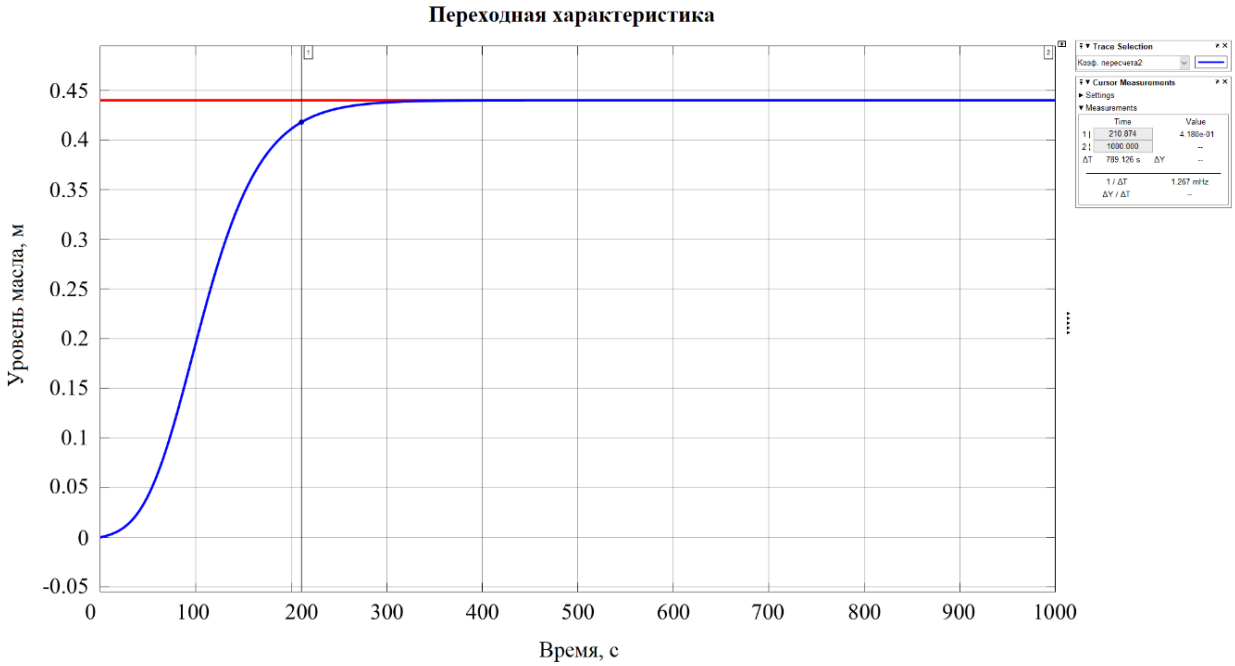


Рис. 4. Переходная характеристика уровня масла в пылеуловителе

Исходя из полученной переходной характеристики, при настроенном ПД-регуляторе отсутствует перерегулирование, при этом время регулирование равняется 210 секундам. Следовательно, можно сделать вывод о корректности работы системы.

Для предлагаемой системы автоматизации масляного пылеуловителя была разработана экранная форма, выполненная в среде Trace Mode и представленная на рисунке 5.

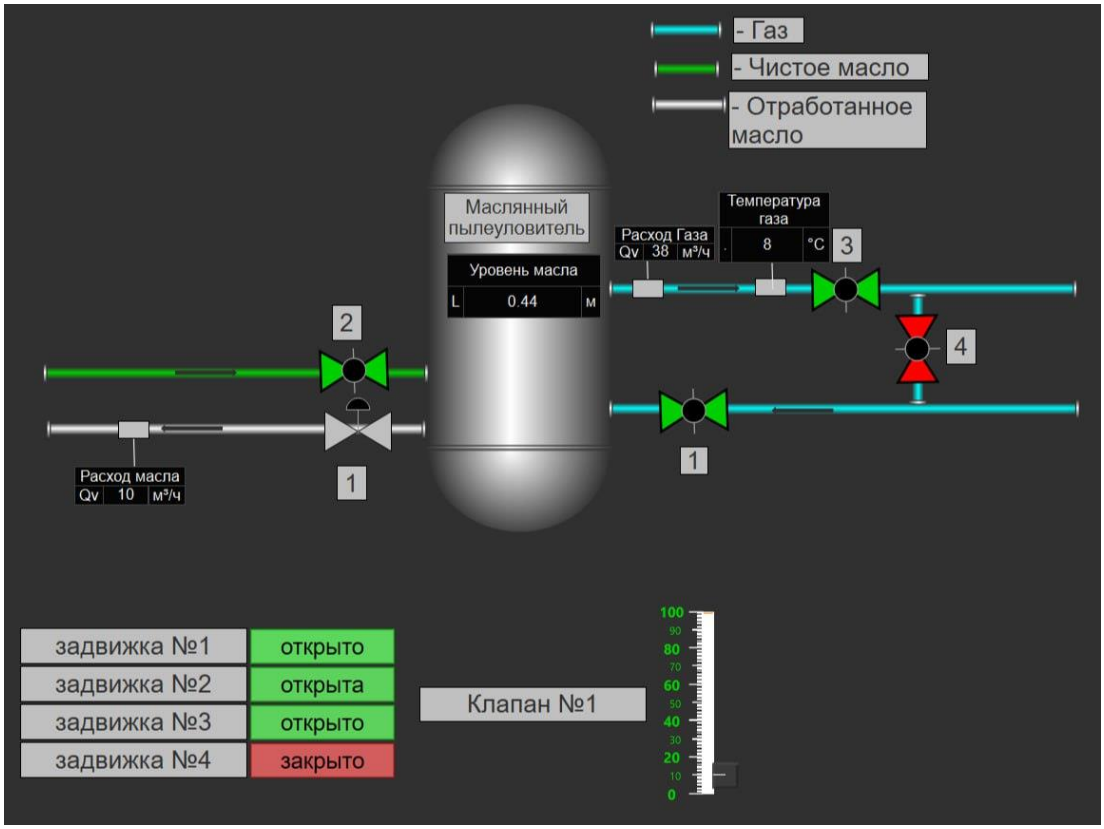


Рис. 5. Экранная форма SCADA-системы масляного пылеуловителя

Заключение

В результате выполнения работы был проведен обзор проблемы поддержания уровня масла в масляных пылеуловителях, исходя из чего поставлена цель, заключающаяся в усовершенствовании пылеуловителей с помощью введения системы автоматизации. Следуя поставленной цели, была проведена разработка одного из возможных вариантов системы автоматизации масляного пылеуловителя. Для разработанной системы была составлена математическая модель и проведен анализ её работоспособности в математическом пакете прикладных программ. Из полученных результатов анализа работоспособности модели сделан вывод о корректной работе САР.

Ценность выполненной работы заключается в решении проблемы, связанной с поддержанием уровня масла в пылеуловителе, с использованием средств автоматизации. Предложенный вариант усовершенствования масляных пылеуловителей может быть внедрен в энергетических предприятиях на территории России.

Список использованных источников

1. Системы очистки технологического газа на КС // Info KS. – 2024. [Электронный ресурс]. – URL: infoks.ru/produkty/tekhnicheskaya-ucheba-material/61-sistemy-ochistki-tekhnologicheskogo-gaza-na-ks (дата обращения 18.12.2024).

2. Комиссарчик В. Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие / В. Ф. Комиссарчик – Тверь : Изд-во ФГБОУ ВО «ТвГТУ», 2001. – 44 с.

3. Механизмы электрические прямоходные колонные МЭПК 6300. Руководство по эксплуатации // ООО «Поволжская электротехническая компания». – 2021. [Электронный ресурс]. – URL: piek.ru/media/Techop_mepk6300.pdf (дата обращения 18.12.2024).

ВЕБ-СЕРВЕР ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА

Бояринцев А.Э.[1], Солдатов А.И.[2]
[1]Томский политехнический университет, ИШВФП, аспирант группы А4-33
e-mail: aeb28@tpu.ru
[2]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, д.т.н., профессор ОЭИ, e-mail: asoldatof@tpu.ru

Аннотация

В работе описывается возможность контроля параметров технологических процессов производства посредством интеграции технологий интернета вещей. Разрабатывается архитектура системы автоматического управления с использованием беспроводного протокола MQTT. В результате создан веб-сервер для мониторинга параметров и управления процессами.

Ключевые слова: контроль параметров процессов, сервер для мониторинга параметров, автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Введение

В связи со стабильным ростом потребительских нужд, предприятия вынуждены повышать свою производительность. При этом выпуск любого продукта или изделия занимает все большее количество задач и этапов, для обеспечения которых, требуется достаточно много ресурсов в виде материалов и рабочей силы, вследствие чего, возрастает человеческий фактор, который может привести к ухудшению качества продукции и несчастным случаям. Системы автоматизации производства позволяют решить данные проблемы и увеличить эффективность предприятий. Автоматизация технологических процессов представляет собой совокупность различных методов и средств, направленных на осуществление технологического процесса без непосредственного участия человека, либо оставляя за ним право принятия ключевых решений.

Среди основных достоинств автоматизации можно выделить:

1. Снижение трудозатрат.
2. Повышение эффективности производственного процесса.
3. Улучшение качества выпускаемой продукции.
4. Снижение расходов сырья.
5. Повышение безопасности.

Перечисленные преимущества достигаются вследствие улучшения качества регулирования, повышения готовности оборудования, предоставлению достоверной информации о компонентах, применяемых в производстве, а также сбору информации о ходе технологических процессов и аварийных ситуациях.

Целью работы является разработка и апробация веб-сервера для мониторинга и управления технологическими процессами производства с использованием беспроводного протокола MQTT.

Разработка и апробация веб-сервера на основе беспроводных технологий

MQTT – сетевой протокол обмена сообщениями, работающий на прикладном уровне поверх TCP/IP и использующий по умолчанию порт 1883. Он разработан для передачи данных между устройствами в условиях ограниченных ресурсов, например, низкая пропуская способность сети или ограниченная вычислительная мощность.

Обмен сообщениями в протоколе MQTT осуществляется между клиентом, который выступает в роли издателя или подписчика сообщений, и брокером сообщений (рис. 1) [1].

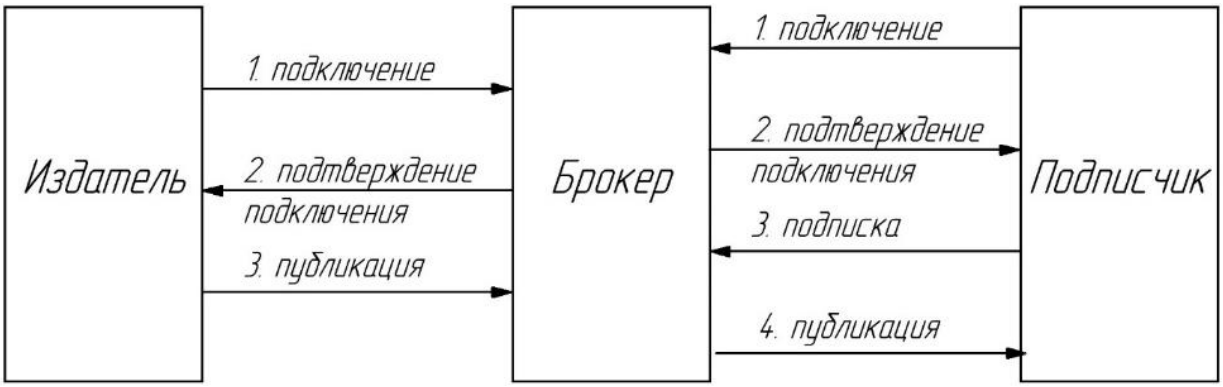


Рис. 1. Схема коммуникации по MQTT-протоколу

Принцип работы данного протокола прост, клиенты могут подписываться на определенные темы и получать сообщения, когда другие устройства публикуют данные на эти темы.

Брокер – центральный узел MQTT, который отвечает за взаимодействие между издателями и подписчиками. Он получает данные от издателей, обрабатывает их, передает подписчикам и контролирует доставку. В большинстве случаев, в качестве брокера выступает серверное программное обеспечение или микроконтроллер. Издателями являются отправителями сообщений, например, датчики, установленные в термометрах. Подписчики выступают в роли конечных получателей данных от датчиков. В MQTT существует несколько уровней качества обслуживания [2]:

1. QoS 0 – сообщения доставляется без подтверждения. Он используется для данных, где потеря сообщения не критична, например, мониторинг погодных условий.

2. QoS 1 – сообщение гарантировано доставляется как минимум один раз, но возможны дублирования. В этом случае гарантируется доставка сообщения хотя бы один раз.

3. QoS 2 – сообщение доставляется ровно один раз, вероятность дублирования исключена.

Для разрабатываемого веб-сервера мониторинга параметров технологических процессов производства было решено использовать второй уровень качества обслуживания для максимальной надежности передачи и обработки данных.

Протокол MQTT нашел широкое применение в различных приложениях умного дома, системах мониторинга оборудования (умные датчики на станках, погрузчиков, кранов), системах мониторинга среды и конструкций, а также множества других сфер деятельности человека, где требуется эффективный обмен данными между устройствами.

На рисунке 2 представлена структурная схема автоматизированной системы управления с использованием беспроводных технологий. Предлагаемая структурная схема служит для отработки алгоритма взаимодействия клиентов и сервера. На рисунке 3 изображен разработанный интерфейс для мониторинга параметров технологических процессов. Полученный алгоритм в ходе апробации позволит в дальнейшем создать гибкую автоматизированную систему управления, которая может быть оптимизирована под широкий спектр задач контроля технологических процессов производства.

Результаты

Итогом данной работы является разработка и апробация веб-сервера с использованием беспроводного протокола MQTT. Реализованная система мониторинга и управления параметров позволяет осуществить контроль технологических процессов производства.

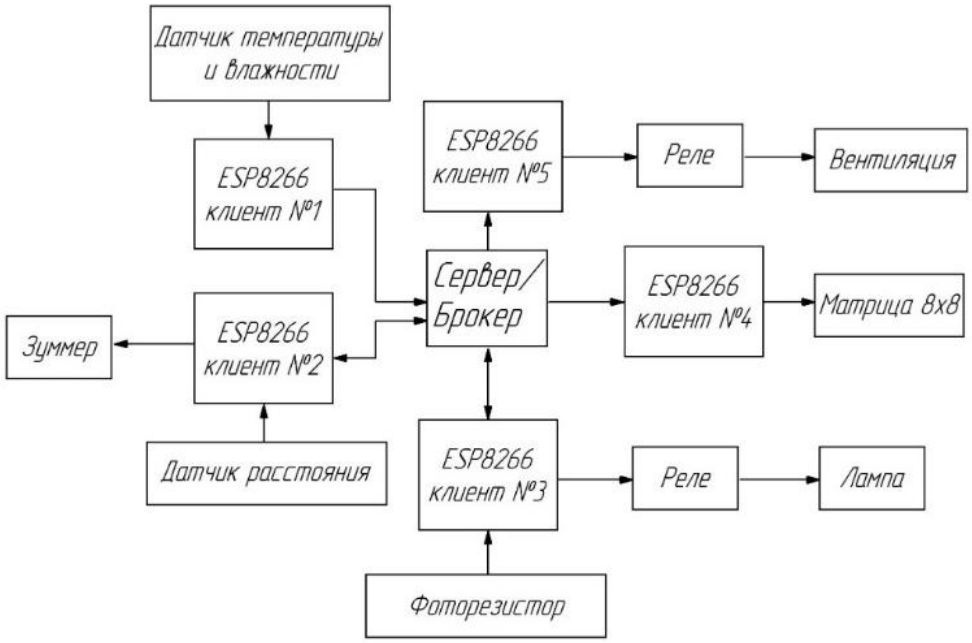


Рис. 2. Структурная схема АСУ ТП

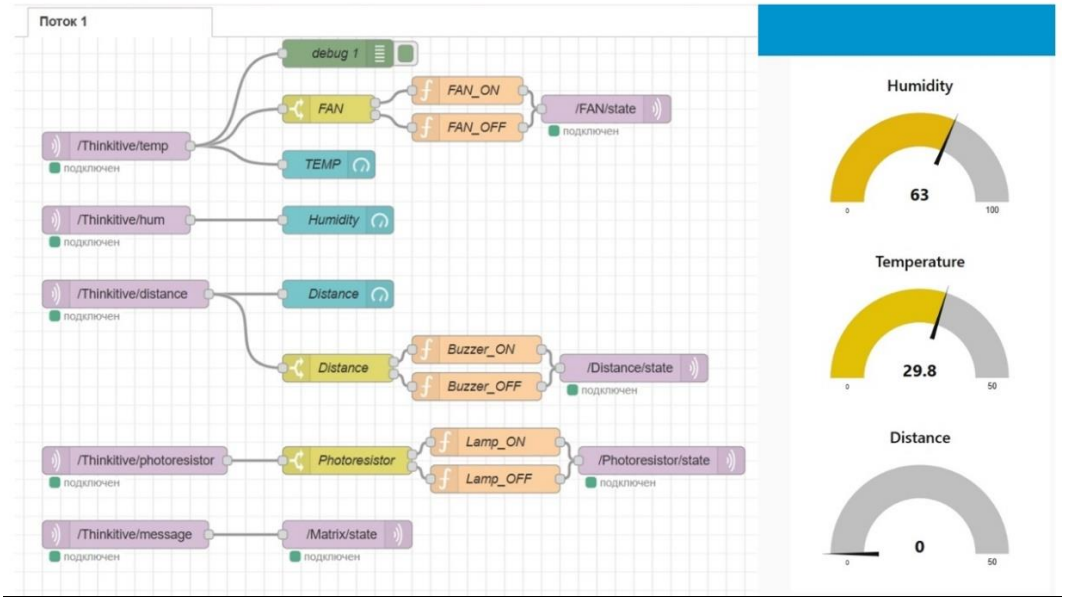


Рис. 3. Разработанный интерфейс для мониторинга параметров технологических процессов

Заключение

В ходе работы была реализована архитектура автоматизированной системы управления технологическими процессами на основе беспроводного протокола MQTT. Апробация алгоритма взаимодействия клиента и сервера показала быструю и надежную работу системы. Полученный алгоритм может быть внедрен для выполнения широкого спектра задач контроля технологических процессов производства, например, сбор и обработка информации с датчиков, сенсоров или механизмов.

Список используемых источников

1. Описание протокола MQTT [Электронный ресурс]. – URL: ipc2u.ru/articles/prostye-resheniya/chto-takoe-mqtt/ (дата обращения: 02.03.2025).

2. Протокол MQTT [Электронный ресурс]. – URL: intelvision.ru/blog/mqtt (дата обращения: 05.03.2025).

ВЫДЕЛЕНИЕ ТРЕНДА ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ОРТОГОНАЛЬНО-БАЗИСНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ПРОЕКЦИОННОГО АЛГОРИТМА

Аверкина Д.А.[1], Беляускене Е.А.[2], Глазырин А.С.[3]
Научный руководитель: Боловин Е.В.[4]
[1] НИ ТПУ, ИШЭ, 5А17, daa43@tpu.ru
[2] НИ ТПУ, ИЯТШ, ст. преподаватель, eam@tpu.ru
[3] НИ ТПУ, ИШЭ, профессор, д.т.н., asglazyrin@tpu.ru
[4] НИ ТПУ, ИШЭ, доцент, к.т.н., orange@tpu.ru

Аннотация

Статья посвящена проблеме выделения тренда полезного сигнала в динамических системах. Решение, основанное на применении ортогонально-базисной регрессии с использованием проекционного алгоритма, успешно апробировано на зашумлённой модели объекта первого порядка.

Ключевые слова: выделение тренда полезного сигнала**,** метод наименьших квадратов, метод Качмажа, ортогонально-базисная регрессионная модель.

Введение

В моделировании любого технологического процесса, использующего электропривод, ключевую роль играет выделение тренда полезного сигнала. Сигналы, поступающие от датчиков тока, напряжения, мощности, скорости и других (в зависимости от специфики процесса), служат основой для создания систем идентификации параметров двигателей, управления электроприводом, прогнозирования потребления электроэнергии и диагностики состояния как отдельных компонентов, так и всего процесса в целом. Важно учитывать, что точность данных, получаемых от датчиков, ограничена, и зачастую полностью устранить стационарные и импульсные помехи в измерительной системе не представляется возможным [1,2]. Именно эти факторы обуславливают необходимость выделения тренда полезного сигнала на основе данных, полученных от датчиков и прочих измерительных устройств.

Основная часть

Построение ортогонально-базисной регрессионной модели. При разработке метода выделения тренда полезного сигнала необходимо руководствоваться следующими принципами:

1. Метод должен быть максимально простой в реализации, чтобы его можно было воссоздать на основе микропроцессов любой вычислительной мощности.
2. Полученный тренд не должен иметь фазового сдвига относительно реального сигнала.
3. Полученный тренд не должен иметь амплитудного ослабления или усиления относительного реального сигнала.
4. Метод должен иметь точность выделения тренда допустимую в инженерной практике.
5. Метод должен позволять получать аналитическую математическую запись сигнала, тем самым позволяя кроме выделения тренда получать и производные и/или интегралы от сигнала, что необходимо при построении и работы систем идентификации, диагностики, прогнозирования.

При этом необходимо понимать, что большинство электроустановок работают от трехфазной сети, в которой происходит передача и преобразование переменного тока и/или напряжения. Эта априорная дополнительная информация об объекте может быть использована при разработке математической модели выделения полезного тренда. На основании вышесказанного был разработан метод, построенный на объясняющей

ортогонально-базисной регрессионной модели [1], реализованной на тригонометрическом многочлене первой степени:

$$F(t, A1, A2) = A1\sin(\omega t) + A2\cos(\omega t), \quad (1)$$

где $F(t, A1, A2)$ – объясняющая модель, t – время, $A1$ и $A2$ – неизвестные коэффициенты (параметры модели), ω – частота рассматриваемого сигнала.

Подбор параметров $A1$ и $A2$ объясняющей модели осуществляется так, чтобы минимизировать сумму квадратов отклонений объясняющей модели от экспериментальных входных данных

$$S(A1, A2) = \sqrt{\left(F(t_i, A1, A2) - Ishum1_i\right)^2},$$

где $Ishum1$- экспериментальные входные данные, i –текущая итерация процесса выделения тренда. При этом использовался метод Качмажа, так как он имеет ряд преимуществ, самые важные из которых – это сходимость итерационного процесса при любом начальном условии.

Результаты

Для апробации метода и анализа его эффективности была построена математическая модель *RC*-цепочки и получены в аналитическом виде переходные процессы тока и напряжения (рис. 1). Данные модели имеют следующие параметры: активное сопротивление $R = 10$ Ом, индуктивность $C = 0.0001$ Ф, входное напряжение, подаваемое на *RC*-цепочку $U(t) = U_{max}\cdot\sin(\omega\cdot t)$, где $U_{max} = 10$ В – амплитудное значение входного напряжения, $\omega = 2\cdot\pi\cdot f$, $f = 50$ Гц – частота входного напряжения. На переходный процесс тока был наложен 10-процентный «белый» шум [1] (рис. 2). Выбор такого уровня шума обусловлен данными приведенными в [4, 5]. Задачей является выделение тренда из такого зашумленного сигнала.

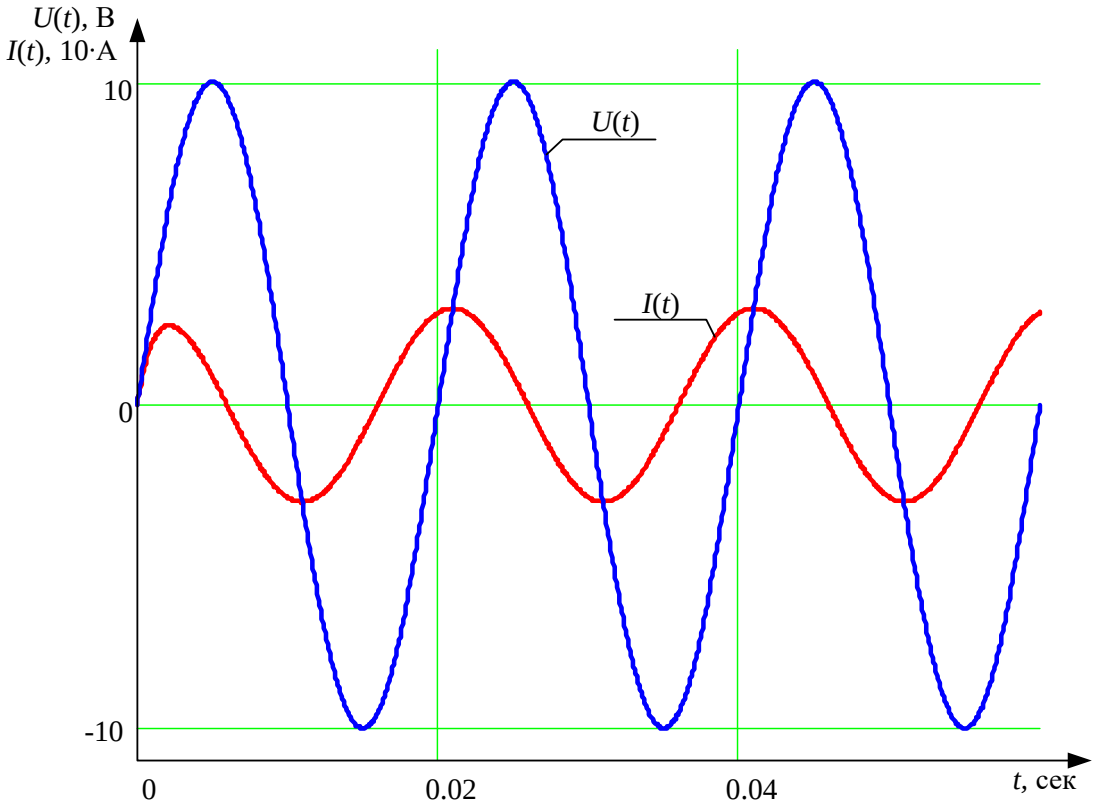


Рис. 1. Переходные процессы тока I(t) и напряжения U(t) протекающим в RC-цепочке

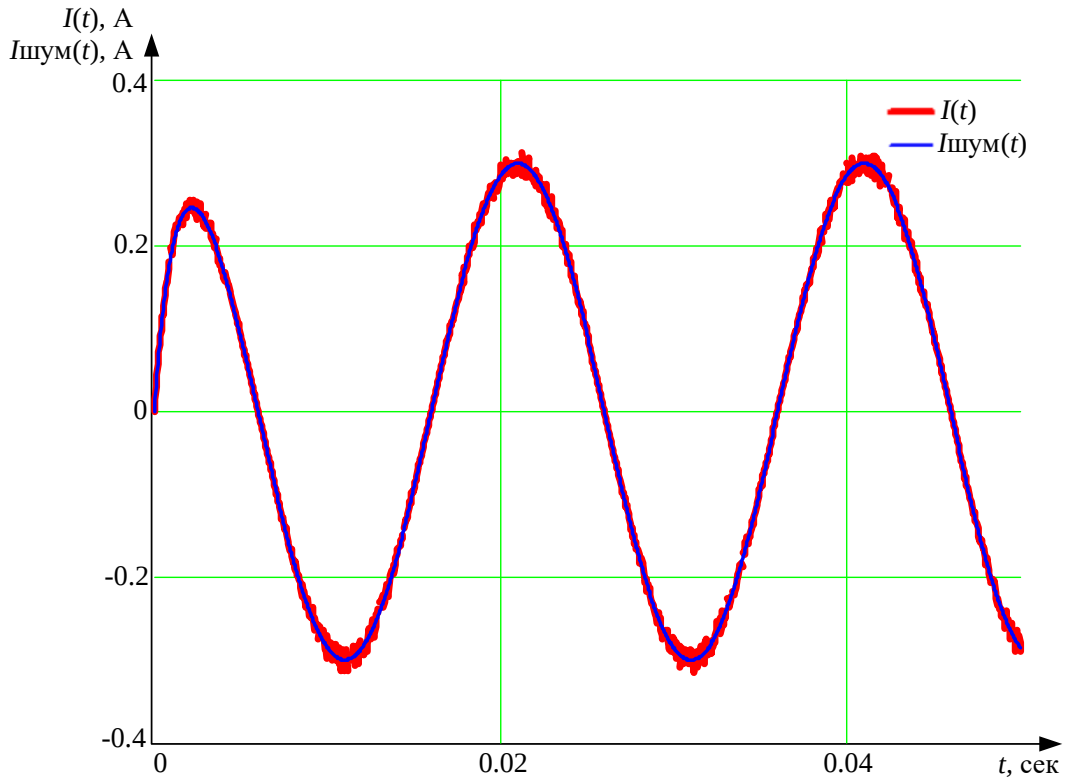


Рис. 2. Переходные процессы тока I(t) и тока с наложенной 10-ти процентной шумовой составляющей Iшум(t)

На рисунке 3 представлена реализация в виде листинга программы для нахождения параметров $A1$ и $A2$ объясняющей модели $F(t, A1, A2)$, где $F(t, A1, A2)$ имеет вид (1). Для решения этой задачи используется метод Качмажа.

$$
\begin{aligned}
&(A1\ \ A2) := \\
&\quad \text{for } i \in pp..NNB \\
&\quad\quad FUNCother_i \leftarrow \frac{\sum_{s=i-pp}^{i} \left(\sin(\omega \cdot t_s) \cdot Ishum1(t_s)\right) - \sum_{s=i-pp}^{i} \left(\sin(\omega \cdot t_s)\right)^2 \cdot A1_{i-1} - \sum_{s=i-pp}^{i} \left(\sin(\omega \cdot t_s) \cdot \cos(\omega \cdot t_s)\right) \cdot A2_{i-1}}{\left[\sum_{s=i-pp}^{i} \left(\sin(\omega \cdot t_s)\right)^2\right]^2 + \left[\sum_{s=i-pp}^{i} \left(\sin(\omega \cdot t_s) \cdot \cos(\omega \cdot t_s)\right)\right]^2} \\
&\quad\quad A1_i \leftarrow A1_{i-1} + FUNCother_i \cdot \sum_{s=i-pp}^{i} \left(\sin(\omega \cdot t_s)\right)^2 \\
&\quad\quad A2_i \leftarrow A2_{i-1} + FUNCother_i \cdot \sum_{s=i-pp}^{i} \left(\sin(\omega \cdot t_s) \cdot \cos(\omega \cdot t_s)\right) \\
&\quad (A1\ \ A2)
\end{aligned}
$$

Рис. 3. Листинг разработанного метода выделения тренда

Входными данными $Ishum1$ – является зашумленный ток, «окно» – окно просмотра, на котором происходит подбор неизвестных параметров модели методом Качмажа на текущей итерации процесса выделения тренда (25 точек или 0.025с), h – шаг дискретизации между итерациями равный 0.1 мс, с учетом h период входного сигнала равен 0.02с (20 точек), $T_{ОБУЧ}$ – период нахождения параметров $A1$ и $A2$ (20000 точек или 2с). На рисунках 4 и 5 представлены итерационные процессы нахождения параметров $A1$ и $A2$. Значения на последней итерации

составили $A1$=0.091 и $A2$=0.283, что и является решением поставленной задачи. Однако на данных рисунках видно, что значение $A1$ и $A2$ варьируются относительно математического ожидания. В связи с этим, для восстановления исходного сигнала наиболее корректно брать среднее значение найденного параметра за последние 10 шагов. На рисунке 6 представлены полученный переходный процесс тока в RC-цепи $I(t)$ и выделенный тренд полезного сигнала $\hat{I}(t)$.

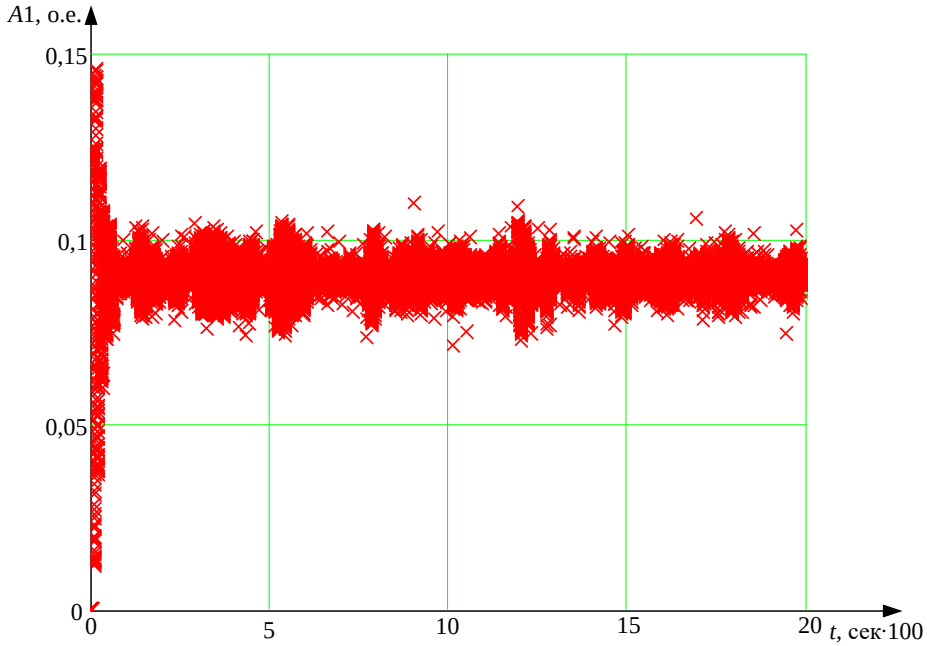


Рис. 4. Итерационный процесс нахождения параметров A1 объясняющей ортогонально-базисной регрессионной модели

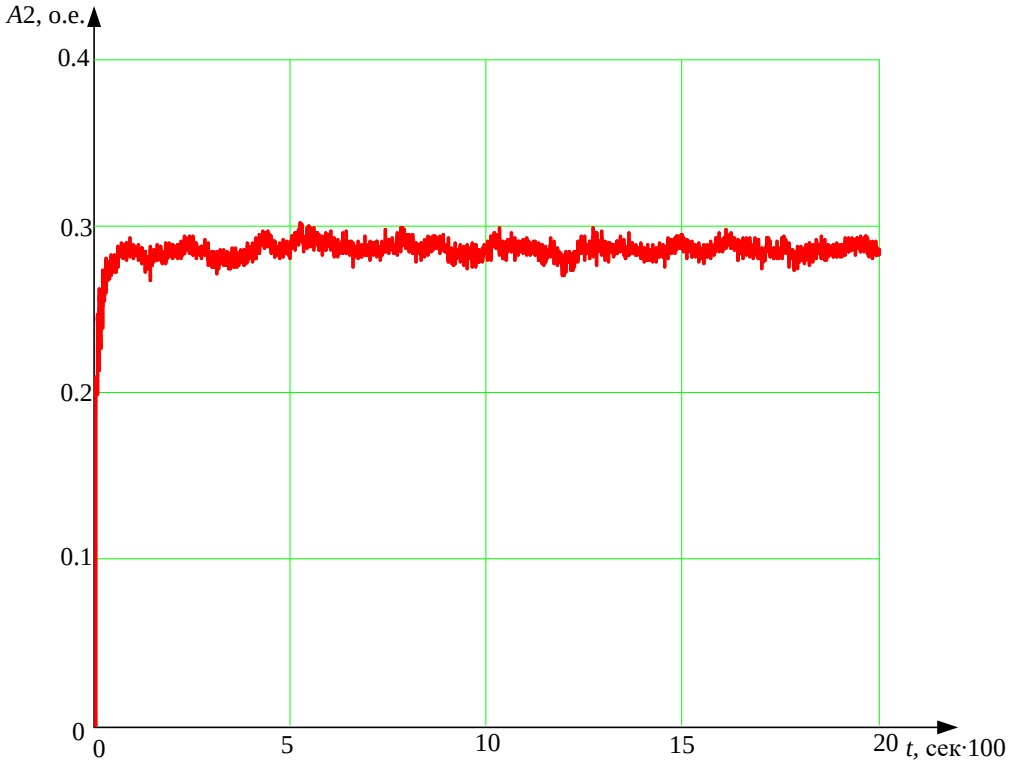


Рис. 5. Итерационный процесс нахождения параметров A2 объясняющей ортогонально-базисной регрессионной модели

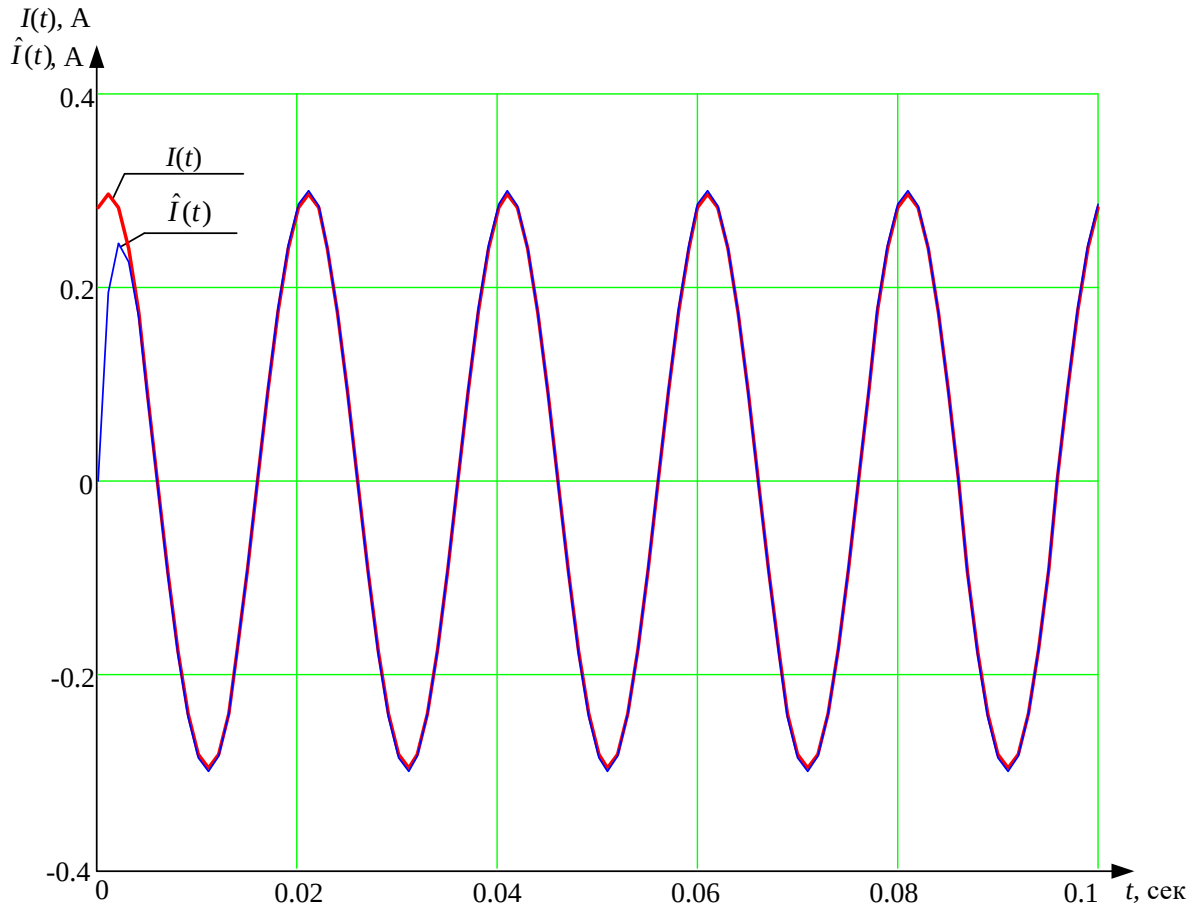


Рис. 6. Переходный процесс тока в RC-цепи I(t) и выделенный тренд полезного сигнала $\hat{I}(t)$

Анализ рисунков 4-6 показывает, что процесс определения параметров $A1$ и $A2$ объясняющей модели характеризуется наличием собственного переходного процесса длительностью около 0.02 секунд. Определим интегральную погрешность выделенного тренда (на основе данных с шумовой составляющей) относительно установившегося процесса от 0.02 секунд до 20 секунд

$$\frac{\int_{0.02}^{20} \left| B(t) - F(t, A1\text{ср}, A2\text{ср}) \right| dt}{\int_{0.02}^{20} \left| B(t) \right| dt} \cdot 100\% = 0.479\% .$$

Заключение

Построение регрессионной ортогонально-базисной модели с двумя параметрами дает возможность выделять тренд полезного сигнала. Разработанный метод позволяет извлекать тренд даже из сигнала с шумовой компонентой с точностью до 0.5%, при этом выделенный тренд не имеет фазового сдвига и не приводит к ослаблению сигнала. Кроме того, благодаря формулировке задачи как минимизации суммы квадратов отклонений объясняющей регрессионной ортогонально-базисной модели от экспериментальных данных и ее решению с помощью метода Качмажа, была получена аналитическая модель сигнала, что открывает возможности для ее применения в задачах оптимизации, диагностики, идентификации параметров и прогнозирования переменных состояния как электропривода в целом, так и отдельных его узлов.

Список использованных источников

1. Saeed V. Vaseghi. Advanced digital signal processing and noise reduction. – 3rd edition. – John Wiley & Sons Ltd, 2006. – 480 p.

2. Майстренко А.В. Синтез, исследование и применения алгоритмов цифрового дифференцирования сигналов в системах автоматического регулирования процессов : дис. …канд. техн. наук – Томск, 2007. – 140 с.

3. О рациональной размерности базиса регрессионной модели для задачи адаптивного краткосрочного прогнозирования состояния дискретной нестационарной динамической системы / А.С. Глазырин, Е.В. Боловин, О.В. Архипова, В.З. Ковалев, Р.Н. Хамитов, С.Н. Кладиев, А.А. Филипас, В.В. Тимошкин, В.А. Копырин, Е.А. Беляускене // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 11. – С. 257–272. DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4482

4. Майстренко А.В., Светлаков А.А. Применение методов цифрового дифференцирования сигналов для определения стационарности процессов // Научный Вестник НГТУ. – 2015 – Т. 59. – № 2. – С. 7-19.

5. Боловин Е.В. Разработка алгебраических методов идентификации параметров асинхронных двигателей на основе дискретных моделей : дис. …канд. техн. наук – Томск, 2018. – 271 с.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ГАЗОКОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Вершинин И.М. [1], *Семёнов Н.М.* [2]
[1] *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, 8Т11, e-mail: imv3@tpu.ru*
[2] *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, 8Т11, e-mail: semyonov@tpu.ru*

Аннотация
В работе рассмотрено решение по усовершенствованию автоматизации газокомпрессорной станции на Повховском месторождении нефти, а также описаны технологические процессы дожимной насосной и газокомпрессорной станций.
Ключевые слова: автоматизация, природный газ, газокомпрессорная станция.

Введение

В современном мире производство энергии является одной из ключевых составляющих развития экономики. Одним из основных источников энергии является природный газ. Особенности современного рынка нефтегазодобывающего комплекса, условия окружающей среды, а также социальная инфраструктура регионов добычи вынуждают искать возможности увеличения рентабельности производства, оптимизации процесса управления и планирования. Одним из главных способов повышения эффективности предприятий является автоматизация производства, которая позволяет снизить производственные потери, увеличить скорость обмена информации и т. д.

Таким образом, целью работы является предложение решения по усовершенствованию автоматизации газокомпрессорной станции на Повховском месторождении нефти с использованием российских средств автоматизации.

Основная часть

Газокомпрессорная станция (ГКС) – это часть технологической системы, предназначенная для сжатия, очищения и охлаждения природного газа или других газообразных сред, чтобы обеспечить их транспортировку по магистральному трубопроводу на большие расстояния. ГКС включает в себя входной и выходные сепараторы, винтовые маслозаполненные компрессоры, охладители газа, маслоотделители, охладители масла, дренажные ёмкости и узел учета газа.

Описание работы ГКС:

На входной газовый сепаратор (1) подается газ из скважины, где происходит первичная очистка газа от примесей. Далее предварительно очищенный газ поступает в рабочую камеру винтового маслозаполненного компрессора (2). Камера представляет собой пространство между стенками корпуса, в котором налито масло и расположены винты, один из которых частично погружен в масло. После компрессора сжатый газ с маслом поступает на вход в маслоотделитель (3), где происходит разделение на газ и масло. Предварительно очищенный сжатый газ проходит через газовый охладитель (4), и поступает на выходной сепаратор (5). Здесь происходит окончательная очистка сжатого газа от различных примесей, оставшихся после предыдущих этапов. Чистый сжатый газ покидает выходной сепаратор и, проходя через узел учета, поступает на газоперерабатывающий завод. Использованное масло, полученное в маслоотделителе, поступает в масляный фильтр (6), где оно очищается для повторного использования. Чистое масло проходит через охладитель (7) и попадает обратно в бак (8), откуда оно поступает в компрессор.

Примеси, собранные во входном и выходном сепараторах, а также в масляном фильтре, направляются в дренажную ёмкость.

Структурная схема ГКС представлена на рисунке 1.

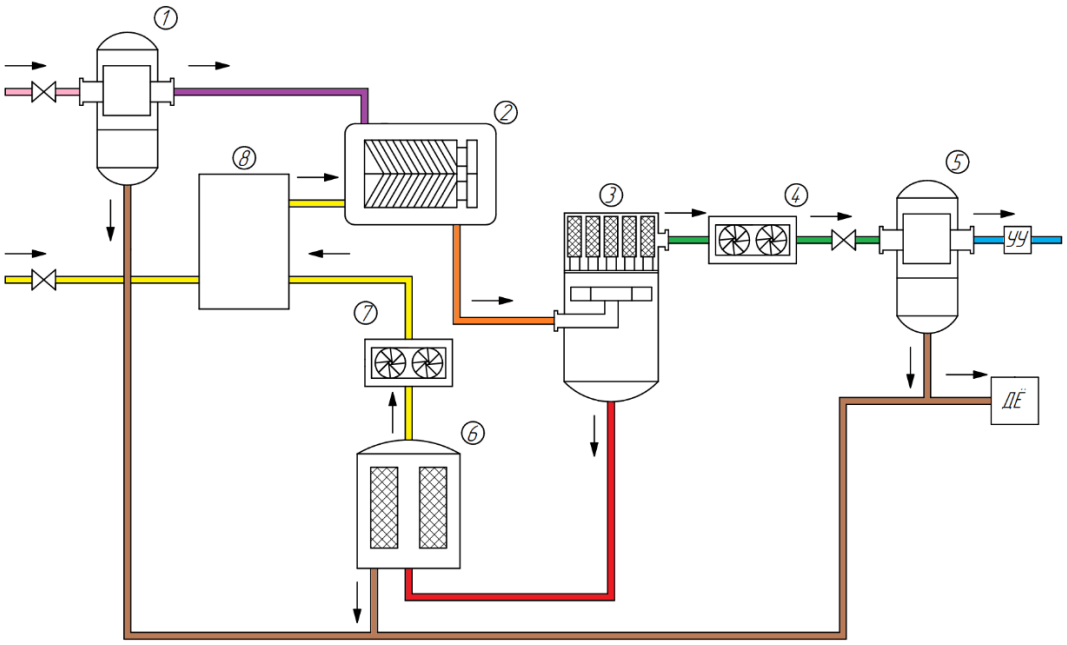


Рис. 1. Схема технологического процесса ГКС
1 – входной газовый сепаратор, 2 – винтовой маслозаполненный компрессор, 3 – маслоотделитель, 4 – газовый охладитель, 5 – выходной газовый сепаратор, 6 – масляный фильтр, 7 – охладитель масла, 8 – бак, ДЁ – дренажная ёмкость, УУ – узел учёта.

Значения цветов на рисунке 1 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения цветов

Цвет	Описание
Розовый	Газ со скважины.
Фиолетовый	Предварительно очищенный газ.
Оранжевый	Сжатый газ с маслом.
Зелёный	Предварительно очищенный сжатый газ.
Синий	Чистый сжатый газ.
Красный	Использованное масло.
Жёлтый	Чистое масло.
Коричневый	Различные примеси.

Поскольку на Повховской ГКС используются маслозаполненные компрессоры, работа и исполнение которых зависит от масла, то для этого необходимо разработать систему поддержания постоянного уровня масла. Для этого была разработана структурная схема САУ, представленная на рисунке 2.

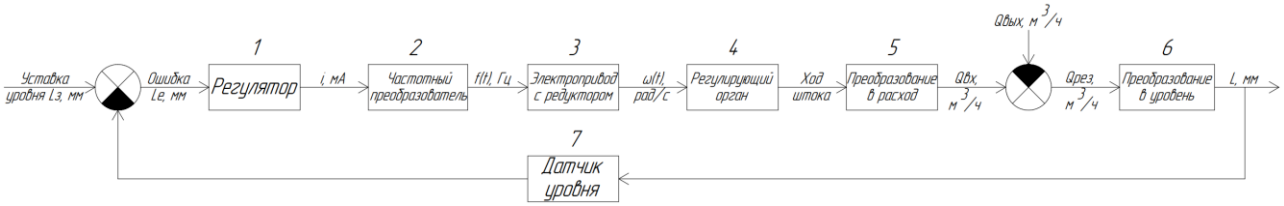


Рис. 2. Структурная схема САУ

Для этой САУ были определены передаточные функции элементов системы [1].

Объектом управления системы является уровень масла, которое записывается следующим образом:

$$L = L_0 - L_1 \text{ ,} \tag{1}$$

где L, L_0, L_1 – ошибочное, заданное и действительное значения уровня масла соответственно.

Далее регулятор преобразует измеренное значение уровня в токовый сигнал 4-20 мА, который поступает в частотный преобразователь, где он преобразуется в частоту в Гц. Передаточная функция частотного преобразователя имеет следующий вид:

$$W_{ЧП}(s) = \frac{K_{ЧП}}{T_{ЧП} \cdot s + 1}, \quad (2)$$

где $K_{ЧП}$ – коэффициент преобразования частотного преобразователя, $T_{ЧП}$ – постоянная времени частотного преобразователя.

Коэффициент преобразования частотного преобразователя определяется по формуле:

$$K_{ЧП} = \frac{\Delta f}{\Delta I} = \frac{50-0}{20-4} = \frac{50}{16} = 3{,}125, \quad (3)$$

где Δf – диапазон частот в Гц, ΔI – диапазон токового сигнала в мА. Постоянная времени равна 0,2 с.

Далее сигнал с частотного преобразователя поступает в электропривод с редуктором. Его передаточная функция записывается следующим образом:

$$W_{ЭП}(s) = \frac{K_{ЭП} \cdot K_P}{(T_{ЭП} \cdot s + 1) \cdot s}, \quad (4)$$

где $K_{ЭП}$ – коэффициент усиления электропривода, $T_{ЭП}$ – постоянная времени электропривода, K_P – передаточное отношение редуктора.

Коэффициент усиления электропривода определяется по формуле:

$$K_{ЧП} = \frac{\Delta \omega_{ЭП}}{\Delta f} = \frac{375 \cdot \frac{\pi}{30} - 0}{50-0} = \frac{39{,}270}{0} = 0{,}785, \quad (5)$$

где $\Delta \omega_{ЭП}$ – диапазон частот вращения электродвигателя в рад/с, Δf – диапазон частот в Гц. Постоянная времени электропривода равна 0,25 с.

Передаточное отношение редуктора рассчитывается из отношения крутящего момента на выходном валу электропривода к крутящему моменту электродвигателя:

$$K_P = \frac{M_{ВЫХ}}{M_{ВХ}} = \frac{160}{6{,}4} = 25, \quad (6)$$

где $M_{ВХ}, M_{ВЫХ}$ – значения крутящих моментов электродвигателя и выходного вала соответственно.

Электропривод подключен к клапану, передаточная функция которого записывается следующим образом [2]:

$$W_K(s) = \frac{K_K}{T_K \cdot s + 1}, \quad (7)$$

где K_K – коэффициент усиления клапана, T_K – постоянная времени клапан. Коэффициент усиления клапана равен 1, а постоянная времени клапана равна 2 с.

Также у клапана есть ограничительное звено – ход штока, которая определяется блоком «насыщение» и ограничивается диапазоном значений [0; 0,04].

Далее идет пересчёт степени открытости клапана в расход. Коэффициент пересчёта рассчитывается по следующей формуле:

$$k = \frac{\Delta S}{\Delta L} = \frac{\Delta(\pi \cdot r^2)}{\Delta L} = \frac{\pi \cdot 0{,}03^2 - 0}{0{,}04 - 0} = \frac{0{,}00283}{0{,}04} = 0{,}07075, \quad (8)$$

где ΔS – диапазон изменения площади сечения клапана в м^2, r – радиус проходного сечения клапана ΔL – диапазон хода штока в м.

Для определения уровня масла необходимо преобразовать расход в уровень. Для этого добавляются интегрирующее звено и коэффициент преобразования [3], который рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{1}{S} = \frac{1}{2} \tag{9}$$

где S – площадь дна бака в м^2.

В системе в качестве регулятора используется ПДД^2-регулятор, поскольку в ней присутствуют два интегрирующих звена. ПДД^2-регулятор описывается следующей передаточной функцией:

$$W_{ПДД2}(s) = K_П + K_Д \cdot s + K_{Д2} \cdot s^2 \tag{10}$$

$K_П, K_Д, K_{Д2}$ – пропорциональная, дифференциальная и дифференциальная второго порядка составляющие регулятор соответственно.

Для системы эмпирическим методом были подобраны следующие коэффициенты регулятора: $K_П$ = 0,02, $K_Д$ = 0,60, $K_{Д2}$ = 0,02.

Данная система была собрана в пакете прикладных математических программ. Она представлена на рисунке 3.

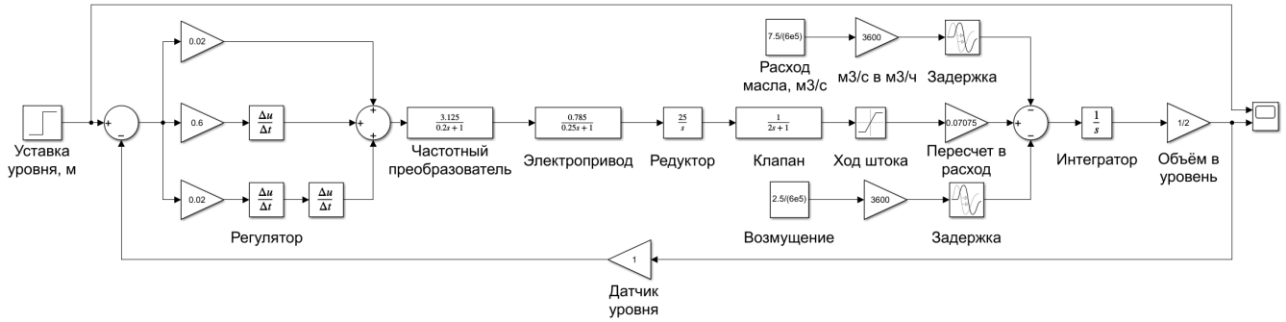


Рис. 3. Модель САУ в пакете прикладных математических программ

Далее была запущена симуляция данной системы и получен график переходного процесса, представленный на рисунке 4.

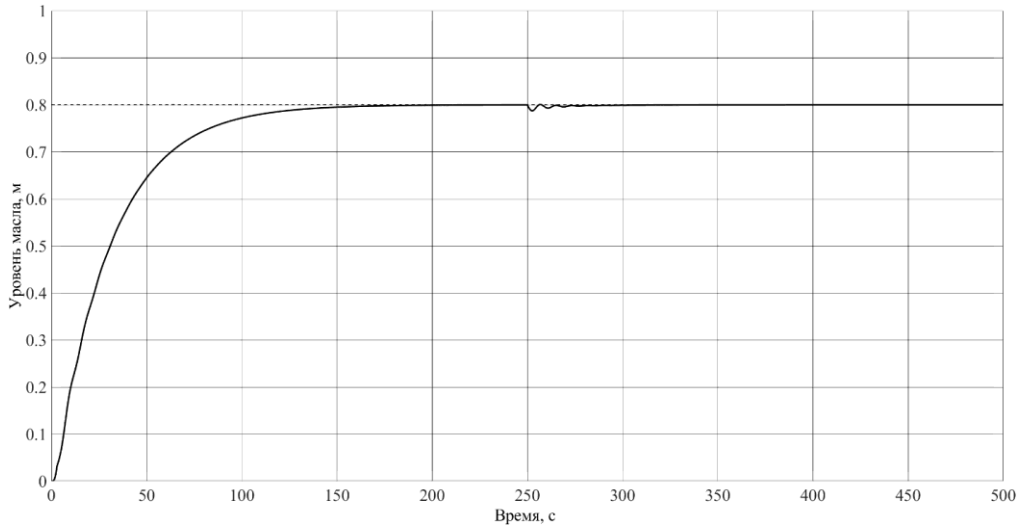


Рис. 4. График переходного процесса

Согласно полученному переходной характеристике, переходный процесс является монотонным и не имеет перерегулирования, а желаемого значения уровня масла модель достигает за 228.013 секунд. В момент времени 250 секунд в системе возникло возмущение, обозначающее увеличение расхода на 33%, которое было устранено за 77.567 секунд.

Также для данной системы был разработан SCADA-экран, позволяющий в режиме реального времени отслеживать параметры системы. SCADA-экран представлен на рисунке 5.

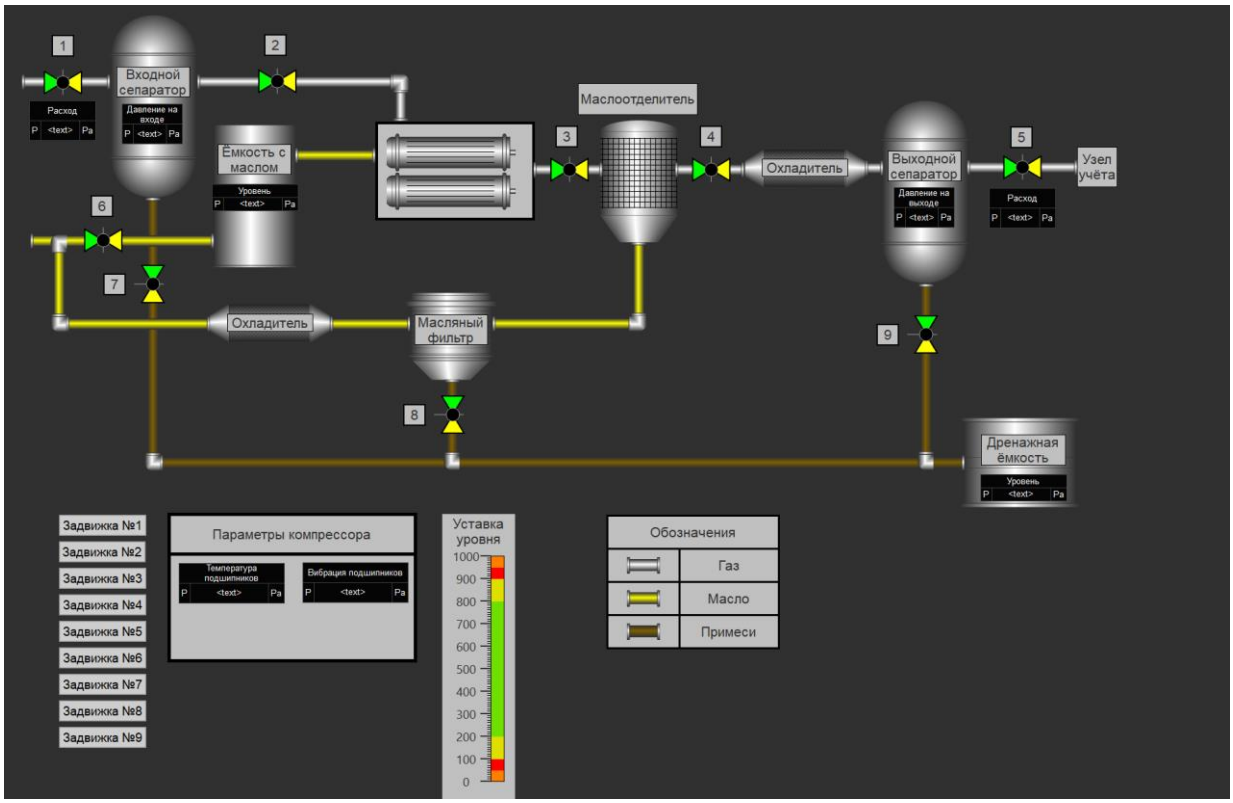


Рис. 5. SCADA-экран в среде SCADA TRACE MODE 7

Заключение

В ходе выполнения работы был проведен литературный обзор существующих методов автоматизации. Была разработана структурная схема системы автоматического управления и создана модель САУ в пакете прикладных математических программ, проведены моделирование и последующий анализ САУ, а также разработан SCADA-экран.

По результатам моделирования был получен график монотонного переходного процесса без перерегулирования. Также была смоделирована ситуация возникновения возмущающего воздействия в виде увеличения расхода, в результате чего были получены данные о стабилизации системы.

Список использованных источников

1. Малышенко, А.М. Сборник тестовых задач по теории автоматического управления: учебное пособие / А.М. Малышенко, О.С. Вадутов ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2-е изд., перераб. – Томск : Изд-во ТПУ, 2013. [Электротнный ресурс]. – URL: lib.tpu.ru/fulltext2/m/2015/m066.pdf (дата обращения 03.04.2025).

2. Суходоев М.С., Гайворонский С.А. Исследование котельного агрегата ДКВР-10 с использованием ППП RASIS.

3. Гольдфарб Л.С., Балтрушевич А.В., Нетушил А.В., Пастернак Е.Б. Теория автоматического управления Ч. 1. – Москва : Изд-во «Высшая школа», 1968 – 69 с.

4. Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н. Цифровой регулятор для системы управления с исполнительным механизмом постоянной скорости.

ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЮДЖЕТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ

Вирвич П.В..[1], Курганов В.В.[2]
[1] НИ ТПУ, г. Томск (студент гр. 8Т12 ОАР, ИШИТР), e-mail: pvz8@tpu.ru
[2] НИ ТПУ, г. Томск (к.т.г., доцент ОАР, ИШИТР), e-mail: kurganov@tpu.ru

Аннотация

В статье рассматривается вопрос выбора архитектуры автоматизированной системы управления (АСУ) котельной установкой. Проведено сравнение двух подходов: использования локальных приборов и построения системы на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК). Анализируются преимущества и недостатки каждого подхода, а также их экономическая эффективность в зависимости от количества контролируемых параметров.

Ключевые слова: система автоматизации, распределенная система, централизованная система, система управления, интеграция систем, контроль технологических процессов, автономные компоненты.

Введение

Автоматизация котельных установок является важным направлением в развитии систем теплоснабжения, поскольку позволяет повысить их эффективность, безопасность и надежность. Современные технологии управления обеспечивают оптимизацию рабочих процессов, минимизируют энергозатраты и снижают влияние человеческого фактора. В условиях стремления к повышению энергоэффективности и экономичности эксплуатации автоматизация становится неотъемлемой частью инженерных решений.

Выбор подходящей системы автоматизации зависит от множества факторов, включая количество контролируемых параметров, бюджет проекта, требования к надежности, удобству эксплуатации и возможности дальнейшей модернизации. В данной статье рассматриваются два варианта построения системы автоматизации котельной: распределенная система на базе локальных приборов и централизованная система на базе программируемого логического контроллера (ПЛК).

Распределенная система построена на основе отдельных программируемых реле и измерительных приборов, работающих независимо друг от друга. Такой подход позволяет снизить затраты на оборудование и упростить обслуживание, но требует более сложной кабельной инфраструктуры и усложняет передачу данных на верхний уровень управления. Централизованная система, напротив, основана на едином ПЛК, который собирает данные со всех датчиков и управляет исполнительными механизмами [1]. Она обеспечивает высокую степень автоматизации, удобную визуализацию процессов и простоту масштабирования, но требует значительных финансовых вложений и более сложного технического обслуживания.

Целью данной работы является анализ и сравнение этих двух систем с точки зрения их стоимости, функциональных возможностей и перспективности применения в условиях современных котельных установок.

Централизованная система на базе ПЛК

Централизованная система автоматизации котельной на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) и SCADA-системы является высокотехнологичным решением, которое обеспечивает комплексный контроль и управление котельной установкой [2]. Однако, как и любая другая система, она имеет свои достоинства и ограничения.

Одним из главных преимуществ централизованной системы является высокая степень автоматизации и удобство управления. Применение ПЛК и SCADA-системы позволяет организовать полностью автоматизированный процесс управления котельной [3], сводя к

минимуму необходимость вмешательства оператора. Система позволяет мониторить все параметры котельной в реальном времени, что дает возможность своевременно реагировать на изменения в процессе. Также важным преимуществом является единая точка контроля и мониторинга. Благодаря централизованному подходу все данные о работе котельной собираются в одном месте, обеспечивая полную картину технологического процесса. Это упрощает анализ работы системы, помогает в принятии более обоснованных решений и позволяет оперативно устранять неисправности. Современные SCADA-системы могут не только собирать и отображать данные, но и проводить анализ, прогнозировать возможные неисправности, а также оптимизировать работу котельной.

Гибкость системы и возможность масштабирования также являются значимыми преимуществами. Система на базе ПЛК легко адаптируется к изменениям в конфигурации котельной, позволяя добавлять новые датчики, исполнительные механизмы и функциональные возможности без значительных затрат. Высокая надежность и отказоустойчивость также являются сильными сторонами такой системы. Современные ПЛК обладают высокой устойчивостью к перегрузкам, помехам и сбоям питания, что делает систему более надежной по сравнению с решениями на основе локальных приборов.

Тем не менее, централизованные системы имеют и свои недостатки. Одним из них является высокая стоимость внедрения. Закупка ПЛК, модулей ввода/вывода, SCADA-системы, коммуникационного оборудования и их программирование требуют значительных финансовых затрат по сравнению с локальными системами. Кроме того, для проектирования, монтажа и настройки системы требуются квалифицированные специалисты, что также увеличивает общие затраты.

Еще одним недостатком является сложность обслуживания. Централизованная система требует специализированных знаний для обслуживания и настройки ПЛК и SCADA-системы. В случае поломки контроллера или программного сбоя может произойти полное отключение автоматизированного управления котельной. Для повышения отказоустойчивости требуется резервирование контроллеров и наличие нескольких уровней защиты, что увеличивает стоимость системы.

Централизованная система также требует стабильного электропитания и защиты от сетевых сбоев, что приводит к необходимости использования источников бесперебойного питания (ИБП) и продуманных систем резервирования. Эти дополнительные компоненты увеличивают расходы на систему. В крупных распределенных системах могут возникать задержки в передаче данных и выполнении управляющих команд, особенно при высоком трафике и недостаточно продуманной сети связи.

Таким образом, централизованная система автоматизации котельной на базе ПЛК и SCADA-системы обеспечивает высокий уровень контроля, надежности и удобства управления. Однако ее внедрение требует значительных затрат, высокой квалификации персонала и проработки вопросов отказоустойчивости. В следующих разделах статьи будет проведено сравнение централизованной системы с распределенной системой на базе локальных приборов, что позволит оценить их эффективность и определить, в каких случаях целесообразнее применять тот или иной подход.

Распределенная система на базе локальных приборов

Распределенная система автоматизации котельной, основанная на локальных приборах, представляет собой менее централизованный подход к управлению технологическими процессами. В этой системе все ключевые компоненты, такие как датчики, реле, исполнительные механизмы и системы управления, работают автономно, без необходимости в централизованном контроллере, например, ПЛК. Каждый прибор выполняет свою задачу и взаимодействует с другими элементами через заданные логические связи, что делает такую систему достаточно гибкой и самодостаточной.

Одним из основных преимуществ распределенной системы является ее экономичность. Поскольку система не требует использования сложных контроллеров и дорогостоящего программного обеспечения, стоимость установки и эксплуатации значительно ниже по сравнению с централизованными решениями. Это делает такую систему особенно привлекательной для объектов с небольшими масштабами, где высокая степень автоматизации не является критичной.

Другая сильная сторона распределенной системы – высокая надежность. Поскольку каждый прибор работает автономно, отказ одного из элементов не приводит к сбою всей системы. Это делает систему более устойчивой к неисправностям, так как другие компоненты продолжают функционировать. Таким образом, распределенная система обладает высокой отказоустойчивостью, что является важным фактором для обеспечения стабильной работы.

Тем не менее, такая система имеет ограничения, одним которых – масштабируемость. При необходимости добавления новых устройств или расширения системы на большие масштабы могут возникнуть сложности с интеграцией и настройкой дополнительных компонентов. Каждый новый элемент требует отдельной настройки и подключения, что может стать проблемой при росте объекта или при необходимости модернизации.

В итоге, распределенная система на базе локальных приборов является хорошим решением для малых и средних объектов, где не требуется высокая степень интеграции и сложного централизованного управления. Это экономичный, надежный и относительно простой способ автоматизации процессов, подходящий для объектов с ограниченным количеством параметров. Однако для более сложных и масштабных установок, где важна высокая степень координации и централизованного управления, такой подход может иметь свои ограничения.

Сравнение систем

При сравнении распределенной системы на базе локальных приборов и централизованной системы на базе ПЛК можно выделить несколько ключевых аспектов, показанных в таблице 1, которые влияют на выбор наиболее подходящей системы для автоматизации котельной установки. Для объектов средней мощности, как котельная установка, где автоматизация не требует сложных и масштабируемых решений, система на локальных приборах окажется самым выгодным вариантом.

Главным преимуществом распределенной системы является ее стоимость. Система на локальных приборах существенно дешевле, так как не требует использования сложных и дорогих компонентов, таких как ПЛК или SCADA-система. Это делает систему более доступной для установки и эксплуатации, что особенно важно для объектов, где высокая степень автоматизации не является критичной. В отличие от нее, централизованная система требует значительных затрат на оборудование, ПЛК и программное обеспечение, что увеличивает начальные и эксплуатационные расходы.

Сложность установки также является важным фактором. Распределенная система на локальных приборах характеризуется простотой монтажа и настройки, так как каждый прибор функционирует автономно. В этом случае не требуется глубокое знание в области программирования и настройки централизованных систем. Напротив, централизованная система с ПЛК и SCADA требует более сложной установки и квалифицированных специалистов для настройки и обслуживания, что увеличивает время на ввод в эксплуатацию.

Распределенная система отличается высокой надежностью. Отказ одного из локальных приборов не нарушает функционирование остальных элементов системы. Это повышает устойчивость к сбоям, так как нет единой точки отказа, как в случае с ПЛК в централизованной системе. В случае выхода из строя ПЛК в централизованной системе вся система может выйти из строя, что потребует значительных усилий для восстановления.

Простота обслуживания также является значительным преимуществом системы на локальных приборах. Она не требует высококвалифицированного персонала, и неисправности

легко локализуются, что сокращает время на ремонт и снижает расходы на обслуживание. В отличие от этого, централизованная система требует более квалифицированных специалистов для диагностики и ремонта, что увеличивает затраты на техническое обслуживание и снижает гибкость в обслуживании.

Распределенная система также имеет меньше рисков ошибок и сбоев, так как каждый прибор работает независимо, и сбой одного элемента не влияет на функционирование других. В централизованной системе сбой в ПЛК может привести к остановке работы всей установки, что требует дополнительных резервных решений и повышает риски.

Для объектов средней мощности, где количество параметров не слишком велико и не требуется высокая степень координации, распределенная система является наиболее подходящей. Она обеспечивает оптимальное соотношение цены, функциональности и надежности, в то время как централизованная система с ПЛК и SCADA требует больших инвестиций, более сложного обслуживания и может быть избыточной для такой установки.

Таблица 1. *Анализ – сравнение параметров систем*

Параметр	**Распределенная система (локальные приборы)**	**Централизованная система (ПЛК + SCADA)**
Стоимость установки	Низкая, из-за отсутствия сложных компонентов и ПЛК	Высокая, требует дорогостоящих ПЛК, SCADA и дополнительных модулей
Сложность установки	Простая установка, мало компонентов, не требует сложной настройки	Сложная установка, требует профессионалов для монтажа и настройки
Масштабируемость	Ограниченная, сложность с добавлением новых элементов	Высокая, легко добавлять новые устройства и функциональность
Надежность и отказоустойчивость	Высокая, отказ одного прибора не нарушает работу всей системы	Зависимость от ПЛК и единой точки отказа (нужна резервированность)
Обслуживание	Простое обслуживание, не требует специализированных знаний	Требуется квалифицированный персонал для обслуживания ПЛК и SCADA
Гибкость управления	Ограниченная, требует вмешательства в работу отдельных приборов	Высокая, централизованное управление всеми процессами через ПЛК и SCADA
Мониторинг и диагностика	Ограничены возможностями локальных устройств, требуется проверка каждого устройства по отдельности	Полный мониторинг через SCADA, анализ данных и диагностика в реальном времени
Возможность интеграции	Ограниченная интеграция с другими системами	Легкая интеграция с другими системами, включая удаленное управление
Риск ошибок и сбоев	Меньше рисков, так как каждый элемент автономен, но возможны ошибки при настройке устройств	Большие риски из-за централизованного подхода, сбой в ПЛК может остановить всю систему
Управление и мониторинг	Локальное управление и мониторинг, отсутствие единой точки контроля	Централизованное управление через SCADA, единая точка контроля

Оценка стоимости систем

Проведена оценка стоимости исполнительных компонентов автоматизации для двух вариантов построения системы управления котельной установкой: распределенной на основе программируемого реле ОВЕН ПР200 и панели оператора СПК107, отраженной в таблице 2, а также централизованной на базе контроллера ОВЕН ПЛК110 и SCADA-системы – таблица 3.

Таблица 2. Анализ – состав оборудования распределенной системы

Наименование	Модель	Количество	Цена за ед., руб.	Общая сумма, руб.
Программируемое реле	ОВЕН ПР200-220.5.2.0	1	17 754,00	17 754,00
Панель оператора	ОВЕН СПК107	1	45 840,00	45 840,00
Модули расширения ввода/вывода	ОВЕН ПРМ-220	2	7 440,00	14 880,00

Таблица 3. Анализ – состав оборудования централизованной системы

Наименование	Модель	Количество	Цена за ед., руб.	Общая сумма, руб.
Программируемый логический контроллер	ОВЕН ПЛК110-220.30-ТЛ	1	47 508,00	47 508,00
SCADA-система	ОВЕН Телемеханика Лайт	1	22 000,00	22 000,00
Модуль расширения	ОВЕН МК210-312	2	15 780,00	31 560,00
Персональный компьютер		1	70 000,00	70 000,00

Проведенная оценка стоимости показала, что распределенная система управления на базе программируемого реле ОВЕН ПР200, панели оператора СПК107 обойдется в 78 474 рубля. Данный вариант отличается более низкой стоимостью и может быть целесообразен при необходимости автоматизации относительно небольшого количества параметров (до 30-40), где не требуется централизованного диспетчерского управления.

В то же время, централизованная система на базе контроллера ОВЕН ПЛК110, SCADA-системы ОВЕН Телемеханика Лайт и персонального компьютера имеет более широкие функциональные возможности, включая расширенное диспетчерское управление и мониторинг, однако её стоимость составляет 171 068 рублей, что более чем в два раза превышает стоимость распределенного варианта.

Таким образом, выбор между распределенной и централизованной системой должен основываться на требованиях к масштабируемости, функциональности, возможностям визуализации и мониторинга, а также на доступном бюджете. В нашем случае мы отдаем предпочтение более бюджетной распределенной системе, так как обе системы выполняют одинаковые функции на 30-40 параметрах.

Заключение

Для автоматизации котельной установки с 30-40 параметрами оптимальным решением является распределенная система на базе локальных приборов. Она предлагает низкую стоимость, простоту установки и обслуживания, а также высокую надежность за счет автономности каждого компонента. В отличие от централизованной системы с ПЛК, которая требует больших затрат на оборудование, специалистов и программное обеспечение, распределенная система является более экономичной и эффективной для таких объектов.

Список использованной литературы

1. Барашко О.Г., Кобринец В.П., Коровкина Н.П. Особенности построения и функционирования SCADA-системы для котельных установок // Энергосбережение - важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 19-20 декабря 2019 г. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 199-201.

2. Автоматические системы управления при теплоснабжении котельных // Трибуна ученого. 2020. Вып. 01. [Электронные ресурс]. – URL: tribune-scientists.ru/articles/294 (дата обращения: 28.03.2025).

3. Система управления автоматизированной котельной на базе ПЛК Unitronics // Control Engineering Россия. [Электронные ресурс]. – URL: controleng.ru/otraslevye-resheniya/zhkh/plk-unitronics-v-sisteme-upravleniya-avtomatizirovannoj-kotel-noj-vozmozhnosti-i-perspektivy/ (дата обращения: 28.03.2025).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ПРОЕКЦИОННОГО АЛГОРИТМА

Иванов К.М.[1], Кулеш Ю.О.[2], Глазырин А.С.[3]
Научный руководитель: Боловин Е.В.[4]
[1] НИ ТПУ, ИШЭ, гр. 5А17, студент, e-mail: kmi4@tpu.ru
[2] НИ ТПУ, Отделение автоматизации и робототехники, зав. Лабораторией, e-mail: yok13@tpu.ru
[3] НИ ТПУ, ИШЭ, профессор, д.т.н., e-mail: asglazyrin@tpu.ru
[4] НИ ТПУ, ИШЭ, доцент, к.т.н., e-mail: orange@tpu.ru

Аннотация

В статье представлен разработанный метод идентификации параметров двигателя постоянного тока на основе проекционного алгоритма. Приведены теоретические обоснования и математическая модель алгоритма.

Ключевые слова: идентификация параметров, двигатель постоянного тока, метод наименьших квадратов, проекционный алгоритм.

Введение

В настоящее время электропривод является неотъемлемой частью любого технологического процесса, при этом применение находят как асинхронные и синхронные электроприводы, так и электроприводы на основе двигателей постоянного тока. Согласно источнику [1] эффективность работы систем управления электроприводов зависит от достоверного знания оценок параметров электродвигателей, таких как активное сопротивление и индуктивность. При наладке электроприводов не всегда возможно измерить все параметры и зачастую их рассчитывают на основе каталожных данных по эмпирическим методикам. Полученные по этим методикам оценки значений параметров в свою очередь могут сильно отличаться от реальных значений. При этом значения параметров двигателя в течение работы могут меняться в зависимости от времени, например, в следствие изменения температурного состояния двигателя. Следовательно, есть объективная необходимость в определении оценок значений параметров электродвигателей непосредственно в процессе работы электропривода для следующих целей:

1. Корректной настройки системы управления электроприводом на этапе проектирования и в течение работы.
2. Непрерывной диагностики функционирования двигателя и прогнозирования остаточного ресурса электродвигателей.

Производить контроль за значениями параметров двигателей возможно, используя динамическую идентификацию параметров объектов на основе проекционного алгоритма. Данный подход позволяет найти оценки электромагнитных параметров двигателя. Суть подхода заключается в описании исследуемого динамического объекта с помощью дифференциальных уравнений (ДУ). Далее производится переход от ДУ к системе разностных уравнений. Система разностных уравнений записывается в матричном виде относительно вектора неизвестных параметров объекта. Решение обеспечивается на основе уравнений проекций.

Основная часть

Разработка метода идентификации сводится к нахождению минимума суммы квадратов отклонений объясняющей модели от экспериментальных входных данных (1).

$$S(t_k, x_1, x_2, ..., x_n) = \sqrt{\left(F(t_k, x_1, x_2, ..., x_n) - B_k\right)^2} \quad (1)$$

где B_i - экспериментальные входные данные, k – текущая итерация процесса идентификации, F (t_k, x_1, x_2, …, x_n) – математическая запись объясняющей модели, зависящей от времени t_k и параметров объекта x_1, x_2, …, x_n.

Соответственно, необходимо найти параметры объясняющей модели x_1, x_2, …, x_n. Для этого воспользуемся проекционным алгоритмом, основанным на методе Качмажа, данный подход обладает несколькими достоинствами, ключевым из которых является гарантированная сходимость при определении искомых величин [2].

Для этого рассмотрим математическую модель динамического объекта второго порядка на примере двигателя постоянного тока независимого возбуждения 2ПФ160МГУХЛ4 мощностью 16кВт [3]. Параметры двигателя приведены ниже:
номинальная мощность – $P_H = 16$ кВт; номинальное напряжение – $U_H = 220$ В; номинальная частота вращения вала двигателя – $n_H = 3150$ об/мин; КПД – $\eta = 87$ %; активное сопротивление обмотки якоря – $R_{ОЯ} = 0.037$ Ом; активное сопротивление добавочных полюсов – $R_{ДП} = 0.024$ Ом; активное сопротивление двигателя– $R_{ДВ} = 0.076$ Ом; индуктивность двигателя – $L_{ДВ} = 0.99$ мГн; конструктивный коэффициент – $c_{ДВ} = 0.648$ о.е.; момент инерции двигателя – $J_{ДВ} = 0.083$ кг·м^2.

Схема подключения ДПТ НВ к источнику постоянного напряжения представлена на рисунке 1.

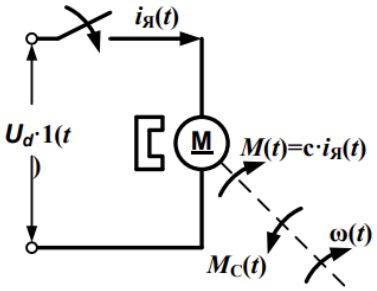


Рис. 1. Схема подключения ДПТ НВ к источнику постоянного напряжения

Схема замещения якорной цепи ДПТ НВ представлена на рисунке 2.

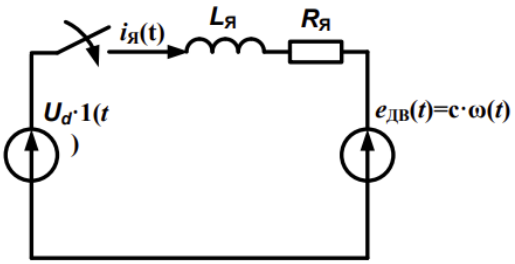


Рис.2. Схема замещения якорной цепи ДПТ НВ

Математическую модель ДПТ НВ можно составить из уравнения электрического равновесия якорной цепи. Уравнение электрического равновесия якорной цепи составим на основе второго закона Кирхгофа [4]:

$$U(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + c \cdot \omega(t) \qquad (2)$$

где $U(t)$ – напряжение, приложенное к якорю, В; R – сопротивление якорной цепи, Ом; $i(t)$ – ток якоря, L – индуктивность якорной цепи, Гн, c – коэффициент, характеризующий связь между круговой частотой вращения якоря и электродвижущей силой движения $e(t), B \cdot c / рад$; $e(t) = c \cdot \omega(t)$ – электродвижущая сила (ЭДС) движения, В.

Исходя из математического описания (1), сформируем объясняющую модель, зависящую от параметров L_{dv}, R_{dv}, c_{dv}, которые необходимо определить:

$$F(i,\omega,t)=\frac{1}{L_{dv}}\cdot(U(t)-i(t)\cdot R_{dv}-\omega(t)\cdot c_{dv}) \qquad (3)$$

где L_{dv} – индуктивность двигателя, Гн; R_{dv} – активное сопротивление, Ом; c_{dv} – конструктивный коэффициент.

Результаты

Реализация листинга программы идентификации параметров RL-цепи на основе регрессионной модели с применением метода приведена на рисунке 3, где A1 – оценка параметра R_{dv}, A2 – оценка параметра L_{dv}, A3 – оценка параметра c_{dv}, Di – производная тока.

$$(A1\ \ A2\ \ A3) := \left|\begin{array}{l} \text{for } i \in nac..NNB \\ \quad FUNCother_i \leftarrow \dfrac{\sum_{s=i-pp}^{i}(U_n)-\sum_{s=i-pp}^{i}(II_s)\cdot A1_{i-1}-\sum_{s=i-pp}^{i}(Di_s)\cdot A2_{i-1}-\sum_{s=i-pp}^{i}(\omega_s)\cdot A3_{i-1}}{\left[\sum_{s=i-pp}^{i}(II_s)\right]^2+\left[\sum_{s=i-pp}^{i}(Di_s)\right]^2+\left[\sum_{s=i-pp}^{i}(\omega_s)\right]^2} \\ \quad A1_i \leftarrow A1_{i-1}+FUNCother_i\cdot\sum_{s=i-pp}^{i}(II_s) \\ \quad A2_i \leftarrow A2_{i-1}+FUNCother_i\cdot\sum_{s=i-pp}^{i}(Di_s) \\ \quad A3_i \leftarrow A3_{i-1}+FUNCother_i\cdot\sum_{s=i-pp}^{i}(\omega_s) \\ (A1\ \ A2\ \ A3) \end{array}\right.$$

Рис. 3. Листинг разработанного метода идентификации параметров ДПТ НВ

Переходные значения оценок представлены на рисунках 4-6. Значения на последней итерации составили $A1=0.075$ Ом, $A2=0.000989$ Гн и $A3=0.648$.

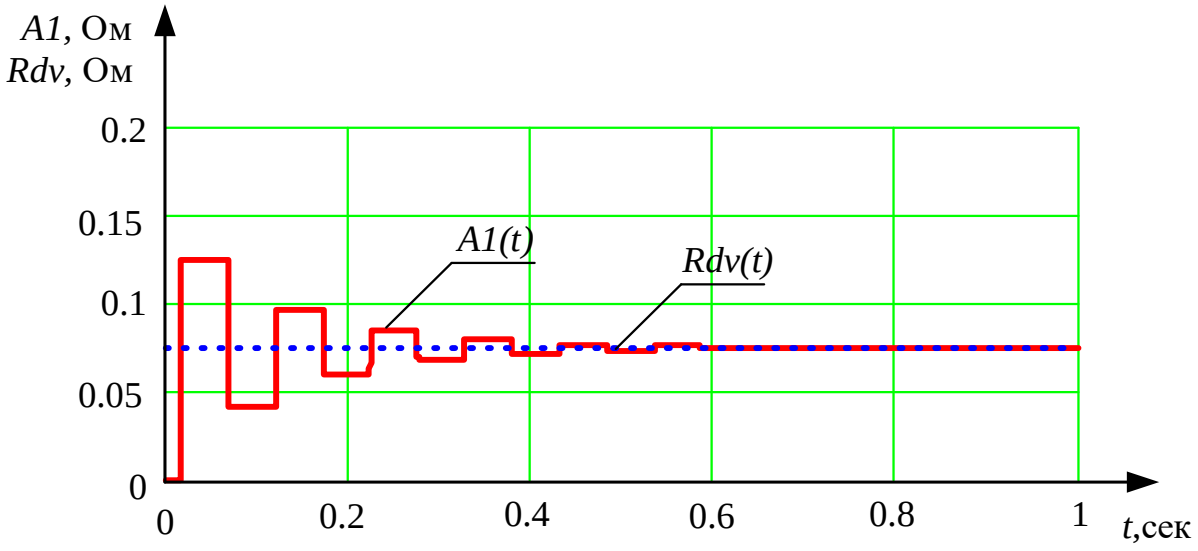


Рис. 4. Переходные процессы оценок параметра R_{dv}

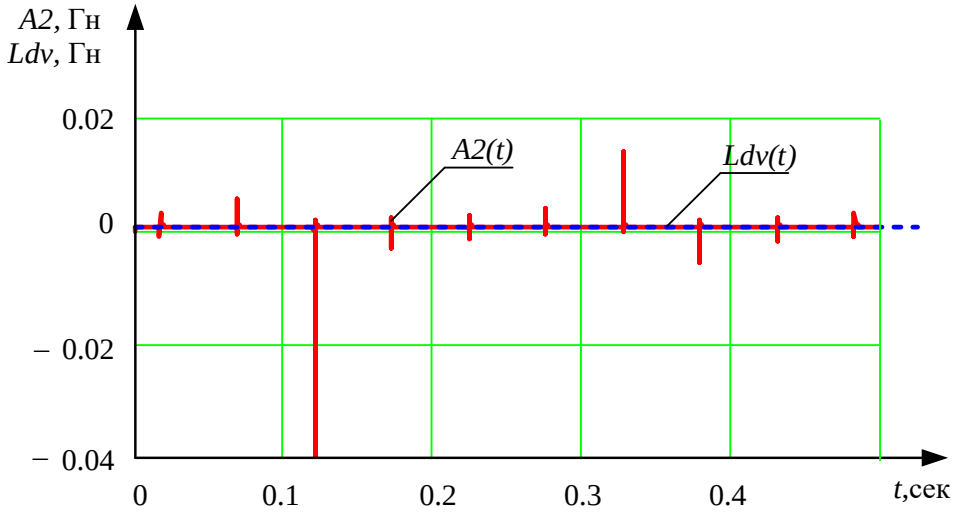


Рис. 5. Переходные процессы оценок параметра L_{dv}

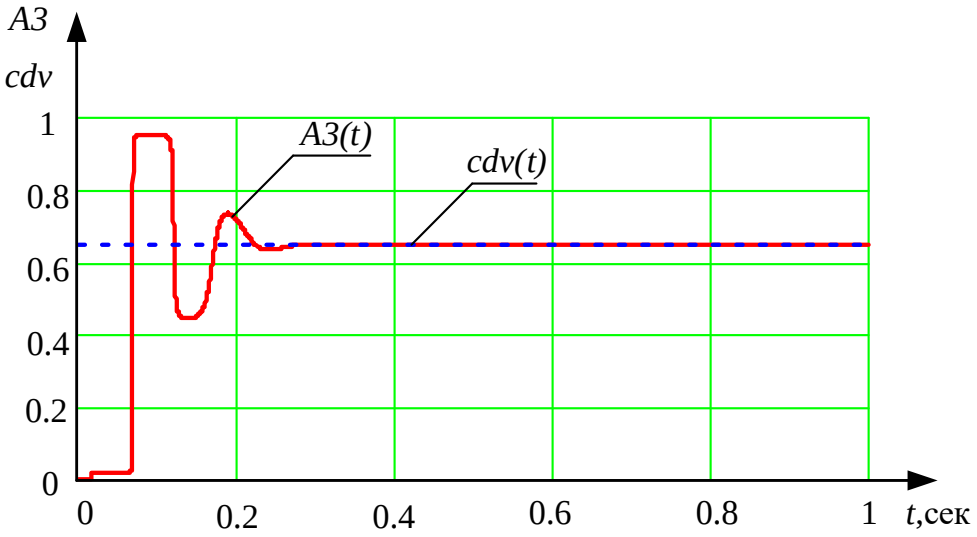


Рис. 6. Переходные процессы оценок параметра c_{dv}

Для оценки полученных результатов рассчитаем относительные погрешности найденных значений параметров:

$$\sigma_1 = \frac{|Rdv - A1|}{|Rdv|} \cdot 100 = \frac{|0.076 - 0.075|}{|0.076|} \cdot 100 = 1.3\,\% -$$ относительная погрешность активного сопротивления двигателя.

$$\sigma_2 = \frac{|Ldv - A2|}{|Ldv|} \cdot 100 = \frac{|9.9 \cdot 10^{-4} - 9.899 \cdot 10^{-4}|}{|9.9 \cdot 10^{-4}|} \cdot 100 = 0.01\,\% -$$ относительная погрешность индуктивности двигателя.

$$\sigma_3 = \frac{|cdv - A3|}{|cdv|} \cdot 100 = \frac{|0.648 - 0.6477664|}{|0.648|} \cdot 100 = 0.0003\,\% -$$ относительная погрешность конструктивного коэффициента.

Погрешности оценок параметров двигателя постоянного тока R_{dv}, L_{dv} и c_{dv}, составили не более 1.5 %.

Заключение

Предложен метод идентификации параметров двигателя постоянного тока на основе проекционного алгоритма. Разработанный метод позволяет получить устойчивые оценки параметров двигателя с погрешностью не более 1.5%. Высокая точность оценивания параметров, позволит корректно настраивать системы управления электроприводом на этапе проектирования и в течение работы. Дальнейшее развитие данного метода идентификации позволит получать оценки параметров более сложных объектов управления.

Список использованных источников

1. Глазырин А. С, Боловин Е.В. Идентификация параметров динамического объекта второго порядка алгебраическим методом: учебно-методическое пособие к проведению лабораторной работы по курсу «Моделирование в электроприводе». – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 17 с.

2. Ильин В.П. Итерационные предобусловленные методы в подпространствах Крылова: тенденции XXI века // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2021. – Т. 61. – №11. – С. 1786-1813. [Электронные ресурс]. – URL: doi.org/10.31857/S0044466921110090 (дата обращения 19.02.2025).

3. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учебное пособие – Издание 2-е переработанное и дополненное. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.

4. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 204 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРШЕВОГО СУДОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ БЕСПИЛОТНОГО КАТЕРА

Казанцев А.В.[1]
Научный руководитель: Хожаев И.В.[2]
[1]*ТПУ, ИШИТР, 8Т12, e-mail: avk276@tpu.ru*
[2]*ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОАР, e-mail: ivh1@tpu.ru*

Аннотация

В работе рассмотрены аналитические и имитационные методы моделирования движителя, получена переходная характеристика нелинейной системы и проведена линеаризация модели для синтеза линейной системы автоматического управления.

Ключевые слова: математическое моделирование, маршевой судовой движитель, гребной винт, имитационное моделирование, линеаризация, система автоматического управления.

Введение

Современные тенденции в мировой торговле и транспортировке морских грузов обусловливают необходимость постоянного увеличения скорости и повышения безопасности перевозок. Растущие объемы морских грузоперевозок требуют автоматизации управления движением судов, что, в свою очередь, порождает потребность в разработке методов математического моделирования динамики таких систем.

В этих условиях моделирование работы маршевого судового движителя с гребным винтом становится актуальной задачей для повышения эффективности управления беспилотными катерами.

Основной целью данного исследования является построение математической модели маршевого судового движителя с гребным винтом, предназначенного для использования в системах беспилотных катеров. Важным этапом работы является упрощение исходной модели для последующего применения при синтезе линейной системы автоматического управления (САУ) движением судна.

Основная часть

Понятие и принцип работы судового движителя

Судовой движитель представляет собой комплекс механических и гидродинамических устройств, предназначенных для преобразования энергии силовых установок в поступательное движение судна. Основными элементами движителя являются двигатель, передающая система и гребной винт, обеспечивающий преобразование крутящего момента в тяговую силу.

Электродвигатель должен обеспечить механическую мощность и частоту вращения вала, необходимые для создания требуемой тяги маршевого движителя, которая зависит от гидродинамического сопротивления аппарата на скорости хода и КПД гребных винтов [1].

Вращение гребного винта создаёт разницу давлений в рабочей жидкости, что приводит к появлению тяговой силы, способной преодолевать сопротивление среды и приводить судно в движение. При этом характеристики винта (геометрия, число лопастей, шаг) определяют эффективность преобразования энергии.

Аналитическое моделирование судового движителя с гребным винтом

Аналитическая модель движителя включает ряд уравнений, описывающих динамику работы винта и его взаимодействие с потоком воды. Одними из основных выражений являются зависимости силы тяги T и момента сопротивления M_c от частоты вращения винта n и диаметра винта D [2]:

$$T = K_1 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4, \quad (1)$$

$$M_c = K_2 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5, \quad (2)$$

где:

ρ – плотность воды,

K_1, K_2 – коэффициенты упора и момента соответственно, которые определяются конструктивными особенностями гребного винта.

Двигатель постоянного тока можно описать системой из двух дифференциальных уравнений, которые моделируют его электрическую и механическую части:

1. Уравнение цепи якоря (электрическая часть):

$$L\frac{di}{dt} + R \cdot i = u - C_e \cdot \omega, \quad (3)$$

где:

L – индуктивность якоря,

i – ток якоря,

R – сопротивление якоря,

u – напряжение на входе электродвигателя,

C_e – коэффициент двигателя по ЭДС, определяемый конструкцией двигателя,

ω – угловая скорость вала двигателя.

2. Уравнение момента на валу (механическая часть):

$$J\frac{d\omega}{dt} = C_m \cdot i - M_c(\omega), \quad (4)$$

где:

J – суммарный момент инерции электродвигателя и нагрузки на валу,

C_m – коэффициент двигателя по моменту, определяемый конструкцией двигателя.

Приведя выражения (3), (4) в операторную форму, можно записать передаточные функции электродвигателя по управляющему и возмущающему воздействиям:

$$W_{\omega u} = \frac{C_m}{(J \cdot L \cdot s^2 + J \cdot R \cdot s + C_m \cdot C_e)};$$
$$W_{\omega M} = \frac{L \cdot s + R}{(J \cdot L \cdot s^2 + J \cdot R \cdot s + C_m \cdot C_e)}. \quad (5)$$

В уравнениях описания гребного винта частота вращения винта n приведена к угловой скорости ω, путем умножения на $\pi/30$.

Объединив входные и выходные величины моделей двигателя и гребного винта, можно получить общую математическую модель маршевого судового движителя (рис. 1).

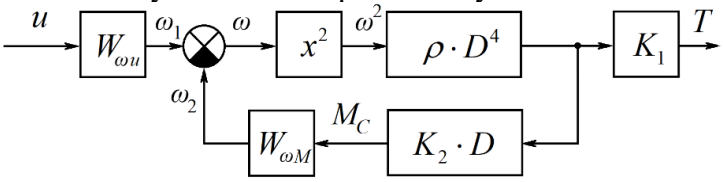


Рис.1. Схема модели маршевого судового движителя для имитационного моделирования

Имитационное моделирование работы судового движителя с гребным винтом

Выбран гребной винт модели RTP-3AC07-00 со следующими параметрами: требуемая мощность двигателя – 5 л.с. (около 3.73 кВт), диаметр – 9 дюймов (0.2286 м), шаг – 7 дюймов (0.1778 м), коэффициенты $K_1 = 3.662 \cdot 10^{-4}$, $K_2 = 2.294 \cdot 10^{-4}$.

Под гребной винт был подобран электрический двигатель 4ПО112М1. Параметры электродвигателя: $P = 4.0$ кВт, $I = 22.1$ А, $\omega = 3000 \cdot \pi / 30 = 314$ рад/с, $U = 220$ В.

Исходя из [3], был произведен расчет недостающих параметров активного сопротивления и индуктивности:

$$R = \frac{0.5 \cdot (U \cdot I - P \cdot 10^3)}{I^2} = 0.882 \text{ Ом},$$

$$L = 0.2 \cdot \frac{U}{2 \cdot \omega \cdot I} = 3.17 \text{ мГн}.$$

На рис. 2 представлена нелинейная имитационная модель работы судового движителя с гребным винтом, реализованная в специализированном программном пакете.

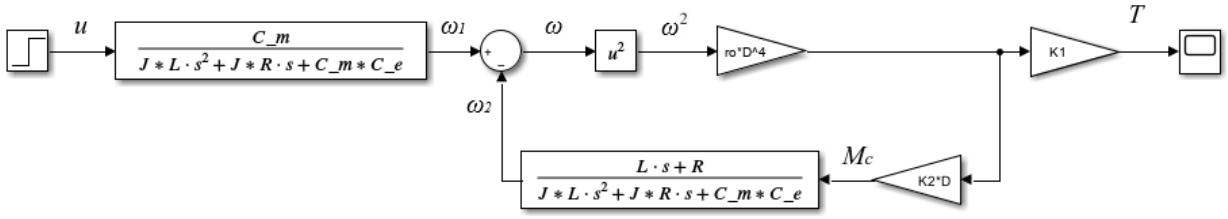


Рис.2. Имитационная модель работы маршевого судового движителя

Результатом имитационного моделирования является получение переходной характеристики системы, демонстрирующей реакцию движителя на входное ступенчатое воздействие (рис. 3).

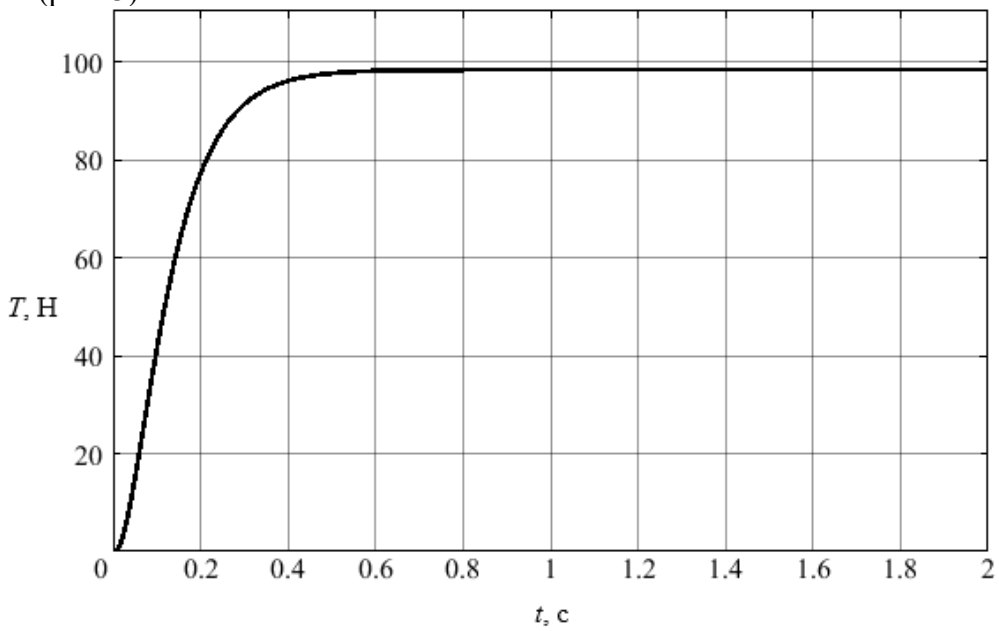


Рис.3. Переходная характеристика судового движителя

Линеаризация математической модели судового движителя с гребным винтом

Поскольку реальные системы управления зачастую основаны на линейных алгоритмах, для синтеза системы автоматического управления необходимо линеаризовать исходную нелинейную модель. Это позволяет применять стандартные методы анализа устойчивости и регулирования.

Для линеаризации требуется выбрать рабочую точку, которая должна соответствовать установившемуся режиму, когда все производные равны нулю. Линеаризация проводится по принципу разложения функций в ряд Тейлора в окрестности заданного рабочего режима [4]:

$$i = i_0 + \tilde{i},\ \omega = \omega_0 + \tilde{\omega},\ u = U_0 + \tilde{u}\ . \qquad (6)$$

Линейное уравнение для приращения тока:

$$L\frac{d\tilde{i}}{dt} = -R\cdot\tilde{i} - C_e\cdot\tilde{\omega} + \tilde{u}\,. \tag{7}$$

При линеаризации момента сопротивления, разложим его в ряд Тейлора около ω_0:

$$M_c(\omega_0+\tilde{\omega}) \approx M_c(\omega_0) + \left.\frac{dM_c}{d\omega}\right|_{\omega_0}\tilde{\omega}, \tag{8}$$

где в установившемся режиме выполняется

$$C_m\cdot i_0 = M_c(\omega_0)\,. \tag{9}$$

Таким образом, уравнение в отклонениях примет вид:

$$J\frac{d\tilde{\omega}}{dt} = C_m\cdot\tilde{i} - k_m\cdot\tilde{\omega}, \tag{10}$$

где

$$k_m = \left.\frac{dM_c}{d\omega}\right|_{\omega_0} = 2\cdot K_2\cdot\rho\cdot D^5\cdot\omega_0\,. \tag{11}$$

Линеаризуя уравнения силы тяги относительно ω_0, получаем:

$$\tilde{T} = 2\cdot K_1\cdot\rho\cdot D^4\cdot\omega_0\cdot\tilde{\omega}\,. \tag{12}$$

Заключение

В ходе исследования была изучена структура и принцип работы маршевого судового движителя с гребным винтом. На основе аналитических методов построена математическая модель, отражающая основные физические процессы, происходящие в системе. Имитационное моделирование позволило получить переходную характеристику, подтверждающую корректность модели, а процедура линеаризации обеспечила возможность дальнейшего синтеза линейной системы автоматического управления движением беспилотного катера.

Список использованной литературы

1. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / А.В. Инзарцев, Л.В. Киселев, В.В. Костенко, Ю.В. Матвиенко, А.М. Павин, А.Ф. Щербатюк; [отв.ред. Л.В. Киселев]; ФГБУН Ин-т проблем морских технологий ДВО РАН. – Владивосток, 2018. – 368 с. ISBN 978-5-7311-0486-9

2. Лукомский Ю. А., Чугунов В. С. / Системы управления морскими подвижными объектами : Учебник – Л. : Судостроение, 1988. – 272 с.

3. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учебное пособие / JI.C. Удут, Н.В. Кояин, О Л. Мальцева. – Издание 2-е переработанное и дополненное. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2007. –152 с.

4. Митришкин Ю.В Линейные математические модели динамических систем с управлением / Митришкин Ю.В. – Москва : МГУ, 2019 – 464 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Парыгин Р.П.[1], Саблина Г.В.[2]
[1] НГТУ, каф. ВТ, группа АММ2-24, e-mail: parygin154@gmail.com
[2] НГТУ, каф. АВт, доцент, e-mail: gv.sablina@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассмотрена задача стабилизации скорости вращения двигателя постоянного тока. Проведено исследование наиболее распространённых методов получения дискретных моделей непрерывных систем: матричный метод, z–преобразование и преобразование Тастина. Разработан регулятор для стабилизации скорости вращения двигателя на основе модального метода. Представлены результаты моделирования системы.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, математическая модель, методы дискретизации, синтез регулятора, дискретная система.

Введение

Стабилизация скорости вращения двигателей постоянного тока (ДПТ) является важной задачей для многих промышленных приложений, требующих высокой точности и надежности. Разработка эффективных алгоритмов управления, способных поддерживать заданную скорость вращения при различных возмущениях, является актуальной проблемой.

Данное исследование сосредоточено на построении системы стабилизации скорости вращения ДПТ. Особое внимание уделяется сравнению методов дискретизации на примере конкретного объекта, а также синтезу регулятора на основе модального метода для обеспечения заданных характеристик системы.

Целью данной работы является построение дискретной системы стабилизации скорости вращения ДПТ с независимым возбуждением.

Задачи, которые необходимо решить:

1. Описать математическую модель двигателя и получить дискретные модели указанными способами
2. Произвести синтез регулятора на основе модального метода
3. Произвести моделирование и анализ работы замкнутой системы управления

Основная часть

Схема управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением представлена на рис.1.

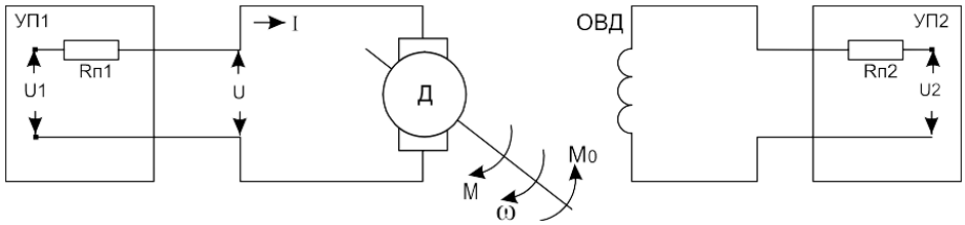


Рис. 1. Схема управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением

где ОВД – обмотка возбуждения двигателя, Д – двигатель постоянного тока, УП1, УП2 – управляемые преобразователи для питания якорной цепи и обмотки возбуждения двигателя. U1, U2 – напряжения на входах управляемых преобразователей, $R_{п1}$, $R_{п2}$ – активные сопротивления преобразователей, U, I – напряжение и ток на якоре двигателя, ω – угловая

скорость вращения вала двигателя, М – момент, развиваемый двигателем, $M_с$ – момент сопротивления на валу двигателя, который будем считать внешним возмущением.

Математическая модель объекта в линейном приближении [3] имеет вид:

$$\begin{cases} J\dfrac{d\omega}{dt} = C\Phi_H I - M_C, \\ L\dfrac{dI}{dt} = -RI - C\Phi_H\omega + U_1. \end{cases} \quad (1)$$

Коэффициенты системы рассчитаны на основе паспортных данных, приведённых в таблице 1.

Таблица 1. Справочные параметры двигателя

$P_Н$, [кВТ]	$U_Н$, [В]	$I_Н$, [А]	$\omega_Н$, [рад/с]	η	$P_П$	β	$J_Д$, [кг/ м^2]	$t_П$, [с]	σ, %	$\frac{\omega_m}{\omega_H}$, %
0,46	220	4,8	110	0,63	2	0,25	0,018	0,46	20	4,8

Таблица 2. Справочные параметры тахогенератора

Наименование тахогенератора	$E_у$	n_{max}, [об/мин]	$P_у$	$I_{нmax}$	$R_я$
ТД-103	6,6	1500	0,041	0,1	660

Передаточная функция объекта определяется с учётом передаточной функции тахогенератора в виде:

$$W_{OУ}(p) = W_O(p)\cdot W_{TX}(p) = \frac{62,5606}{(p^2 + 326,421p + 2426,656)} = \frac{B(p)}{A(p)} \quad (2)$$

Далее рассматриваются способы перехода от непрерывной передаточной функции к её дискретной модели.

Матричный метод

Переход к дискретной модели матричным методом осуществляется за счет процедуры разложения в ряд Тейлора (общее решение системы линейных дифференциальных уравнений). Дискретная модель объекта, полученная матричным методом:

$$W(z) = \frac{0,0013311508z + 0,000480412}{z^2 - 0,96795436z + 0,03822288} \quad (3)$$

Для оценки качества переходных процессов, в программной среде имитационного моделирования при шаге дискретизации T = 0.01 с., выполнено моделирование непрерывного и дискретного объектов.

Преобразование Тастина

Для дифференциального оператора p выполним преобразование:

$p = \frac{2}{T}\cdot\frac{z-1}{z+1}$, где z – оператор сдвига.

Передаточная функция в дискретном виде:

$$W(z) = \frac{0.00058081z^2 + 0.00116163z + 0.00058081}{z^2 - 0.69767051z - 0.21221207} \quad (4)$$

Метод z–преобразования

Дискретная модель передаточной функции имеет вид:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z\left\{\frac{W_O(p)}{p}\right\}$$

Передаточная функция, полученная методом z-преобразования:

$$W(z) = \frac{0.0013305970603z + 0.000480402}{z^2 - 0.967958941952 + 0.0382271242101} \quad (5)$$

Далее произведено сравнение переходных процессов непрерывного и дискретных объектов.

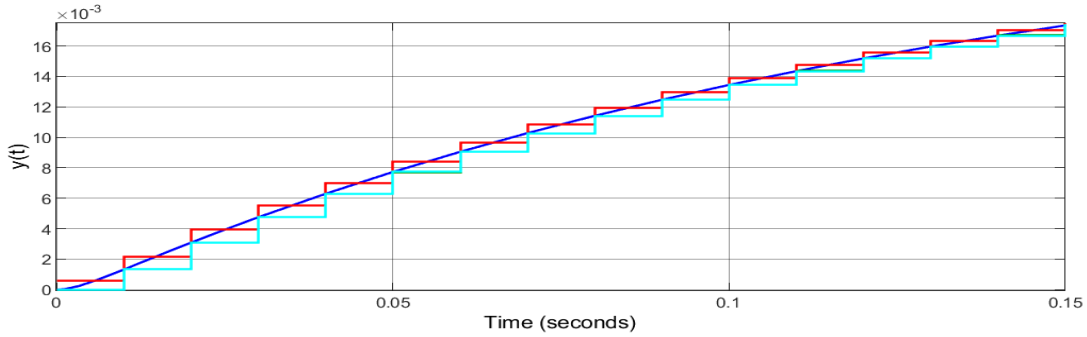


Рис. 2. Графики переходных процессов непрерывного объекта (синий) и дискретных объектов, полученных методами: матричный(зелёный), Z-преобразование (голубой) и Тастина (красный)

Графики переходных процессов для матричного метода и метода z-преобразования совпадают. При малом шаге дискретизации, а в нашем случае T = 0,01 с, эти методы показывают очень высокую точность. Это приводит к тому, что на рисунке графики сливаются в один, а их результаты сходятся относительно друг друга и непрерывной модели объекта.

Как было упомянуто ранее, матричный метод показывает высокую точность, а также является несложным способом. Точность метода зависит от количества членов в ряде разложения. Для достижения совпадения с непрерывной моделью в данной работе понадобилось 15 членов. Рост точности в данном методе неминуемо приводит к увеличению вычислительных нагрузок. Полагаясь на этот факт, для данного объекта, стоит отдать предпочтению методу Z-преобразования, который так же позволяет добиться совпадения с непрерывной моделью, однако требует намного меньше вычислительных ресурсов.

Если обратить внимание на результат работы метода преобразования Тастина, можно заметить, что график переходного процесса не совпадает с непрерывной моделью в моменты, равные шагу дискретизации. В отличие от дискретных моделей, полученных матричным методом и Z-преобразования, в начальный момент времени переходный процесс в дискретной модели имеет значение, отличное от нуля y(0) = 0,0006. Так получается из-за того, что числитель и знаменатель дискретной модели, полученной преобразованием Тастина, имеют одинаковый порядок, чего не наблюдается в двух вышеописанных методах. Используя преобразование Тастина можно получить лишь приближенную дискретную модель.

Реализация дискретного регулятора

Чтобы задача синтеза была разрешима необходимо, чтобы объект был наблюдаем и управляем. В ходе исследования было выявлено, что все условия разрешимости выполняются.

Для обеспечения качества переходного процесса, синтезируемая система позволяет задать произвольные корни объекта. Изображение структуры синтезируемой системы показано на рис. 3.

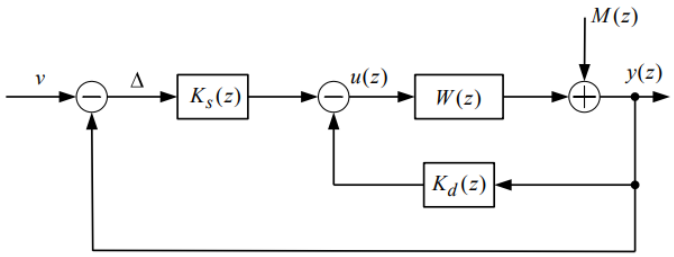


Рис. 3. Структурная схема синтезируемой системы

где ν – входное воздействие, Δ – ошибка регулирования, u(z) – управляющее воздействие, M(z) – возмущение, приложенное к выходу объекта (самый неблагоприятный случай), y(z) – выход системы, W(z)- дискретная передаточная функция объекта управления,

$K_s(z)$ – корректор статики, необходимый для обеспечения требований, предъявляемых к статике системы (присутствие статической ошибки – система статична, отсутствие ошибки, достигаемое добавление интегратора в блок корректора статики – астатизм),

$K_d(z)$ – корректор динамики, обеспечивающий желаемое распределение корней, выбор которых зависит от требований к быстродействию и перерегулированию системы управления.

Набор корней желаемого характеристического уравнения, позволяющей найти коэффициенты для корректоров статики и динамики и сформировать регулятор:

$$z_{1,2,3} = e^{(-43*0,01)} = 0,65050909472322$$

Результаты

Для возможности влиять на качество переходных процессов, а также реакции системы на внешнее возмущение, для всех полученных дискретных моделей были реализованы дискретные регуляторы с использованием модального метода синтеза.

Для оценки работоспособности произведено моделирование.

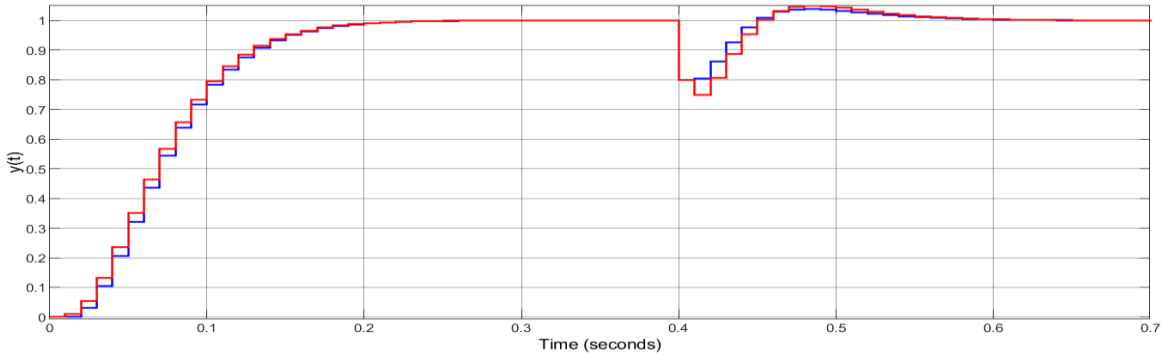


Рис. 4. Переходные процессы с возмущением для синтезированных систем на основе дискретных объектов, полученных Z-преобразованием (синий график), матричным методом (зеленый график) и преобразованием Тастина (красный график).

Возмущение, приложенное к выходу дискретного объекта, отрабатывается во всех случаях, однако скорость этого процесса напрямую зависит от значений желаемых корней.

Графики переходных процессов систем совпадают у синтезированных систем для Z-преобразования и матричного метода. Это обусловлено тем, что их дискретные модели, и, соответственно регуляторы, практически одинаковы.

Дискретный регулятор, рассчитанный на основе дискретной модели, полученной преобразованием Тастина, показал свою непригодность в работе с непрерывным объектом. Этот метод неприменим с использованием непрерывного объекта.

Заключение

На примере объекта «двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» была реализована дискретная система управления. В ходе работы исследованы наиболее распространенные методы дискретизации, описана математическая модель двигателя. На основе модального метода построен регулятор. Исследования показали, что модальный метод синтеза дискретного регулятора применим для дискретных объектов, полученных любыми методами, выявлено, что большое влияние на качество переходных процессов в системе оказывает выбор эталонных корней для желаемого характеристического уравнения.

Список использованных источников

1. Волков Н.И., Миловзоров В.П. Электромашинные устройства автоматики : учебник для вузов. – М. : Высшая школа, 1986. – 336 с.

2. Саблина Г.В. Цифровые системы управления. Сборник задач для индивидуальных заданий : учеб. пособие, Изд-во НГТУ, 2019. – 66 с.

3. Французова Г.А. Расчет и исследование системы регулирования динамическим объектом : учебно-методическое пособие. – Изд-во НГТУ, 2019. – 44 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ ОБЪЕКТОМ С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ

Хрипунов Ю.А.[1]
Научный руководитель: Хожаев И.В.[2]
[1]ТПУ, ИШИТР, 8Т11, e-mail: yah12@tpu.ru
[2]ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОАР, e-mail: ivh1@tpu.ru

Аннотация

Доклад посвящен синтезу регулятора системы автоматического управления тепловым объектом в виде теплообменного аппарата, подогреваемого горелкой на жидком топливе. В процессе выполнения работы была получена математическая модель исследуемой системы с учетом интервальной неопределенности ее параметров, а также синтезирован модальный регулятор пониженного порядка.

Ключевые слова: тепловой объект, система управления, температура, математическая модель, синтез регулятора, параметрическая неопределенность.

Введение

Системы управления тепловым объектом используются для контроля и регулирования температуры, теплового потока или других параметров, связанных с тепловыми процессами. Использование тепловых объектов в различных отраслях промышленности и энергетики имеет широкое распространение. От эффективности управления этими объектами напрямую зависят такие ключевые показатели, как энергоэффективность, качество продукции, безопасность технологического процесса, экономическая эффективность предприятия [1].

Управление тепловыми объектами в условиях параметрической неопределенности активно исследуется. Традиционные ПИД-регуляторы часто оказываются неэффективными при значительных изменениях параметров объектов, требуя постоянной перенастройки. Существующие методы управления тепловыми объектами в условиях параметрической неопределенности либо недостаточно эффективны, либо сложны в реализации, либо не обладают достаточной универсальностью [2, 3].

Целью данной работы является синтез регулятора системы автоматического управления тепловым объектом, обеспечивающего робастность прямых и корневых показателей качества регулирования в условиях параметрической неопределенности, при этом обладает вычислительной скоростью и простотой настройки. Далее рассмотрим вывод математической модели исследуемой системы с интервальными параметрами и расчет настроек модального робастного регулятора пониженного порядка.

Основная часть

Математическая модель системы

На рис. 1 приведена структурная схема исследуемой системы, состоящей из регулятора; усилительного устройства в виде широтно-импульсного преобразователя; мазутной горелки Riello 40N10 со встроенным топливным насосом и теплообменного аппарата, подогреваемого горелкой.

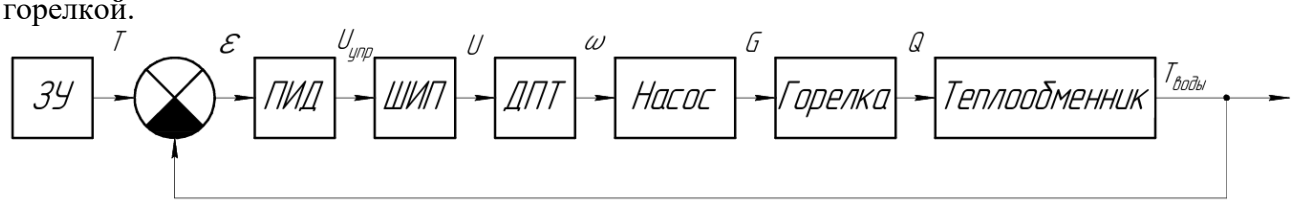


Рис. 1. Структурная схема системы

Принцип работы системы основан на нагреве горячим теплоносителем холодной рабочей жидкости, которую необходимо нагреть до определенной температуры. Теплообменник наполнен маслом-теплоносителем АМТ-300, которое может нагреваться до 300°С [4]. Принцип работы теплообменника заключается в передаче тепловой энергии от одного теплоносителя к другому. На выходе из теплообменника получают нагретую среду. Нагрев масла осуществляется за счет горения мазута. В горелке происходит смешивание топлива, подаваемого насосом с воздухом, эта топливовоздушная смесь поджигается, и теплота сгорания топлива поступает на нагрев стенок теплообменника. Топливо перекачивается с помощью топливного насоса, а насос приводится в движение при помощи двигателя постоянного тока. Широтно-импульсный преобразователь необходим для усиления сигнала и подачи его на питание двигателя.

Дифференциальное уравнение, описывающее работу ШИП [5]:

$$\left(T_{\text{ШИП}} \cdot s + 1\right) \cdot U\left(t\right) = k_{\text{ШИП}} \cdot U_{\text{УПР}}\left(t\right), \tag{1}$$

где $T_{\text{ШИП}} = 0.0005\,\text{с}$ – постоянная времени ШИП, $k_{\text{ШИП}} = 9.554$ – коэффициент усиления.

Передаточная функция двигателя постоянного тока [6]:

$$W_{\text{ДПТ}}(s) = \frac{1}{\left(J_{\text{ДВ}} \cdot L_{\text{ДВ}} / c\right) \cdot s^2 + \left(J_{\text{ДВ}} \cdot R_{\text{ДВ}} / c\right) \cdot s + c} = \frac{1}{2.762 \cdot 10^{-4} \cdot s^2 + 0.027 \cdot s + 0.3041}, \tag{2}$$

где $L_{\text{ДВ}}$ – индуктивность двигателя, $J_{\text{ДВ}}$ – момент инерции, c – коэффициент ЭДС, $R_{\text{ДВ}}$ – сопротивление двигателя.

Топливный насос опишем передаточным коэффициентом равным отношению частоты вращения вала электродвигателя насоса $\omega = 314.16\,\text{рад/с}$ и расхода топлива $G = 0.0025\,\text{кг/с}$ [7]:

$$k_{\text{Н}} = \Delta G / \Delta\omega = 0.00000795. \tag{3}$$

Мазутную горелку опишем передаточным коэффициентом, который определяется как отношение количества теплоты, выделяемое горелкой в секунду $Q_{\text{Г}} = 102\,000\,\text{Вт}$, к массовому расходу топлива $G = 0.0025\,\text{кг/с}$:

$$k_{\text{Г}} = \Delta Q_{\text{Г}} / \Delta G = 40\,800\,000. \tag{4}$$

Для математической модели теплообменного агрегата необходимо воспользоваться формулами количества теплоты и законом Фурье для теплопроводности. В теплообменнике происходят процессы: нагрев стенок теплообменника от горелки, нагрев масла-теплоносителя от стенок теплообменника, нагрев холодной рабочей жидкости от количества теплоты, отдаваемое маслом [8].

Зависимость температуры стенок теплообменника от подаваемой на нее теплоты имеет вид:

$$\frac{\Delta T_{\text{Т}}}{\Delta Q_{\text{Г}}} = \frac{1}{C_{\text{Т}} \cdot \rho_{\text{Т}} \cdot S_{\text{Т}} \cdot \delta_{\text{Т}}} = 0.000156, \tag{5}$$

где $T_{\text{Т}}$ – температура стенки теплообменника, $C_{\text{Т}} = 400\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{С}}$ – удельная теплоёмкость меди, $\rho_{\text{Т}} = 8900\,\text{кг/м}^3$ – плотность меди, $S_{\text{Т}} = 0.09\,\text{м}^2$ – площадь нагреваемой поверхности, $\delta_{\text{Т}} = 0.02\,\text{м}$ – толщина стенки.

Зависимость температуры масла от температуры стенок теплоносителя:

$$\frac{\Delta T_{\text{М}}}{\Delta T_{\text{Т}}} = \frac{\lambda_{\text{Т}} \cdot S_{\text{Т}}}{C_{\text{М}} \cdot m_{\text{М}} \cdot \delta_{\text{Т}} + \lambda_{\text{Т}} \cdot S_{\text{Т}}} = 0.125, \tag{6}$$

где $\lambda_{\text{Т}} = 400\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{С}}$ – теплопроводность меди, $S_{\text{Т}} = 0.09\,\text{м}^2$ – площадь поверхности теплообменника, $T_{\text{М}}$ – температура масла-теплоносителя, $T_{\text{Т}}$ – температура стенок

теплообменника, $m_{\text{М}} = 7.86\,\text{кг}$ – масса масла, $C_{\text{М}} = 1600\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$ – удельная теплоемкость масла, $\delta_{\text{Т}} = 0.02\,\text{м}$ – толщина стенок теплообменника.

Связь температуры воды от температуры масла-теплоносителя [9]:

$$\frac{\Delta T_{\text{В}}}{\Delta T_{\text{М}}} = \frac{\frac{2\cdot\pi\cdot\lambda\cdot l}{\ln\left(r_{\text{Н}}/r_{\text{ВН}}\right)}}{C_{\text{В}}\cdot m_{\text{В}} + \frac{2\cdot\pi\cdot\lambda\cdot l}{\ln\left(r_{\text{Н}}/r_{\text{ВН}}\right)}} = 0.95, \qquad (7)$$

где $\lambda = 400\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$ – теплопроводность медного трубопровода, $l = 2.5\,\text{м}$ – длина трубопровода, проходящего через теплообменник, $r_{\text{Н}} = 0.011\,\text{м}$ – наружный радиус трубопровода, $r_{\text{ВН}} = 0.01\,\text{м}$ – внутренний радиус трубопровода, $C_{\text{В}} = 4200\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$ – удельная теплоёмкость воды, $m_{\text{В}} = 0.8\,\text{кг}$ – масса воды, проходящей, через теплообменник.

Оценка интервальных параметров в системе

Интервальные параметры характеризуют диапазоны значений, в которых могут изменяться рабочие характеристики системы в зависимости от условий окружения или изменения режима работы.

Удельная теплоемкость масла-теплоносителя увеличивается при повышении температуры по причине того, что при повышении температуры молекулы масла начинают двигаться быстрее. Это увеличивает количество способов, которыми энергия может быть распределена между молекулами, что приводит к увеличению теплоемкости [4].

Таблица 1. Зависимость удельной теплоемкости масла от температуры

T, °C	20	40	60	80	100	120	140
$C_{\text{М}}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$	1600	1680	1730	1810	1870	1940	2010

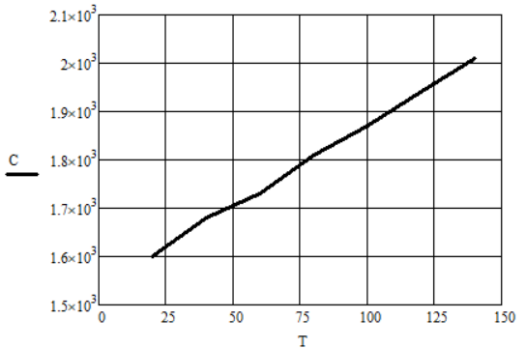


Рис. 2. График зависимости теплоемкости масла от температуры

Удельная теплоемкость масла-теплоносителя находится в интервале: $Z = [1600; 2010]\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$.

Конструкция горелки устроена таким образом, что при расходе топлива менее, чем $0.83\cdot10^{-3}$ кг/с горелка не будет приведена в действие и не будет вырабатывать никакую мощность. Затем при увеличении расхода будет и увеличиваться мощность. Нелинейная зависимость мощности, отдаваемой горелкой, от расхода топлива показана на рис. 3 [7].

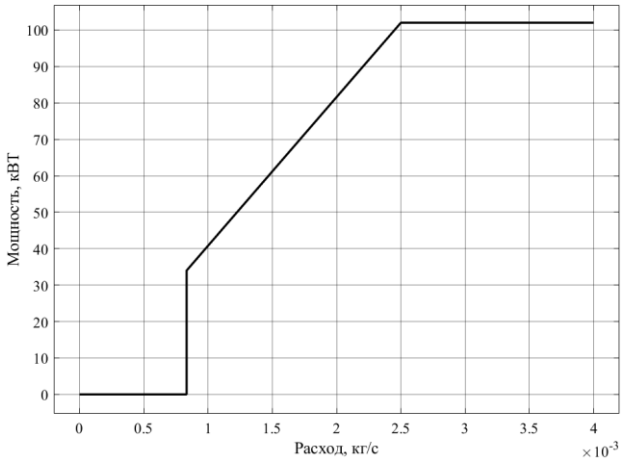


Рис. 3. График зависимости мощности горелки от расхода топлива

Чтобы линеаризовать модель системы, опишем передаточный коэффициент горелки интервальным параметром. Пределы интервала оценим по приведенной статической характеристике: $K = \left[102000 / 4 \cdot 10^{-3}; 102000 / 2.5 \cdot 10^{-3}\right]$.

Таким образом в разработанной системе будут присутствовать два интервальных параметра, которые будут влиять на работу системы.

Выбор структуры и расчет параметров регулятора

На первом этапе необходимо определить структуру регулятора, которая сможет эффективно управлять системой. Методика синтеза позволяет расположить доминирующий полюс в указанном отрезке, а все остальные полюса расположить левее этой границы для того, чтобы они оказывали меньшее влияние на систему. Синтезируемый регулятор должен иметь 3 параметра. Два параметра будут отвечать за границы отрезка расположения доминирующего полюса. Третий параметр необходим для того, чтобы построить по нему D-разбиение и убрать свободные полюса как можно дальше от мнимой оси.

В качестве регулятора с тремя параметрами был выбран ПИД-регулятор, у которого интегральная составляющая отвечает за отсутствие статической ошибки, а дифференциальная составляющая отвечает за время переходного процесса и ускоряет систему.

На втором этапе необходима настройка и оптимизация параметров выбранной структуры регулятора. Система состоит из ПИД-регулятора и неизменяемой части, охваченной единичной отрицательной обратной связью. Передаточная функция регулятора имеет вид:

$$W_{\text{PID}}(s, P, I, D) = P + I / s + D \cdot s \tag{8}$$

где P, I, D – настройки пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих регулятора.

Передаточная функция исследуемой системы с регулятором и единичной обратной связью имеет вид:

$$W_{\text{C}}(s, P, I, D, Z, K) = \frac{D \cdot s^2 + P \cdot s + I}{\begin{array}{l} s^4\left(\frac{0.053578 \cdot Z}{K} + \frac{12.27}{K}\right) + s^3\left(\frac{112.4 \cdot Z}{K} + \frac{25740}{K}\right) + \\ + s^2\left(D + \frac{10540 \cdot Z}{K} + \frac{2.4137 \cdot 10^6}{K}\right) + s\left(P + \frac{117967 \cdot Z}{K} + \frac{2.7016 \cdot 10^7}{K}\right) + I \end{array}}, \tag{9}$$

где $Z = [1600; 2010]$ и $K = \left[102000 / 4 \cdot 10^{-3}; 102000 / 2.5 \cdot 10^{-3}\right]$ – первичные интервальные параметры системы.

Для удобства в дальнейших расчетах приведем характеристический полином исследуемой системы к следующему виду:

$$D(s,P,I,D,A,B)=s^4\cdot\left(0.053578\cdot A+12.27\cdot B\right)+s^3\left(112.4\cdot A+25740\cdot B\right)+$$
$$+s^2\left(D+10540\cdot A+2.4137\cdot 10^6\cdot B\right)+s\left(P+117967\cdot A+2.7016\cdot 10^7\cdot B\right)+I, \quad (10)$$

где $A=\dfrac{Z}{K}$ и $B=\dfrac{1}{K}$ – пересчитанные интервальные параметры, равные $A=\left[3.922\cdot 10^{-5};7.882\cdot 10^{-5}\right]$, $B=\left[2.45098\cdot 10^{-8};3.92157\cdot 10^{-8}\right]$.

Необходимо обеспечить в данной системе апериодический переходный процесс длительность не более 20 секунд. Такой длительности переходного процесса соответствует минимальная степень устойчивости, равная $\eta=0.2$. Необходимо разместить доминирующий полюс в интервале $\lambda=\left[-0.3;-0.2\right]$. Свободные полюса системы при этом разместим левее прямой $\mathrm{Re}(x)-2.4$.

Найдем значение остатка для левой и правой границ интервала доминирующего полюса:

$$D_1(s,a0,a1,a2,a3,a4)=a4\cdot s^4+a3\cdot s^3+a2\cdot s^2+a1\cdot s+a0; \quad (11)$$

$$R_1(P,I,D)=D_1\left(\underline{\lambda},a0(I),\underline{a1(P)},\overline{a2(D)},\underline{a3},\overline{a4}\right)=0.09\cdot D+I-0.3\cdot P-1.5035; \quad (12)$$

$$R_2(P,I,D)=D_1\left(\overline{\lambda},a0(I),\overline{a1(P)},\underline{a2(D)},\overline{a3},\underline{a4}\right)=0.04\cdot D+I-0.2\cdot P-2.0527. \quad (13)$$

Приравняв к нулю полученные выражения и решив систему из двух уравнений, получим зависимости двух настроек регулятора от третьей: $I(P)=0.12\cdot P+2.4921$; $D(P)=2\cdot P-10.984$.

Подставим найденные зависимости в характеристический полином для нахождения свободного полинома:

$$B(s,b0,b1,b2,b3)=\left[b0(P)\right]+\left[b1(P)\right]\cdot s+\left[b2\right]\cdot s^2+\left[b3\right]\cdot s^3 \quad (14)$$

$$\left[b3\right]=\left[2.402\cdot 10^{-6};4.704\cdot 10^{-6}\right]; \quad (15)$$

$$\left[b2\right]=\left[0.0050378;0.0098683\right]; \quad (16)$$

$$\left[b1(P)\right]=\left[2\cdot P-10.514;2\cdot P-10.06\right]; \quad (17)$$

$$\left[b0(P)\right]=\left[0.4\cdot P+8.30682;0.6\cdot P+12.46041\right]. \quad (18)$$

Построим кривые D-разбиения во всех вершинах параметрического многогранника. Характеристический полином исследуемой системы имеет четвертый порядок, из этого следует, что система будет иметь 4 полюса, один из которых является доминирующим. Следовательно, свободный полином будет иметь уравнение третьего порядка. Полином третьего порядка имеет 4 интервальных коэффициента: $b0, b1, b2, b3$, у каждого коэффициента есть минимальная и максимальная границы. Соответственно всевозможных комбинаций может быть: $2^4=16$.

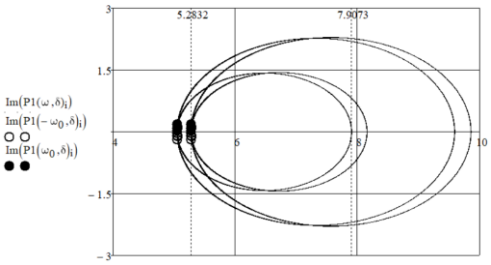
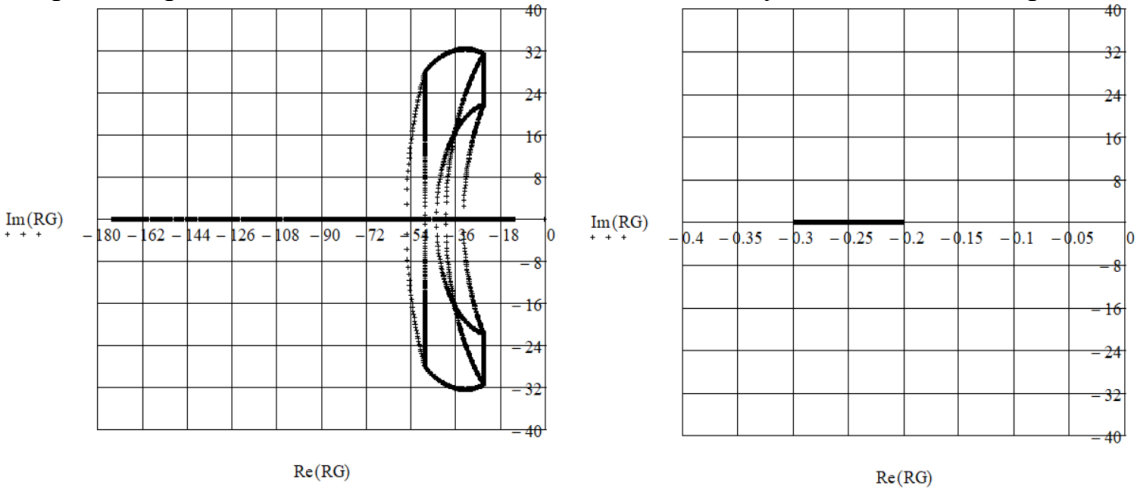


Рис. 4. D-разбиение для свободного полинома по P для обеспечения заданной степени доминирования

Следовательно система будет обеспечивать заданные параметры при значении пропорционального коэффициента $P = [5.2832; 7.9073]$. Также воспользуемся зависимостями коэффициентов регулятора I и D от пропорционального коэффициента и найдем их значение при $P = 5.5$:

$$I(P) = 3.152;$$
$$D(P) = 0.016.$$

Для оценки полученного расположения полюсов системы с синтезированным регулятором на рис. 5 построен ее интервальный корневой годограф. Из рис. 5 показано, что доминирующий полюс расположился в заданном интервале $\lambda = [-0.3; -0.2]$, свободные полюса при этом расположены так, что обеспечивают заданную степень доминирования.



а) *б)*

Рис. 5. Расположение корней системы:
а) расположение свободных полюсов, б) расположение доминирующего полюса

Из рис. 5 видно, что расположение полюсов соответствует заданным условиям. В итоге степень робастной устойчивости равна 0.2, а степень робастной колебательности равна $31.453 / 24.652 = 1.276$.

Оценим качество переходных процессов в полученной системе. Для этого построим переходные характеристики системы во всех вершинах ее параметрического многогранника.

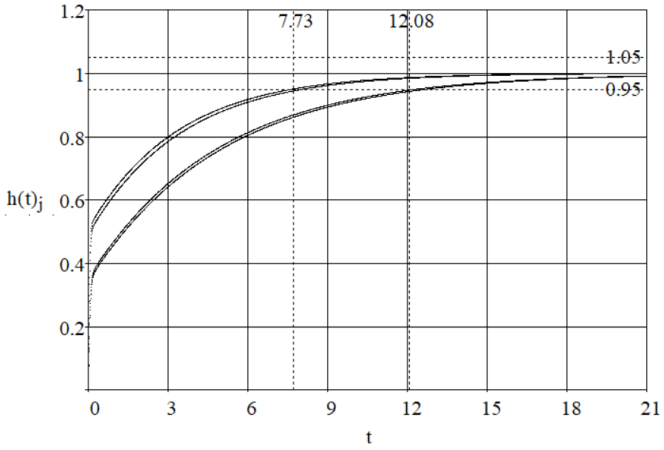


Рис. 6. Переходные характеристики с синтезированным ПИД-регулятором

Из рис. 6 видно, что переходный процесс апериодический, время переходных процессов составляет 7.73 и 12.08 секунд, перерегулирование отсутствует. Следовательно, синтез ПИД-регулятора прошел успешно и соответствует всем заданным требованиям.

Заключение

Синтезированная система для теплового объекта с интервальными параметрами имеет следующие показатели качества: монотонный и апериодический переходный процесс без перерегулирования при степени устойчивости равной 0.2, время переходного процесса в интервале от 7.73 до 12.08 секунд. Данная система обладает свойством робастности относительно неопределенных параметров.

Список использованной литературы

1. Голдобин Ю.М., Павлюк Е.Ю. Автоматизация теплоэнергетических установок : Учебное пособие. – Екатеринбург : УрФУ, 2017.
2. Дилигенская А.Н., Самокин А.В. Параметрическая идентификация в обратных задачах теплопроводности в условиях интервальной неопределенности на основе нейронных сетей. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2020.
3. Рапопорт Э.Я., Левин И.С. Структурно-параметрический синтез оптимальных по быстродействию систем управления с распределенными параметрами в условиях интервальной неопределенности характеристик объекта. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2015.
4. Бакластов А.М., Бродянский В.М., Голубев Б.П. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника : Справочник. – Москва, 1983.
5. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем : Учебное пособие. – Томск : Томский политехнический университет, 2011.
6. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов : Учебное пособие. – Томск : Томский политехнический университет, 2007.
7. Инструкции по монтажу, эксплуатации и техническому обслуживанию горелки на мазуте Riello 40 N10.
8. Липин А.Г. Тепловые процессы : Учебное пособие / А.Г. Липин, А.А. Липин, Ю.Е. Романенко, А.В. Шибашов. – Иваново : Ивановский гос. хим.-технол. ун-т, 2018. – 79 с.
9. Бухмиров В.В. Тепломассообмен : Учебное пособие. – Иваново : Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2014.
10. Хожаев И.В. Синтез адаптивного и робастного регуляторов для модального двухрежимного управления движением необитаемого подводного аппарата: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 2.3.1: дис. – 2023.
11. Хожаев И.В. Размещение вещественного интервального доминирующего полюса САУ с интервальными параметрами методом деления полиномов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 9-13 ноября 2015 г. Т. 1.– Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – С. 229-230.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА КРОСС-500

Трубников Г.К[1]., Скороспешкин М.В.[2]
Научный руководитель: Скороспешкин М.В.[2]
[1]ТПУ, ИШИТР, 8Т11, e-mail: gkt2@tpu.ru
[2]ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент (ОАР, ИШИТР), e-mail: smax@tpu.ru

Аннотация

Разработан лабораторный стенд для получения студентами практических навыков работы с современными промышленными техническими средствами автоматизации и программными пакетами на примере системы контроля давления, реализованной на базе датчика Метран 100 и контроллера КРОСС-500. Описаны аппаратная структура, программное обеспечение, разработанное в соответствующих среде программирования и SCADA платформе, а также приводятся функциональные возможности стенда.

Ключевые слова: лабораторный стенд, система контроля давления, ПЛК, SCADA.

Введение

Современные системы автоматизации требуют от выпускников технических вузов не только теоретических знаний, но и практических навыков работы с техническим и программным обеспечением АСУТП. Однако, как показывает анализ литературы, в настоящее время отсутствуют коммерческие предложения по учебным лабораторным стендам, которые бы совмещали в себе аппаратные и программные компоненты современных промышленных систем автоматизации. Большинство предлагаемых стендов либо узкоспециализированы, либо имеют высокую стоимость, что делает их недоступными для многих образовательных учреждений.

Проблема заключается в том, что студенты, обучающиеся по специальности 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», не имеют возможности работы на многофункциональных лабораторных стендах, которые позволили бы им приобрести практические навыки работы с промышленным оборудованием и программными продуктами, используемыми при разработке автоматизированных систем управления. Это ограничивает их возможности для полноценного освоения современных технологий автоматизации.

Целью данной работы является разработка многофункционального лабораторного стенда для изучения системы автоматического контроля давления, который обеспечит студентам возможность получения практических навыков работы с современными промышленными средствами автоматизации, включая контроллер КРОСС-500, датчик давления Метран 100, OPC-сервер, а также освоение широко используемых в России и за рубежом среды программирования и SCADA платформы.

Основная часть

Разработанный лабораторный стенд, предназначенный для изучения и практического освоения технического и программного обеспечения систем автоматизации технологических процессов, представляет собой сложное устройство, выполненное на промышленном контроллере КРОСС-500 и промышленном датчике давления. Структурная схема стенда представлена на рисунке 1 и включает в себя средства, обеспечивающие контроль и сигнализацию давления.

Основой стенда являются персональный компьютер (ПК) и промышленный контроллер КРОСС-500. Компьютер используется для программирования ПЛК, визуализации данных и регистрации давления. Связь между компьютером и ПЛК осуществляется посредством сети Ethernet, обеспечивающей обмен данными в режиме реального времени. Для организации локальной сети между компьютером и ПЛК применяется сетевой концентратор (HUB).

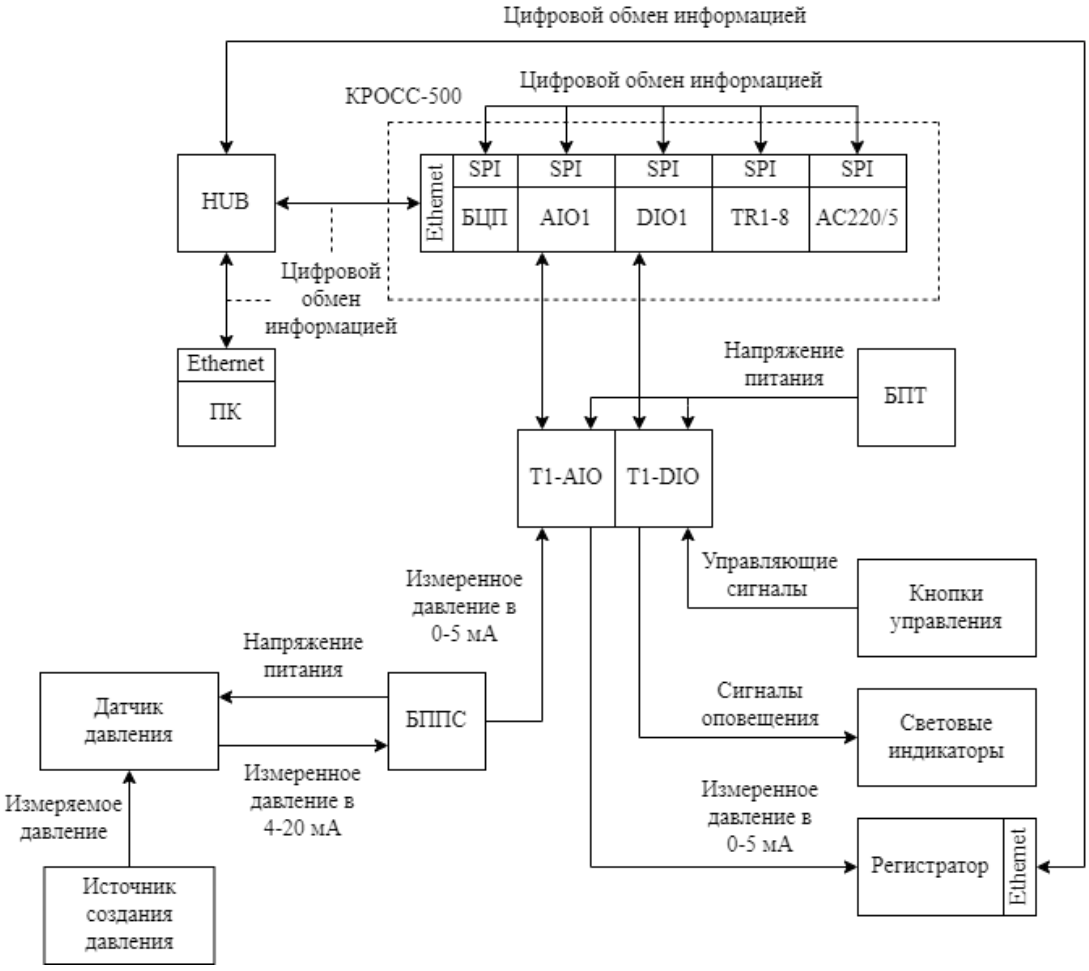


Рис. 1. Структурная схема лабораторного стенда

Центральным блоком ПЛК является блок центрального процессора (БЦП), выполняющий функции обработки данных и выполнения программы. Для взаимодействия с внешними устройствами, такими как датчик давления, световые индикаторы и кнопки, используются модули ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов. Модуль аналогового ввода/вывода (AIO1) предназначен для приема и передачи аналоговых сигналов. Терминальный блок модуля ввода/вывода аналоговых сигналов (T1-AIO) обеспечивает подключение аналоговых датчиков и исполнительных устройств к модулю AIO1.

Для работы с дискретными сигналами, поступающими от кнопок управления и сигналами управления световыми индикаторами, предусмотрен модуль дискретного ввода/вывода (DIO1). Подключение дискретных устройств к этому модулю обеспечивается терминальным блоком модуля ввода/вывода дискретных сигналов (T1-DIO). Специальный модуль ввода сигналов термопреобразователей сопротивления (TR1-8) служит для подключения термопреобразователей температуры.

Питание ПЛК осуществляется от блока питания (AC220/5), преобразующего напряжения 220V в 5V, а питания модулей ПЛК происходит через интерфейс связи SPI. Питание терминальных блоков (T1-AIO и T1-DIO) обеспечивается отдельным блоком питания (БПТ). Преобразование сигнала, поступающего от датчика давления, в диапазон, необходимый для обработки контроллером, выполняется блоком питания и преобразования сигнала датчика давления (БППС).

Давление в системе создается вручную с помощью ручного пневматического насоса Н-2,5, а его измерение производится с использованием датчика давления Метран 100, передающего сигнал на модуль AIO1.

После разработки структурной схемы выполнена компоновка и монтаж элементов на каркасе стенда. Проверена работоспособность стенда и удобство его использования.

Программирование контроллера КРОСС-500 осуществляется с помощью программного пакета среды программирования. На рисунке 2 представлена программа, реализованная на языке FBD и обеспечивающая ввод сигнала от датчика давления, фильтрацию сигнала, проверку достоверности информации по скорости изменения сигнала и возможным верхним и нижним значениям измеряемого давления. А также сравнение текущего значения давления с нижними и верхними порогами сигнализации и вывода дискретных сигналов на световые индикаторы.

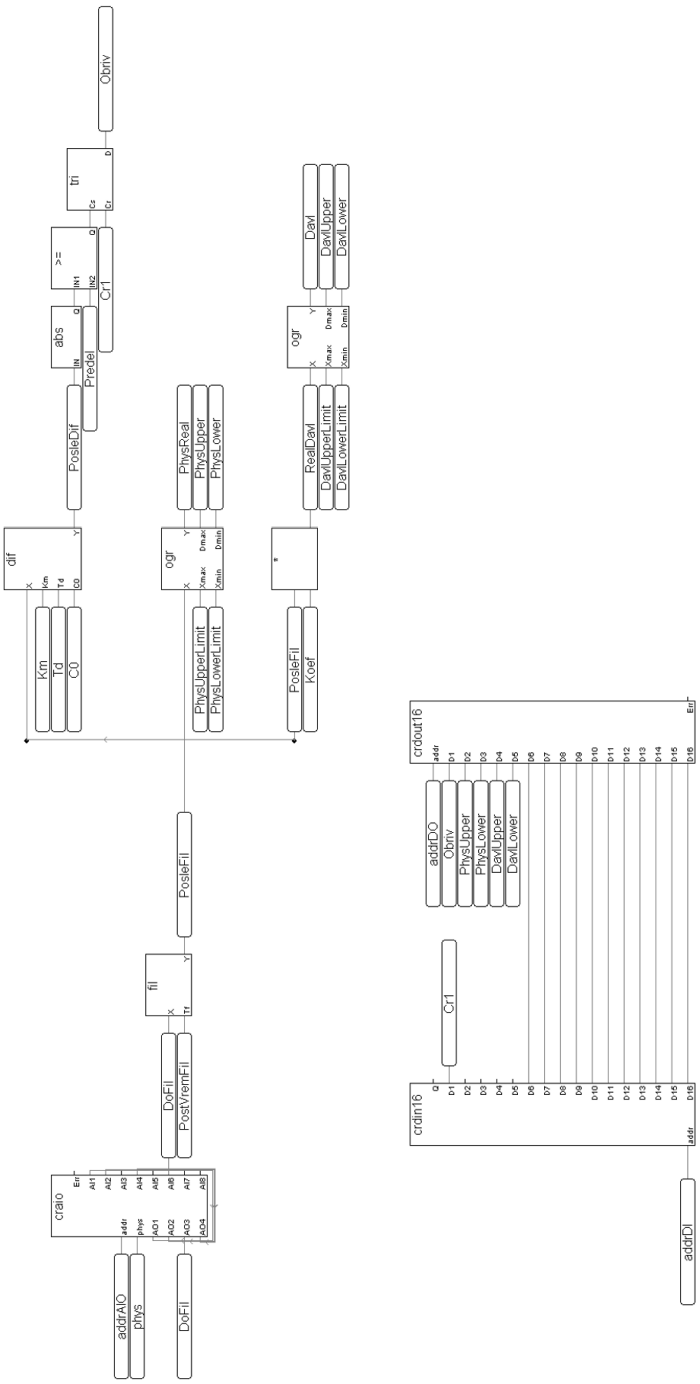


Рис. 2. Общий вид программы

Описанная выше программа разработана с применением следующих конструкций и функциональных блоков.

1. Аналоговый ввод-вывод сигналов

Для работы с аналоговыми модулями используется функциональный блок алгоритма аналогового ввода-вывода (crAIO). Его назначение состоит в вводе сигнала, поступающего от датчика давления, и преобразования в физические единицы. Входными параметрами являются адрес модуля (addr) и признак преобразования в физическую величину (phys). Выходными параметрами являются аналоговые входы (AI), код ошибки (Err) и значения аналоговых выходов (AO).

2. Фильтрация сигналов

После ввода сигнала он поступает на фильтр нижних частот первого порядка (fil), который устраняет высокочастотные помехи. Передаточная функция фильтра соответствует апериодическому звену первого порядка. Настройка фильтра осуществляется заданием постоянной времени (Tf).

3. Проверка достоверности информации по скорости изменения давления

Для обнаружения скорости изменений давления используется дифференциальное звено (dif). Выходной сигнал с данного звена через блок абсолютного значения (abs) подается на логический блок, где сравнивается с пороговым значением. При превышении порогового значения срабатывает триггер (tri), фиксирующий сигнал об обрыве линии.

4. Проверка достоверности информации по возможным пределам изменения давления

В этом случае контроль достоверности сигнала осуществляется с помощью блока ограничения (ogr), который проверяет входит ли текущее значение сигнала в диапазон значений между верхней и нижней границами. Если сигнал не выходит в этот диапазон то формируются соответствующие дискретные сигналы (Dmax, Dmin) указывающие на недостоверность информации.

5. Сигнализация отклонения давления от заданного

Сигнал, соответствующий текущему значению давления, поступает в блок ограничения (ogr), где происходит сравнение фактического давления с заданными порогами сигнализации. При выходе за допустимые пороги генерируются аварийные сигналы.

6. Дискретный ввод-вывод

Управление устройствами световой сигнализации осуществляется с использованием блоков дискретного ввода (crdin16) и дискретного вывода (crdout16).

Программа визуализации процесса контроля и сигнализации давления реализована на базе программного пакета SCADA платформы. На рисунке 3 представлено дерево системы и дерево проекта.

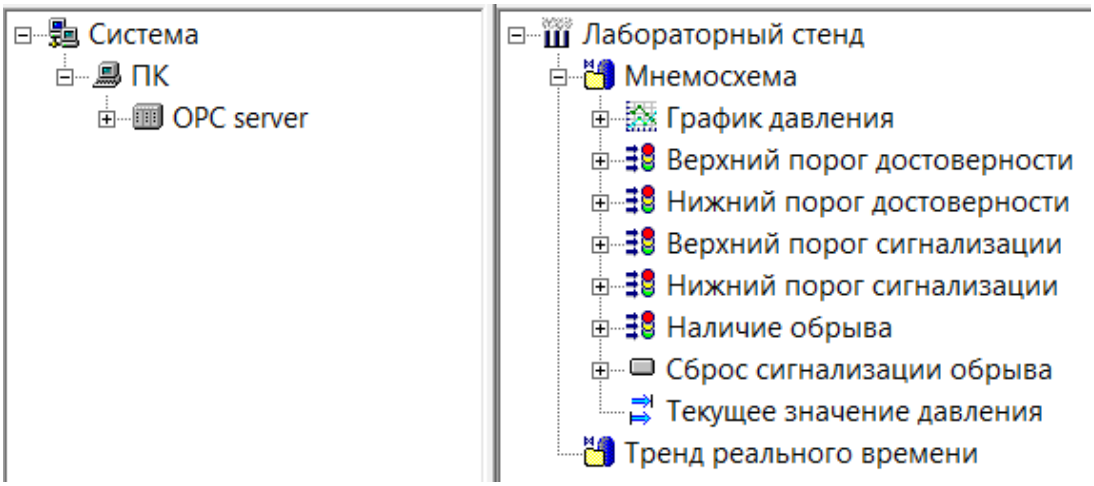


Рис. 3. Дерево проекта и дерево системы

Для визуализации процесса контроля и сигнализации используются следующие экранные формы.

1. График

График представляет собой визуальный функциональный блок, используемый для отображения значений переменных в мнемосхеме. Блок относится к категории «Датчик» и поддерживает настраиваемое количество входов, каждое из которых связано с параметром графика. На мнемосхеме с помощью графика отображаются реальное значение измеряемого давления.

2. Индикатор состояния

Индикатор состояния представляет собой визуальный элемент для отображения текущего состояния системы через цветовую индикацию. У него несколько логических входов, каждый связан с определённым цветом, который активируется при изменении состояния входа с «0» на «1», что позволяет оперативно отслеживать изменения в системе.

На мнемосхемах индикатор применяется для контроля двух условий: наличия ошибок при проверке достоверности информации по скорости изменения давления и выхода давления за допустимые границы. Зелёный цвет сигнализирует о нормальном состоянии, а красный о недостоверности информации по давлению, либо выход за установленные пределы.

3. Кнопка

Кнопка используется для управления дискретными переменными непосредственно из мнемосхемы.

На мнемосхеме кнопки выполняют два действия: переключение индикатора обрыва из аварийного режима в нормальный и переход на форму тренда.

4. Тренд

Тренд предназначен для отображения графиков изменения технологических данных во времени. В системе SCADA платформы предусмотрена возможность одновременного просмотра архивных данных (исторический тренд) и текущих данных (тренд реального времени) на одном графике.

На мнемосхеме тренды отображают изменение величины давления во времени. Сам тренд вынесен в отдельную вкладку, доступную по нажатию кнопки «Тренд».

На рисунке 4 представлена мнемосхема системы контроля давления.

Экранные формы, приведенные на данной мнемосхеме, позволяют контролировать текущее значение давления, достоверность сигнала с датчика, а также сигнализировать превышения им заданной уставки. Наличие тренда реального времени обеспечивает реализацию функции архивирования информации.

Используемые в составе лабораторного стенда компьютер и контроллер находятся в составе локальной сети Ethernet лаборатории «Цифровые системы управления технологическими процессами». Для работы лабораторного стенда в режиме реального времени используется OPC-сервер.

Результаты

Результатом работы являются многофункциональный лабораторный стенд, программное обеспечение и методические указания по выполнению лабораторных работ на данном стенде по курсу «Автоматизированные информационно-управляющие системы». Программа, составленная в ПП среды программирования, используется для программирования контроллера КРОСС-500, а программа разработанная в ПП SCADA платформы используется для визуализации и управления процессом. При выполнении лабораторных работ студентами предусмотрена также разработка собственного прикладного программного обеспечения контроллера и компьютера. Это программное обеспечение включает реализацию заданных функций контроля, настройку функциональных блоков, разработку собственных мнемосхем, настройку OPC-сервера для обмена данными и реализацию функций архивирования данных.

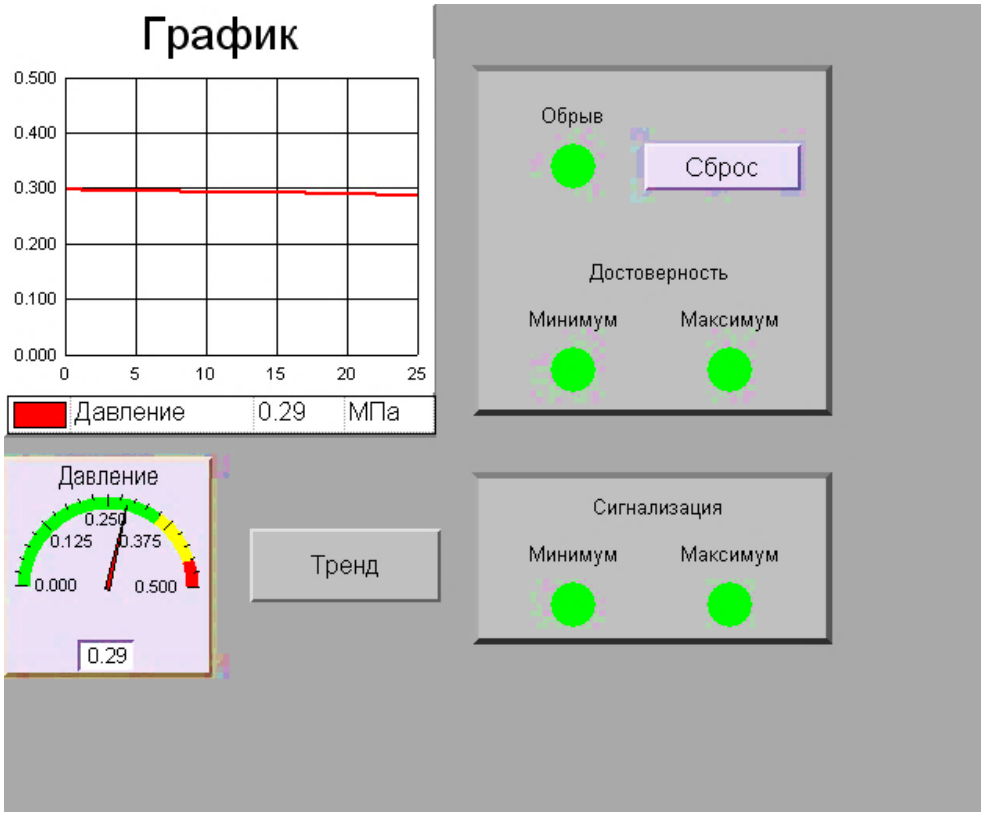


Рис. 4. Мнемосхема в рабочем состоянии

Функциональными возможностями стенда являются следующие.

1. Измерение и контроль давления. Давление измеряется с помощью датчика Метран 100, давление создается вручную насосом Н-2,5.
2. Фильтрация сигнала и проверка достоверности информации по давлению.
3. Сигнализация отклонений давления от заданных порогов.
4. Разработка информационно-управляющих систем на базе ПЛК КРОСС-500 на языках FBD, ST, LD, IL в среде программирования.
5. Мониторинг давления на базе ПП в SCADA платформе.
6. Архивирование необходимой информации.
7. Обмен данными между ПК и контроллером в реальном времени через OPC-сервер.

Студенты, работающие на данном лабораторном стенде, приобретают следующие знания и умения.

1. Знание архитектуры и принципов работы промышленных контроллеров (КРОСС-500).
2. Умение программировать контроллеры на языке языках FBD, ST, LD, IL в среде программирования.
2. Знание методов проверки достоверности сигналов.
8. Навыки реализации функций первичной обработки информации обработки информации на базе библиотеки функциональных блоков контроллера КРОСС-500.
9. Навыки разработки мнемосхем и визуализации данных в SCADA платформе.
10. Умение работать с OPC-сервером для обмена данными.
11. Навыки анализа данных в реальном времени и работы с трендами.

Заключение

Разработанный лабораторный стенд на базе контроллера КРОСС-500 является эффективным инструментом для обучения студентов автоматизации технологических

процессов. Он объединяет аппаратные и программные компоненты современных систем автоматизации. Интеграция контроллера с OPC-сервером и SCADA-системой позволяет реализовывать реальные системы автоматизации, включая контроль давления, настройку уставок и анализ данных в реальном времени.

Функциональные возможности стенда охватывает фильтрацию сигналов, проверку их достоверности, визуализацию состояния системы и архивирование данных, что способствует освоению теории и практики автоматизации. Студенты приобретают навыки программирования контроллеров, разработки мнемосхем, настройки OPC-сервера, анализа трендов, а также понимание архитектуры контроллеров и работы с сигналами, формируя компетенции для решения задач автоматизации. Стенд сокращает дефицит учебных решений, совмещающих аппаратные и программные компоненты, и повышает качество подготовки специалистов.

Список использованной литературы

1. Лабораторный стенд «Датчики давления» // ЭнергияЛаб [Электронный ресурс]. – URL: vrnlab.ru/catalog_item/laboratornyy-stend-datchiki-davleniya/ (дата обращения: 20.03.2025).

2. Лабораторный стенд «Датчики давления» // ПромКонцерн [Электронный ресурс]. – URL: promconcern.ru/catalog/izmerenie-davleniya-raskhoda-temperatury-i-urovnya/stend-datchiki-davleniya/?ysclid=m8ves1cg7x608720674 (дата обращения: 20.03.2025).

3. Лабораторный стенд «Промышленные датчики давления», исполнение стендовое компью-терное (ПДД-СК) // ДЕНАР [Электронный ресурс]. – URL: denar-prof.ru/products/941 (дата обращения: 20.03.2025).

4. Промышленные датчики давления. ПДД-СК // ЛАБСИС [Электронный ресурс]. – URL: labsys.ru/product/avtomatizatsiya/promyshlennye-datchiki/promyshlennye-datchiki-davleniya-pdd-sk/ (дата обращения: 20.03.2025).

5. Типовой комплект учебного оборудования «Промышленные датчики температуры», ис-полнение стендовое компьютерное, ПДТ-СК // Учтех-Профи [Электронный ресурс]. – URL: labstand.ru/catalog/izmerenie-rashoda-davleniya-temperatury/tipovoj-komplekt-uchebnogo-oborudovaniya-promyshlennye-datchiki-temperatury-ispolnenie-stendovoe-kompyuternoe-pdt-sk-3 (дата обращения: 20.03.2025).

6. Метрологические стенды с автоматизированным созданием давления // Альфапаскаль [Электронный ресурс]. – URL: alfapascal.ru/products/stands (дата обращения: 20.03.2025).

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СБОРОЧНОЙ СТАНЦИЕЙ

Лю Биньци
Научный руководитель: Цавнин А.В.
Томский политехнический университет, ИШИТР, бакалавр, гр. 158Т12, e-mail: lb08@tpu.ru
Томский политехнический университет, к.т.н., доцент отделения автоматизации и робототехники, e-mail: avc14@tpu.ru

Аннотация

В данный работе представлен процесс разработки автоматизированной системы управления виртуальным сборочным станком. В работе описан общий принцип функционирования технологического процесса, составлен алгоритм в форме блок-схемы. Представлен процесс реализации разработанного алгоритма управления для ПЛК на языке релейно-контактной логики (LD). В разработанной программе реализовано логическое управления сборочной линией, включающей управление аналоговыми и дискретными исполнительными механизмами, а также опрос датчиков. Продемонстрирована общая работоспособность системы.

Ключевые слова: сборочная линия, программируемый логический контроллер, автоматизированная система управления сборкой, язык LD, алгоритм управления.

Введение

Программирование промышленных систем автоматизации является ключевым аспектом современного производства, позволяющим повысить эффективность и точность управления технологическими процессами. Одной из важных задач в этой области является разработка логики управления для сложных сценариев, таких сборочная линии. Сегодня в России и в мире реализация систем управления осуществляется на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) на специализированных языках программирования, определяемых стандартом IEC61131 [1].

Безусловно, перед непосредственной апробацией алгоритмов управления на технологическом оборудовании, где стоимость ошибки будет существенной, необходимо произвести апробацию на виртуальном объекте, который бы отражал все необходимые характеристики реального оборудования и позволило бы проводить апробацию решений перед пусконаладочными работами.

Актуальность данной работы заключается в создании программного решения на базе существующих инструментов и его апробация в контролируемых условиях [2–4].1 В данной статье предлагается решение, объединяющее программное обеспечение для ПЛК, разработанное на языке LD и интеграцию системы аналоговой обработки сигналов для обеспечения высокой степени автоматизации и контроля.

Целью данной работы является разработка системы управления сборочной станцией на базе ПЛК и сценариев в программном обеспечении разработки и моделирования, которая может продемонстрировать эффективность предлагаемого подхода в условиях, приближенных к реальным промышленным процессам.

Описание проекта

Виртуальная сборочная линия – это сцена, имитирующая реальный процесс сборки. Она содержит следующие основные компоненты:

- конвейерные лента, которая используется для транспортировки деталей для сборки.
- датчики, определяющие положение и тип детали.
- малогабаритный двухстепенной робот для перемещения и соединения деталей.

Общий вид технологического процесса представлен на рисунке 1.

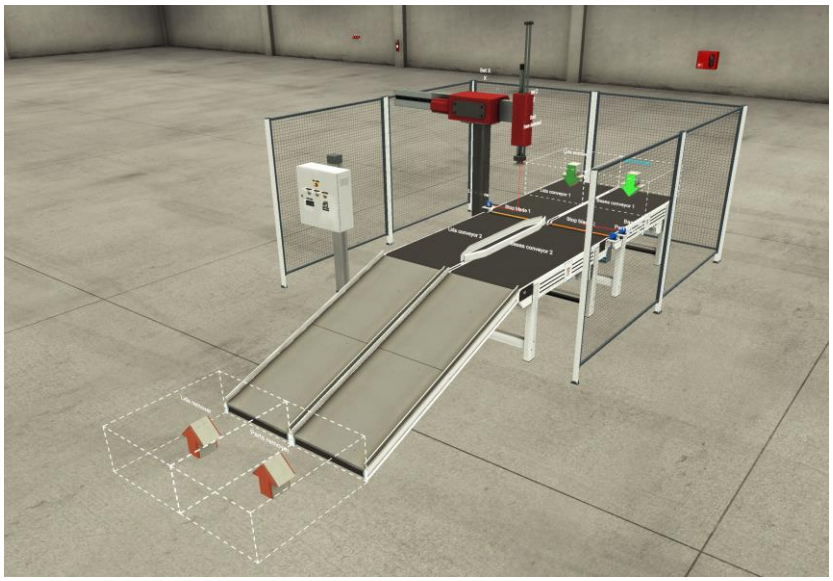


Рис. 1. Виртуальная сборочная линия

Блок-схема алгоритма проектирования

Для описания алгоритма работы системы управления сборочной линией составим словесное описание, а также блок-схему.

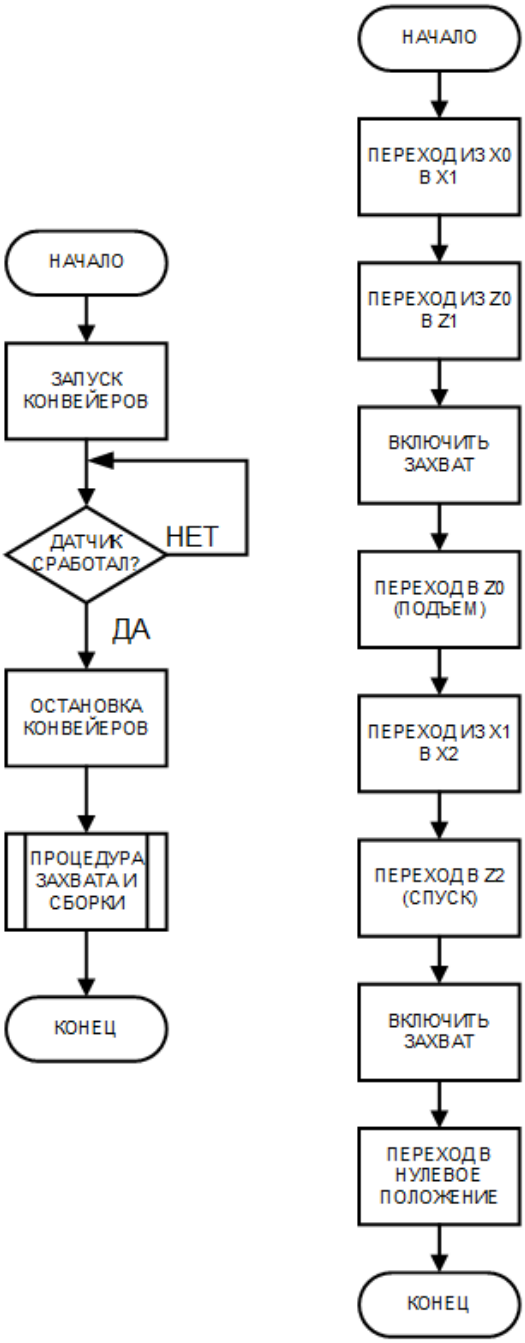
Весь рабочий процесс сборочной станции теперь разделен на две части:

- Процесс захвата и опускания деталей робототехническим двухстепенными захватом;
- Процесс работы и остановки конвейерной ленты.

Соответственно, более детальное описание процесса можно описать следующим образом. Ленточный конвейер, который приводится в движение электродвигателем, который управляется дискретными сигналами (сигналами пуска/остановки). Конвейерная лента транспортирует детали из исходного положения в положение захвата робота. В процессе транспортировки датчики определяют положение деталей в режиме реального времени, чтобы гарантировать, точность сборки.

Когда деталь проходит по конвейеру и достигает указанного места, фотоэлектрический датчик определяет наличие детали. Перекрытие фотоэлектрического датчика деталью приводит к срабатыванию и активации дискретного сигнала, который останавливает конвейерную ленту, чтобы гарантировать остановку деталей в правильном положении, а также приводит робот в движение и приводит его к первой детали (X1, Z1). Как только робот пришел в требуемое положение – происходит активация захватного механизма, которым в данной задаче выступает вакуумный захват. Далее, робот перемещает захваченную деталь на параллельный конвейер, где располагается ответная часть детали для сборки (X2, Z2). Робот размещает установку захваченной детали в пазы ответной части и после завершения размещения робот возвращается в исходное положение (X0, Z0) и ждет следующего задания по захвату. Соединенные детали по конвейеру отправляются далее в накопитель. Конвейерные детали доставляют новые детали и процесс повторяется.

Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 2.



А) *Б)*

Рис. 2. Блок-схема алгоритма:
А– процесс работы и остановки конвейерной ленты,
Б – процесс захвата и опускания деталей роботом

Результаты и обсуждение

Далее, после разработки алгоритма, представленного в виде блок-схемы, был реализован в программном виде на языке LD в среде разработки прикладного программного обеспечения для ПЛК. Установка соединения между программным обеспечением для программирования и программным обеспечением для моделирования была осуществлена через Modbus TCP чтобы скомпилированная программа могла управлять работой каждой части сцены 4. Скриншоты работающей программы приведены на рисунке 3.

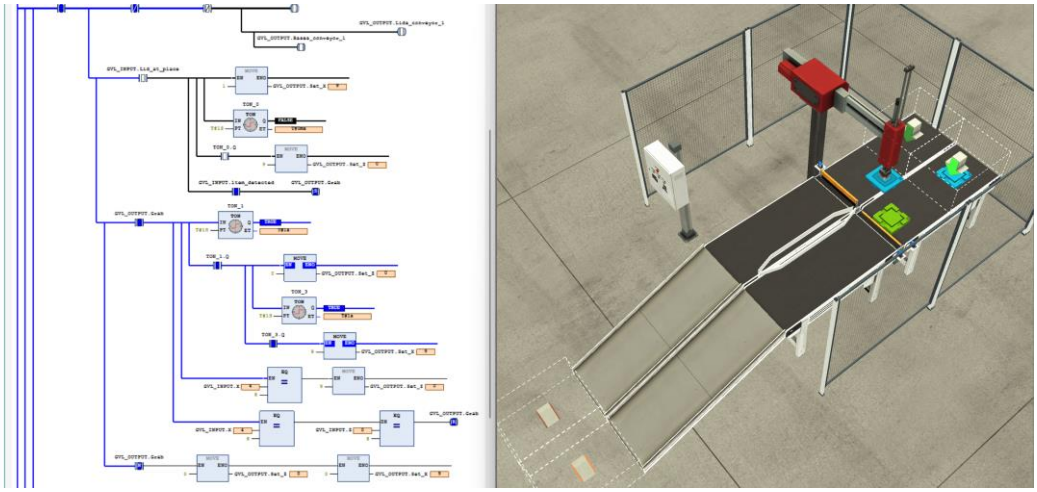


Рис. 3. Функционирующая система управления

Заключение

В ходе данной работы была успешно реализована разработка системы управления сборочной линией. В рамках работы было представлено описание системы и алгоритм управления в форме блок-схемы, который далее был имплементирован в программной форме на языке LD. С помощью коммуникационного протокола Modbus TCP было установлено соединение между средой разработки для ПЛК и программной средой виртуального объекта управления и далее проведена тестовая апробация.

Список использованных источников

1. IEC 61131-3:2013 Programmable controllers – Part 3: Programming languages. – Geneva : International Electrotechnical Commission, 2013. – 232 p.
2. Bolton W. Mechatronics: Electronic control systems in mechanical and electrical engineering: textbook / W. Bolton. – 7th ed. – Harlow : Pearson, 2015. – 584 p.
3. Lee J. *Cyber-physical systems in manufacturing* / J. Lee, B. Bagheri // CIRP Annals. – 2015. – Vol. 64, No. 2. – P. 637-660
4. Fraden J. Handbook of modern sensors: Physics, designs, and applications : reference book / J. Fraden. – 5th ed. – New York : Springer, 2016. – 758 p.
5. Modbus Organization. (2006). *MODBUS Application Protocol Specification v1.1b*.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Уфимцев А.В.[1], Павленко П.В.[2], Макаров Д.С.[3] Филипас А.А.[4]
[1] Студент гр. 8Т11, e-mail: avu34@tpu.ru
[2] Студент гр. 8Т12, e-mail: pvp19@tpu.ru
[3] Студент гр. 8Т11, e-mail: dsm36@tpu.ru
[4] Зав. Отделением автоматизации и робототехники, e-mail: filipas@tpu.ru
Томский политехнический университет,
Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Аннотация

В работе рассмотрена автоматизированная универсальная гидравлическая установка, способная выполнять широкий спектр гидравлических операций с высокой точностью и эффективностью. Рассмотрены основные конструктивные особенности установки, включая три независимых каскада регулирования давления и утечки на участке трубопровода, математическую модель управления и компоненты гидросистемы. Подробно описан процесс построения математической модели, смоделирована работа помповых насосов по перекачке рабочей жидкости через систему трубопроводов разработанной установки. Обоснована возможность применения универсальной гидравлической установки для решения различных задач в нефтегазовой области, основываясь на принципах физического подобия.

Ключевые слова: математическая модель, переходная характеристика, физическое подобие, гидравлическая установка.

Введение

Представленная в работе универсальная гидравлическая установка. Гидравлические системы широко используются в промышленности, особенно в нефтегазовой сфере, но часто имеют узкую специализацию. Это ограничивает их применение и увеличивает затраты. В связи с этим, разработка универсальной гидравлической установки, способной адаптироваться к различным задачам, является актуальной. Цель данной научной работы – разработка и анализ автоматизированной универсальной гидравлической установки с тремя независимыми каскадами регулирования давления и утечки, обеспечивающей высокую точность и эффективность. В рамках исследования будут рассмотрены: конструктивные особенности установки, математическая модель управления насосами, а также возможность моделирования широкого спектра технологических процессов нефтегазовой отрасли: моделирование колебаний давления высокой и низкой частоты, наведение демпфирующего давления, имитация регулируемой утечки резервуара, ламинарное и турбулентное движение потоков рабочей жидкости.

Описание функционирование установки

Именно на базе физических законов гидравлики, таких как, уравнение Бернулли, основное уравнение гидростатики, гидростатический парадокс, закон Паскаля, уравнение неразрывного потока реализуются эксперименты в системе трубопроводов. Что обуславливает расположение основных элементов и компонентного оснащения установки в три уровня по вертикали. Так под столом установки расположен бак первично приема рабочей жидкости, откуда посредством насосов, находящихся на втором уровне, так же называемом основным каналом проведения эксперимента, перекачивается по замкнутой системе трубопроводов установки. Центральным элементом уровня пусконаладки является основной трубопровод системы, оснащенный 3 комплектами элементов, включающих в себя датчик давления, датчик расхода жидкости, преобразователь давления, электромагнитный клапан. Каждый из таких комплектов позволяет сформировать независимый каскад управления гидроаккумулятором –

резервуаром хранения жидкости, который расположен на 3 уровне установки. Независимость управления достигается путем регулирования проходного сечения клапана основного трубопровода системы, а также клапана трубопровода регулируемой утечки из гидроаккумулятора, самостоятельно и отдельно для каждого гидроаккумулятора. Трёхмерная модель установки изображена на рис.1.

Рис. 1. Универсальная гидравлическая установка

Математическая модель установки

В специализированном отечественном программном обеспечении было выполнено математическое моделирование системы управления работой автоматизированной установки гидродинамических процессов высоких порядков. Состоит из нескольких основных математических блоков, некоторые из которых также имеют несколько математических моделей внутри себя. Структурная схема математической модели гидравлической части установки представлена на рис.2.

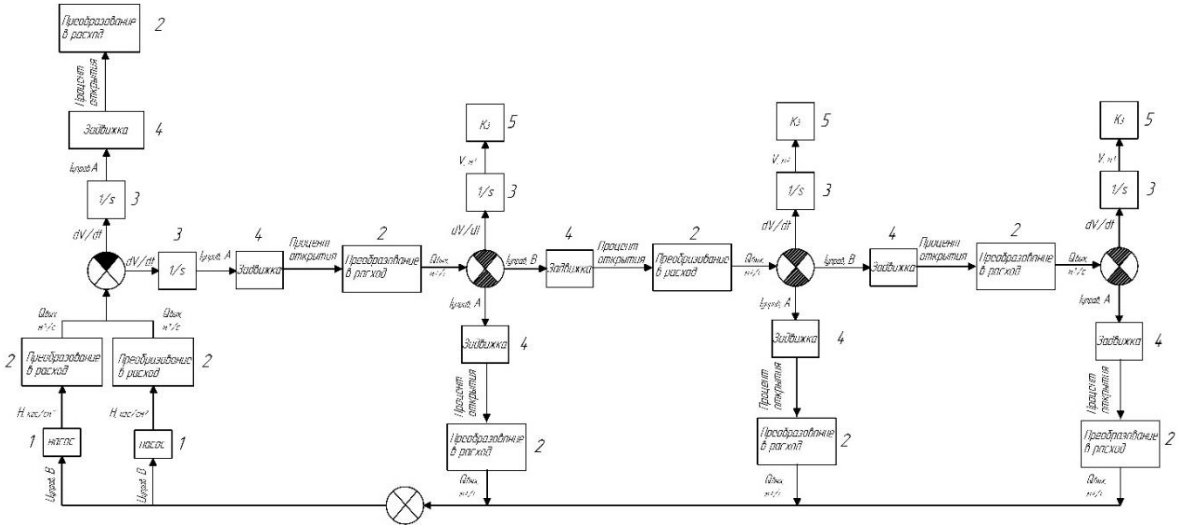


Рис. 2. Структурная схема математической модели универсальной гидравлической установки

Представленная схема состоит из следующих блоков:

1. Блок 1 – Помповый насос.

2. Блок 2 – Датчик расхода, отвечающий за преобразование степени открытия собственной задвижки электромагнитного клапана в соответствующее значение объемного расхода рабочей жидкости на выходе задвижки.

3. Блок 3 – Интегратор.

Блок интегратора в разработанной математической модели выполняет функцию накопления и отслеживания изменения объёма жидкости на исследуемом участке трубопровода во времени, на основе разницы значений объемного расхода жидкости между входящими и исходящими потоками. Применение такого подхода позволяет вычислить объём жидкости в системе в любой момент времени, на основе следующих уравнений (1), (2):

$$\frac{d}{dt}V(t) = Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вых}}(t), \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}V(t) = \int (Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вых}}(t))\, dt, \quad (2)$$

где $V(t)$ – объём среды в гидроаккумуляторе, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$.

$Q_{\text{вх}}(t)$ – жидкость, поступающая в гидроаккумулятор, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$.

$Q_{\text{вых}}(t)$ – регулируемая утечка жидкости из гидроаккумулятора, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$.

4. Блок 4 – Задвижка, модель которой представляет собой систему блоков, представленную на рисунке 5.1.2.

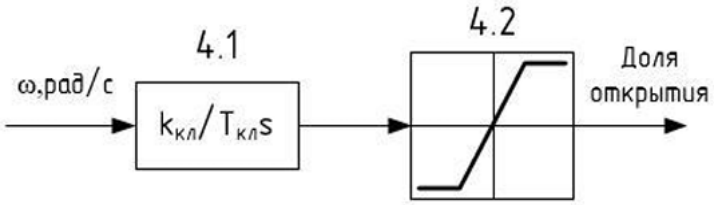


Рис. 3. Структурная схема задвижки (электромагнитного клапана)

Блок 4.1 – передаточная функция задвижки электромагнитного клапана, где = 0,0002 с^{-1}, такая величина обеспечивает полное открытие клапана за 16 секунд в автоматическом режиме, расход жидкости через проходное сечение клапана принято считать линейным [4].

Блок 4.2 – ограничительное звено, которое применяется в модели, так как доля открытия клапана является числом из диапазона от 0 до 100 процентов открытия.

Расход на выходе из проходного сечения электромагнитного клапана определяется на основе базовых законов гидродинамики.

5. Блок 5 – коэффициент преобразования объёма в уровень. Расход на выходе резервуара накопления рабочей жидкости, которым в гидравлической системе разработанной установки является гидроаккумулятор определяется по формуле:

$$Q_{\text{вых}}(t) = S * \sqrt{2g * h(t)}\,, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения;

h – высота столба жидкости в гидроаккумуляторе (уровень);

a – коэффициент открытия клапана в долях;

k – коэффициент пересчета доли открытия клапана в площадь сечения оттока, равный 0,0004 м^2, так как при диаметре проходного сечения спускного клапана 0,02 м (20 мм) в открытом состоянии, площадь полного сечения соответствует 0,0004 м^2;

Для детального анализа и моделирования сложной гидравлической системы, необходимо разделить её на отдельные, взаимодействующие подсистемы, каждую из которых можно описать с помощью своей математической модели. В рамках данного исследования, следует выделить несколько основных математических блоков, каждый из которых выполняет свою специфическую роль в общей модели.

По структурному строению разработанную математическую модель можно разделить на пять основных математических блоков:

1. Математическая модель помповых насосов.

2. Математическая модель гидроаккумулятора 1 участка.

3. Математическая модель гидроаккумулятора 2 участка.
4. Математическая модель гидроаккумулятора 3 участка.
5. Математическая модель регулируемых утечек.

Разделение системы на отдельные блоки позволяет упростить анализ, более точно моделировать поведение каждого элемента и исследовать их взаимное влияние.

Математические модели двух помповых насосов являются идентичными друг другу и представлены на рис.3.

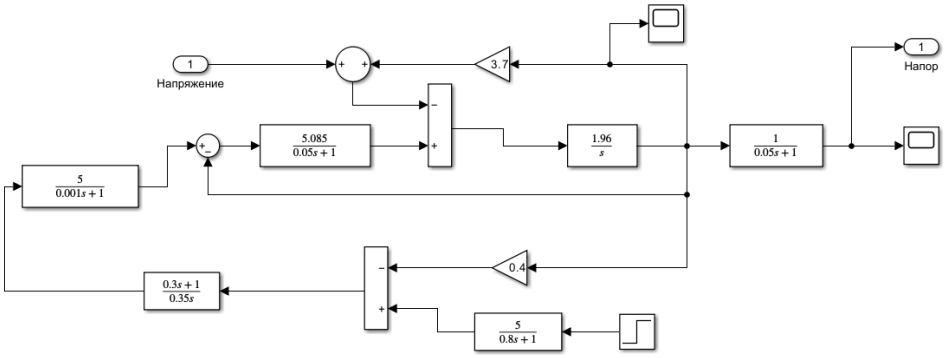


Рис.3. Математическая модель помпового насоса

Уставкой системы является постоянное значение, которое представляет заданное значение избыточного давления измененяемое в атмосферах, что по своей сути является задающим воздействием для представленной модели. Сумматор складывает или же вычитает входные сигналы в зависимости от собственного знака. В данной модели представлено два различных сумматора – один выполняет функцию сложения двух входных сигналов, второй вычитает второй вход из первого и выдает результат, тем самым происходит вычитание обратной связи для формирования сигнала ошибки управления.

Далее идет ряд передаточных функций первого порядка, моделирующий динамику процесса. В данных функциях в числителе представлен коэффициент усиления, определяющий насколько сильно выходной сигнал будет реагировать на изменение входного. Значение в знаменателе представляет собой оператор Лапласа s и постоянную времени. Постоянная времени, определяет скорость реакции системы, характеризует инерцию процесса. Устанавливается следующая зависимость: чем меньше значение постоянной времени, тем быстрее реагирует система.

Поочередно рассмотрим данные передаточные функции представленных блоков.

$$W(s) = \frac{5.085}{0.05s + 1} \tag{4}$$

Таким образом блок моделирует динамику двигателя насоса, например, реакцию на изменение управляющего сигнала. Коэффициент усиления определяет величину реакции, а постоянная времени – инерцию.

Передаточная функция, описываемая формулой 5 представляет собой интегратор – это модель механической инерции двигателя и его взаимодействия с жидкостью

$$W(s) = \frac{1.96}{s} \tag{5}$$

В формуле 6 представлена передаточная функция, которая моделирует инерцию насоса или его выходного контура, а именно, скорость изменения давления в системе.

$$W(s) = \frac{1}{0.05s + 1} \tag{6}$$

В формуле 7 описано преобразование сигнала скорости в физическую величину, необходимую для обратной связи, в нашем случае, давление. Малая значение постоянной времени показывает, что это преобразование происходит быстро.

$$W(s) = \frac{5}{0.001s + 1} \quad (7)$$

Передаточная функция 8 является ПИ-регулятором, который обеспечивает обратную связь для управления скоростью вращения двигателя.

$$W(s) = \frac{0.3s + 1}{0.35s} \quad (8)$$

Блок Step генерирует ступенчатое изменение сигнала, который используется как управляющее воздействие на систему.

Блок Gain – это коэффициент усиления, который определяет, насколько сильно выходной сигнал будет реагировать на изменение входного. В данной моделе его назначение усиливать сигнал для ПИ- регулятора.

Заключение

В рамках проведенного исследования была разработана и проанализирована автоматизированная универсальная гидравлическая установка, отличающаяся наличием трех независимых каскадов регулирования давления и утечки. Применённые технические решения обеспечивает высокую точность и эффективность выполнения широкого спектра гидравлических операций, что было подтверждено путем математического моделирования.

В процессе исследования была разработана математическая модель управления, а также смоделирована работа помповых насосов по перекачке рабочей жидкости через систему трубопроводов. Полученные результаты позволили обосновать возможность применения данной установки в нефтегазовой области, основываясь на принципах физического подобия.

Разработанная универсальная гидравлическая установка обладает потенциалом для снижения затрат и повышения эффективности в различных промышленных приложениях. Данная работа является часть цикла статей направленных на дальнейшее исследований в области гидравлических систем.

Список использованных источников

1. Уфимцев А.В. Установка физического подобия определения утечек на участке нефтепровода : сборник трудов VII Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы нефти и газа», 16-18 октября 2024 – Москва. – С. 96-100.

2. Уфимцев А.В., Филипас А.А. Разработка трёхуровневой системы автоматизации для управления технологическими процессами нефтегазовой отрасли материалы VI Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 7-8 ноября 2024 – Казань. – С. 528-534, Том № 1.

3. Федотов А.Д. Автоматизированный исследовательский стенд физического подобия трубопровода с имитацией утечек: бакалаврская работа / А.Д. Федотов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа информационных технологий и робототехники (ИШИТР), Отделение автоматизации и робототехники (ОАР) ; науч. рук. А.Г. Зебзеев. – Томск, 2022.

4. Кожевникова Н. Г. Гидравлика и гидравлические машины. Лабораторный практикум : учебное пособие / Н.Г. Кожевникова, А.В. Ещин, Н.А. Шевкун, А.В. Драный. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 352 с. (Лань : электронно-библиотечная система). – URL: e.lanbook.com/book/76272 (дата обращения: 29.01.2025).

5. Ваганов, А.Б. Применение методов вычислительной гидродинамики в курсах машиностроительной гидравлики / А.Б. Ваганов, И.Д. Краснокутский // Концепт. – 2015. – № 7. – С. 1-9. – Санкт-Петербург : Лань: электронно-библиотечная система. – URL: e.lanbook.com/journal/issue/297267 (дата обращения 28.02.2025)

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ»

Цалко М.А[1]., Скороспешкин М.В[2].
[1]НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8Т11, студент, e-mail: mac25@tpu.ru
[2]НИ ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОАР, e-mail: smax@tpu.ru,

Аннотация

В данной статье представлены описание и функциональные возможности разработанного лабораторного стенда, предназначенного для подготовки студентов в области АСУТП. Стенд выполнен на базе промышленного контроллера ОВЕН ПЛК200, датчика давления ЭЛЕМЕР-АИР-30, компрессора и предохранительного клапана. Стенд обеспечивает автоматический контроль и регулирование давления. Также представлено используемое для работы стенда алгоритмическое и программное обеспечение, разработанное в среде для программирования промышленных контроллеров и в программном пакете MasterSCADA.

Ключевые слова: лабораторный стенд, промышленный контроллер, MasterSCADA.

Введение

В связи с производством отечественными предприятиями новых технических средств автоматизации, в том числе промышленных контроллеров и измерительных преобразователей, проблемой в обучении студентов по специальности 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» является необходимость обновления лабораторного оборудования. Наличие многофункциональных лабораторных стендов, выполненных на базе современных средств автоматизации, позволяет получать практические навыки работы с техническими средствами и программными продуктами, используемыми при разработке АСУТП. Проведенный анализ литературы и существующего лабораторного оборудования [1-5], используемого в технических вузах России и предлагаемых коммерческими организациями, показывает, что большинство лабораторных стендов мониторинга и регулирования давления разрабатываются под узкоспециализированные задачи. Их архитектура, программное обеспечение и аппаратные компоненты адаптированы только для узкого круга задач и не позволяют при расширять функциональные возможности.

С другой стороны, наличие на рынке небольшого числа многофункциональных стендов, их стоимость является весьма значительной, что делает их недоступными для многих учебных заведений. Это создает необходимость разработки доступного по цене многофункционального стенда, использование которого в учебном процессе технического вуза позволяет получить практические навыки работы с современными промышленными продуктами и средствами контроллерного и диспетчерского уровней. В этой связи целью работы является разработка многофункционального лабораторного стенда на базе контроллера ОВЕН ПЛК200, обеспечивающего автоматический контроль и регулирование давления с возможностью дальнейшего расширения его функциональных возможностей.

Техническое, программное и методическое обеспечение лабораторного стенда

Стенд выполнен на базе современных промышленных технических средств автоматизации и обеспечивает автоматический контроль и регулирование давления.

Лабораторный стенд выполнен на базе промышленного контроллера ПЛК200 от компании ОВЕН, модулей МВ210-101, МУ210-502, МК210-311, обеспечивающих ввод-вывод аналоговых и дискретных сигналов, а также датчика давления ЭЛЕМЕР-АИР-30, предохранительного клапана и компрессора. В состав стенда входит также ручная пневматическая помпа П-0.25М и калибратор давления МЕТРАН 515. Структурная схема лабораторного стенда представлена на рисунке 1.

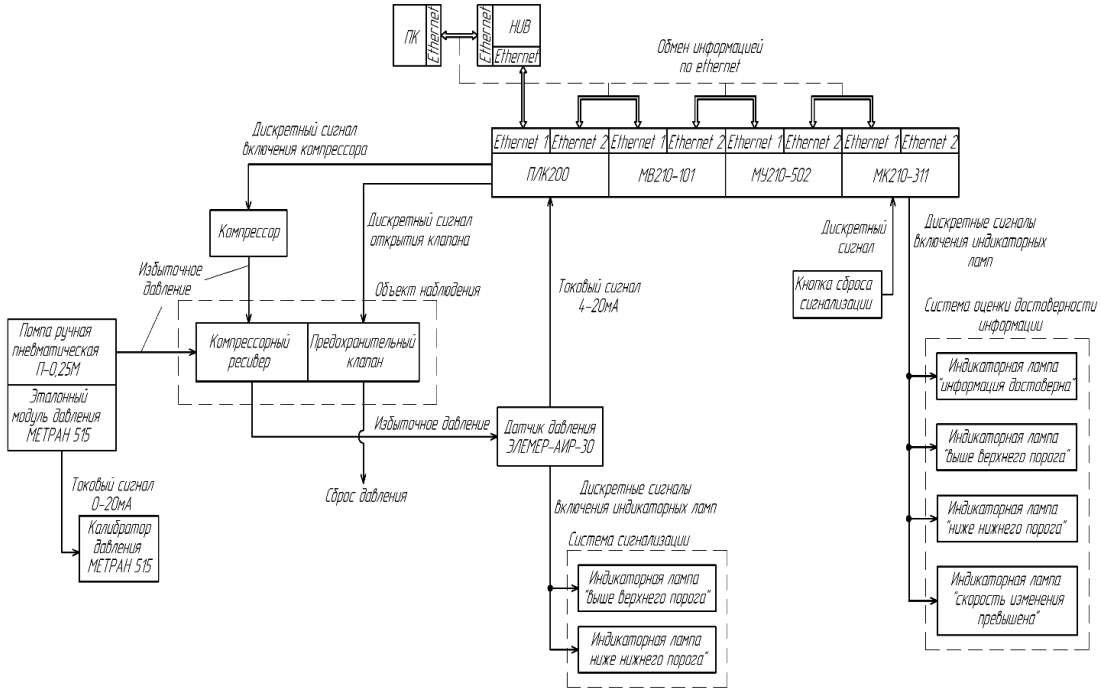


Рис. 1. Структурная схема лабораторного стенда

Контроллер и персональный компьютер, обеспечивающий разработку программного обеспечения контроллера и визуализацию систем контроля и регулирования, находятся в локальной сети лаборатории «Цифровые системы управления технологическими процессами». В состав сети лаборатории входят 15 персональных компьютеров. Обмен данными между компьютерами и ПЛК200 и модулями ввода-вывода производится на основе интерфейса Ethernet через сетевой концентратор (HUB). Такая реализация обеспечивает возможность работать с контроллером на всех компьютерах лаборатории, что позволяет выполнять лабораторные работы с использованием данного стенда фронтальным методом.

Сигнал, характеризующий текущее значение давления, созданное компрессором или ручной помпой, от датчика давления поступает в контроллер. После первичной обработки сигнала, поступившего от датчика давления, формируются управляющие воздействия систем позиционного регулирования и аварийной сигнализации.

ПЛК200 в системе представляет собой устройство для обработки сигнала датчика давления, его регистрации и в зависимости от величины давления выдачи управляющего воздействия на компрессор или предохранительный клапан, а также на индикаторные лампы сигнализации системы оценки достоверности информации. При активации аварийной сигнализации по верхней уставке открывается предохранительный клапан и сбрасывает давление до безопасного значения. При достижении нижнего порога системы позиционного регулирования компрессор включается и создает избыточное давление. При достижении верхнего порога системы регулирования компрессор отключается.

Система сигнализации давления реализована на основе релейных контактов датчика давления ЭЛЕМЕР-АИР-30 для демонстрации его расширенных функциональных возможностей. Промышленный датчик имеет жидкокристаллический индикатор и кнопки на панели, необходимые для его настройки. Для реализации системы сигнализации были выставлены верхние и нижние уставки сигнализации. Исходя из данных уставок, производилось замыкание и размыкание контактов, в результате чего сигнализирующие лампы сигнализации могли быть активированы и деактивированы.

Кроме того, система имеет метрологическое оборудование средств измерения давления: калибратор давления МЕТРАН 515, эталонный модуль давления МЕТРАН 515, помпа ручная пневматическая П-0,25М. Помпа в системе используется, как для создания избыточного

давления в компрессорном ресивере, так и для поверки и калибровки промышленного датчика давления через эталонный модуль давления и калибратора давления.

Программное обеспечение контроллера

Программирование контроллера ПЛК200 осуществляется в программном пакете для контроллеров ОВЕН на языке CFC (вариант языка FBD). Алгоритм программы содержит: ввод сигнала, соответствующего текущему значению давления, его фильтрацию, систему оценки достоверности информации по возможным нижним и верхним порогам, оценку достоверности по скорости изменения сигнала, систему регулирования давления и систему противоаварийной защиты. Программа контроллера представлена на рисунке № 2.

Рассмотрим алгоритм программы подробнее.

1. Ввод и фильтрация сигнала давления.

Входная переменная, характеризующая величину давления, имеет имя «pressure». После ввода сигнала осуществляется его фильтрация с помощью функционального блока «FILTER_I». Фильтрация необходима для подавления высокочастотных помех, возникающих при измерении.

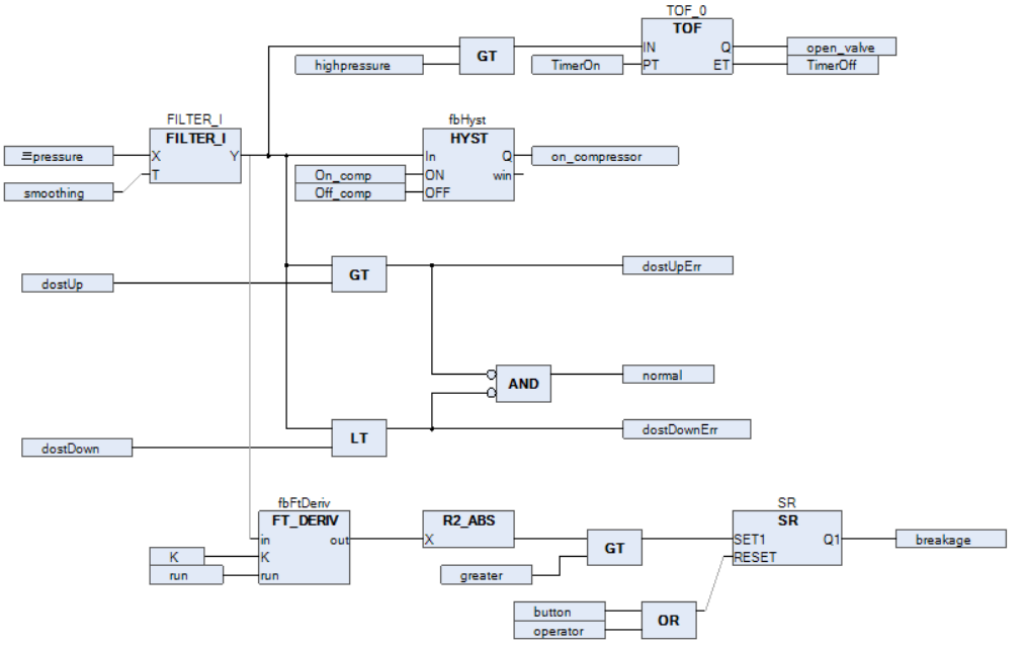


Рис. 2. Схема программы в программном пакете для контроллеров ОВЕН

2. Система оценки достоверности информации.

2.1. Оценка достоверности информации по порогам.

Оценка достоверности информации необходима для выявления полного отказа измерительного канала путем сравнения текущего значения давления с максимально и минимально возможными значениями. Оценка достоверности производится на основе функциональных блоков GT (первое значение больше второго) и LT (первое значением меньше второго), а также переменных «dostUP» (максимальное значение давление) и «dostDown» (минимальное значение давления»). При выполнении условий функционального блока GT, активируется индикаторная лампа «выше верхнего порога», при выполнении условий LT – «ниже нижнего порога». Если ни одного условие не выполняется, то светится лампа «информация достоверна», которая сигнализирует о полной исправности измерительного канала.

2.2. Оценка достоверности информации по скорости изменения сигнала.

Для выявления полных отказов также используется оценка скорости изменения сигнала, характеризующего текущее значение давления. Оценка достоверности производится путем

определения скорости изменения сигнала с помощью функционального блока FT_DERIV. Затем полученная скорость изменения представляется в виде абсолютной величины через функциональный блок R2_ABS. Далее полученное абсолютное значение скорости изменения сигнала сравнивается с максимально возможным значением через переменную «greater» с помощью функционального блока GT (первое значение больше второго). При наличии на выходе данного блока логической единицы, что свидетельствует о полном отказе, загорается индикаторная лампа сигнализации «скорость изменения превышена» и горит до тех пор, пока не будут активированы переменные «button» или «operator». Данная логика реализована на основе функционального блока SR, который является триггером с приоритетом на включение. Активация переменной «button» происходит путем нажатия на кнопку управления на лабораторном стенде, переменной «operator» – путем активации на панели оператора.

3. Регулирование давление

Регулирование давления основано на применении позиционного регулятора, представленного в виде функционального блока HYST. На вход блока поступает фактическое значение давления (вход «in»), значение порога включения (вход «on») и выключения (вход «off»). Если значение давления ниже порога включения, то подается логическая единица на выход контроллера и компрессор производит нагнетания воздуха в ресивер. Когда значение давления становится равным порогу выключения, то компрессор приостанавливает свою работу, что свидетельствует о оптимальном давлении в ресивере.

4. Система противоаварийной защиты ресивера

Система противоаварийной защиты объекта реализована на основе электромагнитного клапана, подключенного к ресиверу. При превышении верхней уставки сигнализации по давлению (переменная «highpressure»), клапан отрывается, в результате происходит сброс давления. Данная логика реализована на основе функционального блока GT.

Когда давление ниже верхнего значения сигнализации, то клапан закрывается, однако давление не успевает достичь нулевого значения. Для этого в логику работы системы защиты был добавлен функциональный блок TOF таймера с задержкой выключения. При прекращении подачи логической единицы на открытие клапана, таймер начинает отсчет времени отключения (переменная «TimerOn») и по окончании данного времени клапан производит закрытие запорного элемента.

Программное обеспечение диспетчерского уровня

Диспетчерская система для контроля и управления давления была разработана на основе программного пакета MasterSCADA. Окно проекта, состоящего из дерева системы и дерева объекта, представлено на рисунке 3. Дерево системы представляет собой область, содержащую конфигурацию системы, в данном случае компьютер и OPC server. Дерево объектов включает объекты системы, переменные и функциональные элементы пакета, которые используется для визуализации на экранных формах. В данном случае это графики, индикаторные лампы, кнопки, значения и тренд.

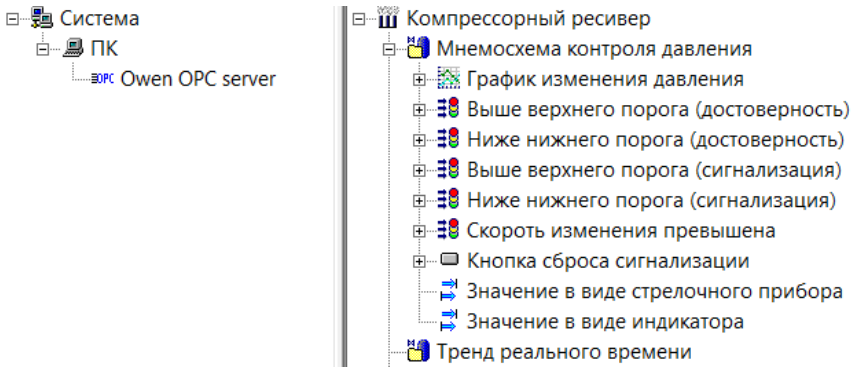


Рис. 3. Дерево объекта и дерево системы в программном пакете MasterSCADA

На экранной форме оператора использованы следующие компоненты MasterSCADA.

1. **График.** График представляет собой элемент, предназначенный для визуального представления данных в виде графического отображения. График используется для наглядного отображения текущих параметров технологического процесса. На данном лабораторном стенде график используется для отображения значения давления в компрессорном ресивере.

2. Индикатор значений. Индикаторы значений представлены стрелочным прибором и вертикальным столбиком. Индикаторы обеспечивают отображение значения давления.

3. Индикатор состояния. Индикатор состояния предназначен для отображения текущего состояния системы. На основе индикатора состояния реализована системы сигнализации и оценки достоверности информации, как по скорости изменения, так и по порогам. Реализация систем сигнализации основывается на привязке переменных к входам индикатора состояний. Логический ноль переменных соответствуют требуемому состоянию системы, когда аварийных ситуаций не наблюдается. Данное состояние соответствует зеленому цвету индикатора. При наличии аварии, подается логическая единица на индикатор, в результате чего цвет его сменяется на красный, что соответствует наличию аварии по одной и сигнализаций.

4. Кнопка. Кнопка представляет собой элемент управления, позволяющий оператору взаимодействовать с системой. Кнопки могут выполнять различные функции, такие как запуск и остановка оборудования, переключение режимов работы, отправка команд контроллеру или изменение значений параметров. Для данного лабораторного стенда кнопка используется для отключения индикаторной лампы сигнализации «скорость изменения превышена».

5. Тренд. Тренды отображают значение давления на всю глубину его сбора, причем на едином графике без разделения на текущие и архивные данные. Оператор может обращаться к тренду при помощи специальной кнопки «тренд», расположенной на экранной форме. Экранная форма в программном пакете MasterSCADA изображена на рисунке 4.

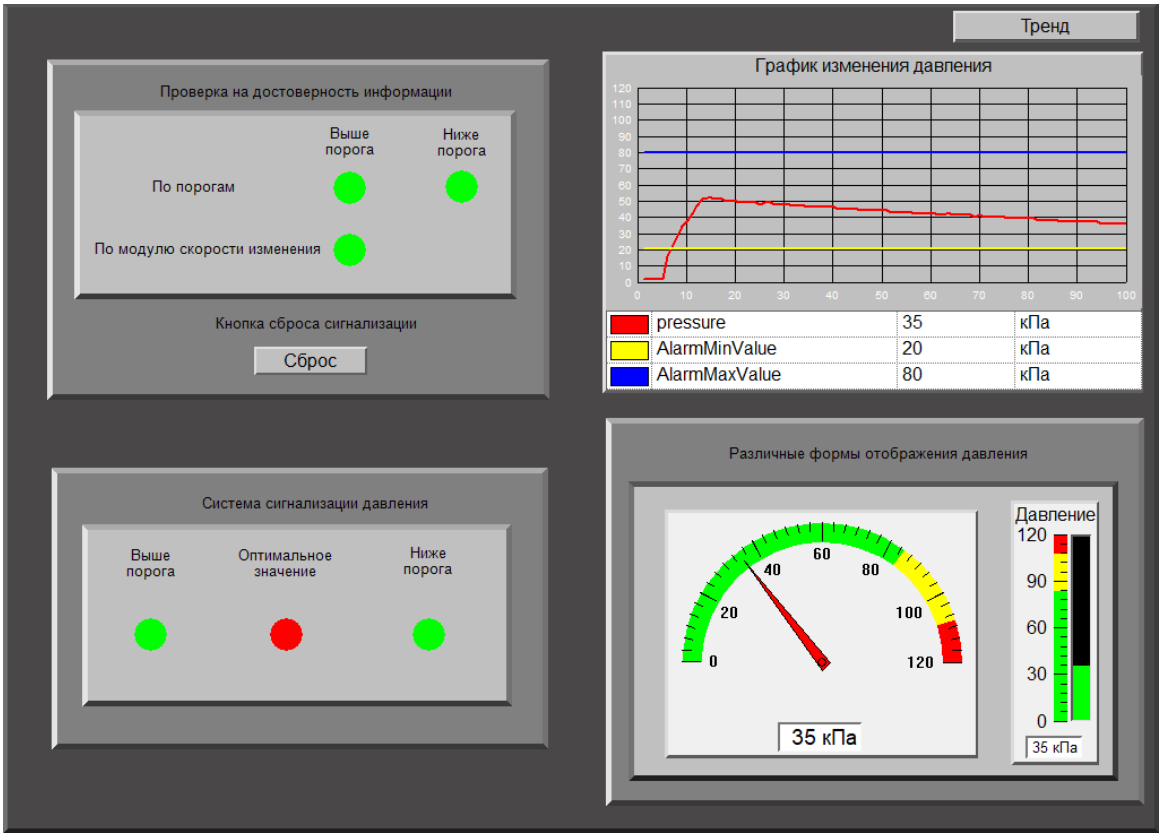


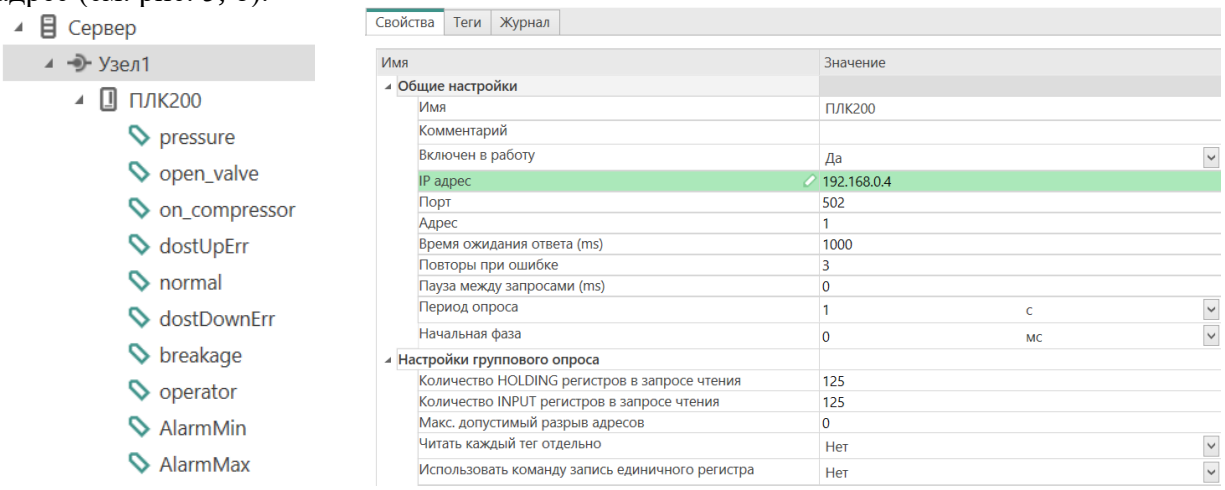
Рис. 4. Экранная форма оператора в программном пакете MasterSCADA

OPC-сервер

OPC-сервер является программным компонентом, который обеспечивает обмен данными между различными устройствами автоматизации (контроллерами, датчиками, исполнительными механизмами) и программным обеспечением верхнего уровня – **SCADA**.

В работе для связи программного пакета для контроллеров ОВЕН и MasterSCADA используется OWEN OPC server.

Для обеспечения обмена данными между программным пакетом контроллера, OPC server и MasterSCADA необходимо организовать связь ведущий-ведомый, где ведущий – OPC server, ведомый – ПО контроллера. Далее в OWEN OPC создать сервер, в нем создать узел, в котором указывается протокол, определяющий это набор правил и стандартов и указывающий как устройства передают и получают данные в сети (см. рис. 5, а). Далее добавляется устройство обмена, в свойствах которого указывается название устройства обмена и его IP-адрес (см. рис. 5, б).



а) *б)*

Рис. 5. Окно программы OWEN OPC
а – структура OPC-сервера, б – свойства добавленного устройства)

Далее создаются тэги – индивидуальные идентификаторы, используемые для обмена. Каждый тэг связывается с переменной в программном пакете для программирования контроллеров ОВЕН путем присвоения индивидуального адреса. Затем указывается функция тэга, а именно discrete inputs, coils, input registers, holiding registers. После чего может быть запущен созданный сервер, позволяющий передать сформированные тэги на диспетчерский уровень, которые далее необходимо связать с соответствующими компонентами.

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Для данного стенда разработаны методические указания для выполнения лабораторной работы студентами по дисциплине «Автоматизированные информационно-управляющие программы». Методические указания позволят студентам получить навыки работы с программируемым логическим контроллером и модулями ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, программным пакетом для программирования контроллеров компании ОВЕН, широко используемым как в России, так и за рубежом. Кроме того, приобрести навыки работы с отечественным программным пакетом MasterSCADA, используемым на диспетчерском уровне, а также навыки настройки OPC-сервера, предназначенного для обмена информацией между диспетчерским и контроллерным уровнями.

Методические указания содержат цель работы, описание лабораторного стенда, пример программы контроллера, обеспечивающей позиционное регулирование давления, сигнализацию и защиту, пример программы на базе MasterSCADA, обеспечивающей

отображение и архивирование информации, задание на выполнение лабораторной работы, контрольные вопросы и содержание отчета. Заданием на выполнение лабораторной работы предусмотрено исследование работы системы с применением представленного программного обеспечения и разработку, и проверку работоспособности собственных программ.

Заключение

Использование в учебном процессе разработанного лабораторного стенда позволяет реализовать комплексный подход к обучению студентов в области автоматизации технологических процессов, обеспечивающий закрепить теоретические знания по алгоритмическому и программному обеспечению АСУТП. Кроме того, получить практические навыки работы с техническими средствами автоматизации, включая промышленные контроллеры, измерительные преобразователи, метрологическое оборудование, и программными продуктами АСУТП.

Данный стенд является многофункциональным и обеспечивает получение знаний и умений по созданию на базе контроллеров ОВЕН ПЛК200 систем регулирования, сигнализации и противоаварийной защиты. А также умений по разработке программного обеспечения диспетчерского уровня на базе программного пакета MasterSCADA с использование OPC технологии.

Список использованной литературы

1. Лабораторный стенд «Датчики давления» // ЭнергияЛаб [Электронный ресурс]. – URL: vrnlab.ru/catalog_item/laboratornyy-stend-datchiki-davleniya (дата обращения: 04.03.2025).

2. Метрологические стенды с автоматизированным созданием давления // Альфапаскаль [Электронный ресурс]. – URL: alfapascal.ru/products/stands (дата обращения: 04.03.2025).

3. Промышленные датчики давления. ПДД-СК // ЛАБСИС [Электронный ресурс]. – URL: labsys.ru/product/avtomatizatsiya/promyshlennye-datchiki/promyshlennye-datchiki-davleniya-pdd-sk/ (дата обращения: 04.03.2025).

4. Лабораторный стенд «Промышленные датчики давления», исполнение стендовое компьютерное (ПДД-СК) // ДЕНАР [Электронный ресурс]. – URL: denar-prof.ru/products/941 (дата обращения: 04.03.2025).

5. Типовой комплект учебного оборудования «Промышленные датчики температуры», исполнение стендовое компьютерное, ПДТ-СК // Учтех-Профи [Электронный ресурс]. – URL: labstand.ru/catalog/izmerenie-rashoda-davleniya-temperatury/tipovoj-komplekt-uchebnogo-oborudovaniya-promyshlennye-datchiki-temperatury-ispolnenie-stendovoe-kompyuternoe-pdt-sk-3 (дата обращения: 04.03.2025).

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МНЕМОСХЕМ В ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ АСУ ТП ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ И ПОДГОТОВКИ НЕФТИ И ГАЗА

Голещихин Д.А.[1], Зебзеев А.Г.[2]
[1]НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8Т11, студент, dag36@tpu.ru
[2]НИ ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОАР, agz@tpu.ru
АО «ТомскНИПИнефть», Экспертная группа, Главный эксперт по цифровизации

Аннотация

В работе рассмотрена автоматизация разработки изображений мнемосхем в проектной документации АСУ ТП для объектов добычи и подготовки нефти и газа, в основе которой лежит дообучение генеративной нейронной сети, в целях уменьшения временных затрат на создание документации.

Ключевые слова: мнемосхема, генеративная нейронная сеть, дообучение, генерация изображений.

Введение

В нефтегазовой отрасли, прежде чем обустроить объекты для добычи или подготовки нефтегазовой продукции, проектные институты разрабатывают проектную документацию, в которой описывается, как должны работать те или иные объекты. В частности, разрабатывается документ с изображениями того, как должны выглядеть мнемосхемы на автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора. В настоящее время создание этих изображений происходит вручную с использованием SCADA-систем и занимает от 20 минут до 1 часа.Инструментом для решения данной проблемы могут стать стремительно развивающиеся нейронные сети, которые позволяют генерировать изображения высокого качества.В связи с этим целью данной работы является дообучение модели генеративной нейронной сети, способной генерировать изображения мнемосхем по текстовому описанию.

Основная часть

Так как для проектной документации требуется высокое качество изображений, для дообучения была выбрана диффузионная модель нейронной сети, которая благодаря своей архитектуре позволяет достичь необходимого качества. [1]. В данной модели генерация изображений происходит путем итеративного вычитания шума из случайного шума (см. рисунок 1). Это сделано для того, чтобы получать разные результаты при одном и том же запросе. Ее архитектура представлена на рисунке 2.

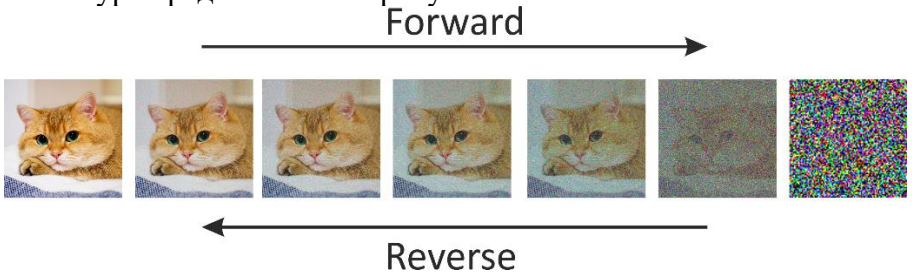


Рис. 1. Прямая и обратная диффузия

Таким образом, чтобы обучить модель, нужно научить ее вычитать шум. Для этого при обучении изображения из датасета, предварительно сжатые в скрытое пространство (latent space) для уменьшения вычислительных потребностей, подвергаются процессу прямой диффузии – итеративному добавлению гауссовского шума к исходному изображению. Далее зашумленное изображение подается в блок Denoising U-net, в котором происходит процесс

обратной диффузии. Этот блок представляет собой энкодер, выделяющий ключевые признаки изображения, сжимая его, и декодер, который восстанавливает изображения до исходных размеров, но с более ярко-выраженными ключевыми признаками. Чтобы избежать потери точности при разжимании изображения, используются связи между слоями энкодера и декодера – skip-connections. Они позволяют декодеру сохранить качество, опираясь на слои при сжатии. Также в блок Denoising U-net подается текстовая подсказка, которая предварительно преобразуется в числовые векторы (conditioning) с помощью текстового энкодера. Эти вектора используются в методе Concat (склеивание числовых векторов с поданными в U-net данными) и слоях перекрестного внимания (Cross-attention), встраиваемые к слоям энкодера и декодера U-net. После этого метод Concat, используемый на начальном этапе вычитания шума, позволяет инициализировать объект, а на следующих шагах включаются слои перекрестного внимания, которые лучше справляются с контролем генерации на основе текста. Используя эти методы, U-net предсказывает шум, который необходимо вычесть для получения «чистого» изображения. Количество итераций в Denoising U-net равно количеству итераций, произведенных при прямой диффузии. После удаления шума, изображение из скрытого пространства разжимается обратно в пиксельное пространство (Pixel Space). Полученное изображение сравнивается с исходным, после чего вычисляется ошибка, на основе которой вычисляются корректирующие значения для весов модели нейронной сети [2, 3].

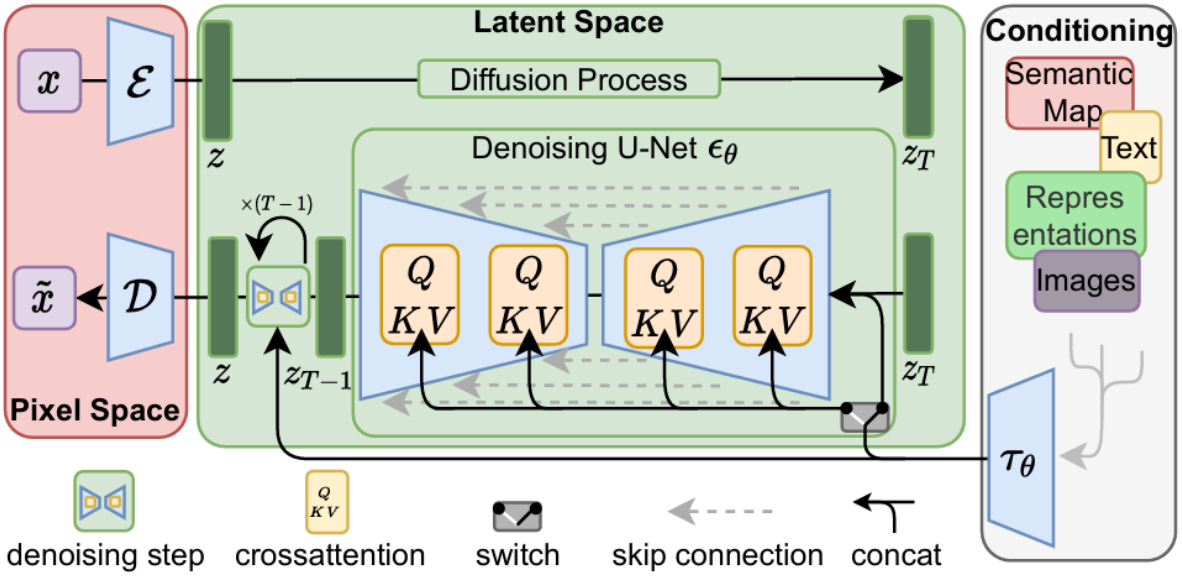


Рис. 2. Архитектура диффузионной модели
Denoising step – этап удаления шума
Cross-attention – слой перекрестного внимания
Switch – переключатель между слоями перекрестного внимания и методом Concat
Skip connection – связь между энкодером и декодером для U-net
Concat – метод используемый для начальной инициализации объекта при расшумлении

Дообучение нейросети – это добавление новых или же изменение основных слоев параметров уже обученной модели нейронной сети, на основе датасета из небольшого количества данных.

Методом дообучения была выбрана LoRA – Low Rank Adaptation (низкоранговая адаптация). Суть данного метода заключается в добавлении в исходную модель слоев с параметрами, обученными на собственном датасете, при этом исходная модель остается неизменной. Преимуществами этого метода дообучения являются небольшой размер за счет хранения параметров в двух матрицах меньшего ранга [4].

Также были рассмотрены два других метода дообучения: DreamBooth и Textual Inversion (текстовая инверсия). Однако они не были выбраны, так как DreamBooth изменяет слои базовой модели, и на выходе дообучения получается модель с большим размером. А текстовая инверсия не подходит, так как ее принцип заключается в дообучении текстового энкодера, который впоследствии будет стараться найти из весов основной модели те, которые схожи с датасетом при дообучении. Но, так как использование изображений мнемосхем при обучении основных моделей маловероятно из-за их узкой направленности и недоступности в общем доступе в большом количестве, то качество получаемых генераций снизится.

Следующим этапом было создание датасета, состоящего из изображений мнемосхем для установок по подготовке нефти и газа: сепараторы, осушители. Датасет из 14 установок был составлен в SCADA-системе, после чего были созданы скриншоты размерностью 512×512, к которым было составлено текстовое описание на английском языке. Пример из датасета представлен ниже.

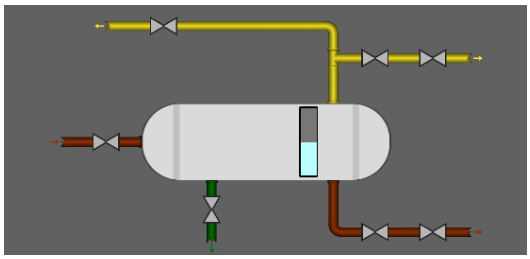


Рис. 3. Пример изображения из датасета

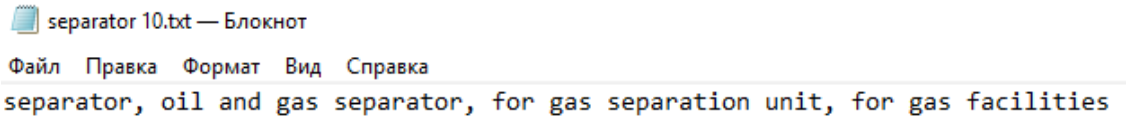


Рис. 4. Пример текстового описания к изображению из датасета

После проведения подготовительных мероприятий в заранее установленном пользовательском интерфейсе, предназначенном для работы с генеративными нейросетями, было проведено дообучение базовой модели Stable Diffusion v1.5. В ходе 4 попыток дообучения (график потерь при последней попытке дообучения приведен на рисунке 5), в процессе которых происходили корректировки обучающих параметров, были получены результаты, сравнимые с реальными изображениями мнемосхем, составленных вручную в SCADA-системе. Результат генерации приведен на рисунке 6. Время генерации занимает около 5 секунд на ПК со следующими характеристиками:

- Процессор Intel Core i9-14900K.
- Материнская плата MSI PRO Z790-A.
- Видеокарта KFA2 GeForce RTX 4070Ti SUPER.
- Оперативная память Kingston Fury Beast Black AMD 64 ГБ × 2 шт.

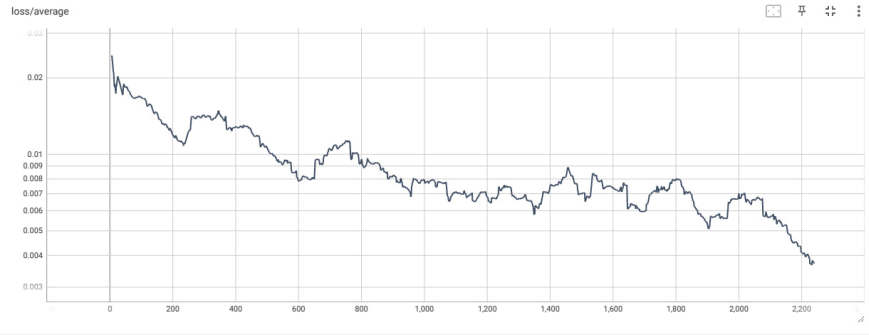


Рис. 5. График потерь при дообучении

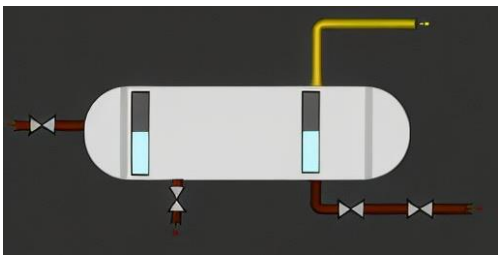


Рис. 6. Результат генерации после дообучения

В ходе реализации данной идеи также было найдено решение для создания более точных генераций – использование ControlNet. Это дополнительная управляющая нейронная сеть, которую можно включить в этап генерации изображений [5]. Принцип ее работы заключается в том, что она позволяет выделить из изображения, поданного на ее вход, признаки, такие как глубина изображения, очертания, поза, положение объекта, а также прямые линии, например, на изображениях интерьера. А далее, выделенный признак может быть использован в генерации изображения [6].

Исходя из возможностей ControlNet и того, что все изображения мнемосхем создаются согласно чертежам технологических схем и функциональных схем автоматизации, можно реализовать генерацию, используя форму, полученную из чертежей с помощью ControlNet. Данный способ должен помочь справиться с проблемой создания более громоздких изображений мнемосхем.

Заключение

В ходе проделанной работы была получена дообученная модель генеративной нейронной сети, позволяющая генерировать изображения мнемосхем объектов подготовки нефти и газа по текстовому описанию на английском языке. Полученные изображения визуально сравнимы с изображениями, созданными вручную. После генерации на изображения остается только расставить поля для измеряемых параметров и подписать для них теги (индивидуальные для каждого проекта).

Так, данная работа может облегчить труд и уменьшить затраты времени для сотрудников отделов проектирования автоматизированных систем.

Планируется следующее развитие работы:

- Улучшение качества модели.
- Применение ControlNet для создания генераций, соответствующих технологическим схемам, на основе которых создается проектная документация.

Список использованных источников

1. Введение в диффузионные модели для генерации изображений [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/713076/ (дата обращения: 02.12.2024).

2. Как работают text2image модели? [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/711020/ (дата обращения: .07.12.2024).

3. Stable Diffusion: text-to-person [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/764700/ (дата обращения: 10.12.2024).

4. Кто же такая это ваша LoRA [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/747534/ (дата обращения: 11.12.2024).

5. ControlNet: расширение возможностей нейросетей [Электронный ресурс]. – URL: t-j.ru/controlnet/ (дата обращения: 25.02.2025).

6. Как работает ControlNet. Контролируемая генерация [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/companies/ruvds/articles/719348/ (дата обращения: 26.02.2025).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИКИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

Коновалов В.А.[1], Павловский А.В.[2], Филипас А.А.[3]
[1]ТПУ, ИШИТР, магистр, группа 8ТМ41, e-mail: vak96@tpu.ru.
[2]ТПУ, ИШИТР, ассистент, аспирант группа А3-36, e-mail: avp135@tpu.ru.
[3]ТПУ, ИШИТР, Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры, к.т.н., доцент, e-mail: filipas@tpu.ru.

Аннотация

В данной работе рассматривается математическая модель механики дыхательной системы человека, которая описывает взаимодействие ключевых параметров дыхания: дыхательный объем, поток дыхания, альвеолярное давление и внутриплевральное давление. В качестве управляющего воздействия рассматривается ускорение дыхательных мышц и диафрагмы. Разработаны упрощенная механическая и структурная модели системы, а также приведены результаты моделирования для состояния спокойного дыхания здорового человека.

Ключевые слова: диагностика, медицина, автоматизация, оценка.

Введение

Дыхательная система человека – это одна из ключевых систем организма, без которой невозможна его жизнедеятельность. Ее работа основана на сложных механизмах, включающих взаимодействие легких, дыхательных путей, грудной клетки и дыхательных мышц.

Согласно данным Минздрава России [1], болезни органов дыхания (БОД) на протяжении многих лет остаются наиболее распространенным видом заболеваний в стране. Одна из ключевых причин – сложность ранней диагностики: многие БОД, такие как хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), астма, туберкулез и пневмония, долгое время протекают бессимптомно, что приводит к позднему выявлению. При этом по данным ВОЗ [2], именно эти БОД стабильно входят в десятку ведущих причин смертности в мире.

Кроме того, существенное влияние на распространенность БОД оказывает курение и употребление никотина в любых формах. Хотя табакокурение само по себе не всегда является прямой причиной заболевания, оно значительно повышает риски развития БОД с каждым "прокуренным" днем. Например, в Оксфордском справочнике по пульмонологии [3] практически для каждого заболевания дыхательной системы среди рекомендаций по снижению рисков указан отказ от курения.

Понимание работы дыхательной системы и механизмов развития болезней органов дыхания (БОД) требует глубокого анализа сложных физиологических процессов. Однако из-за многофакторности и индивидуальных особенностей каждого организма экспериментальное изучение этих процессов часто оказывается ограниченным. Поэтому существует необходимость создания математической модели механики дыхания, которая позволит детально описывать и анализировать работу дыхательной системы как в норме, так и при различных патологических состояниях. Такая модель станет важным инструментом для ранней диагностики, прогнозирования течения заболеваний и разработки эффективных методов лечения.

Математическая модель механики дыхания

В настоящее время существует множество моделей, описывающих работу дыхательной системы, однако некоторые из них обладают существенным недостатком – отсутствием четкой физиологической привязки к реальным процессам, происходящим внутри человека.

Например, в работе Pasteka et al. (2019) [4] представленная математическая модель анатомически слабо связана с реальной структурой легких. Это вызывает сомнения в ее применимости для моделирования сложных физиологических процессов.

Другой пример неполной модели является работа Liu et al. (1998) [5]. Несмотря на то, что эта модель на протяжении долгих лет считается ключевой для изучения дыхания, она не способна моделировать какие-нибудь патологические состояния дыхательной системы.

Учитывая указанные ограничения существующих моделей, в данной работе предлагается новая математическая модель механики дыхания, устраняющая эти недостатки.

Разработанная математическая модель легких представляет собой упрощенную механическую систему, которая описывает механизм внешнего дыхания. Модель состоит из четырех основных элементов: поршня, имитирующего работу дыхательных мышц и процессов внутри плевральной полости; сосуда, представляющего легкие; трубопровода, моделирующего дыхательные пути с учетом их сопротивления; и упругих сил, создаваемые эластичностью легких, грудной клетки и органов брюшной полости.

Предложенная модель позволяет анализировать взаимосвязь ключевых параметров дыхательной системы:

- V_l – Объем легких;
- P_a – Альвеолярное давление;
- P_{pl} – Внутриплевральное давление;
- P_A – Атмосферное давление;
- t – Температура тела человека;
- R_Σ – Суммарное пневмосопротивление дыхательных путей;
- C_{ch} и C_l – Эластичности грудной клетки и легких.

Также модель была реализована в специализированном инженерном ПО для математического моделирования (рис. 1), что позволило произвести проверку работоспособности и отладку некоторых параметров (R_Σ, C_{ch} и C_l).

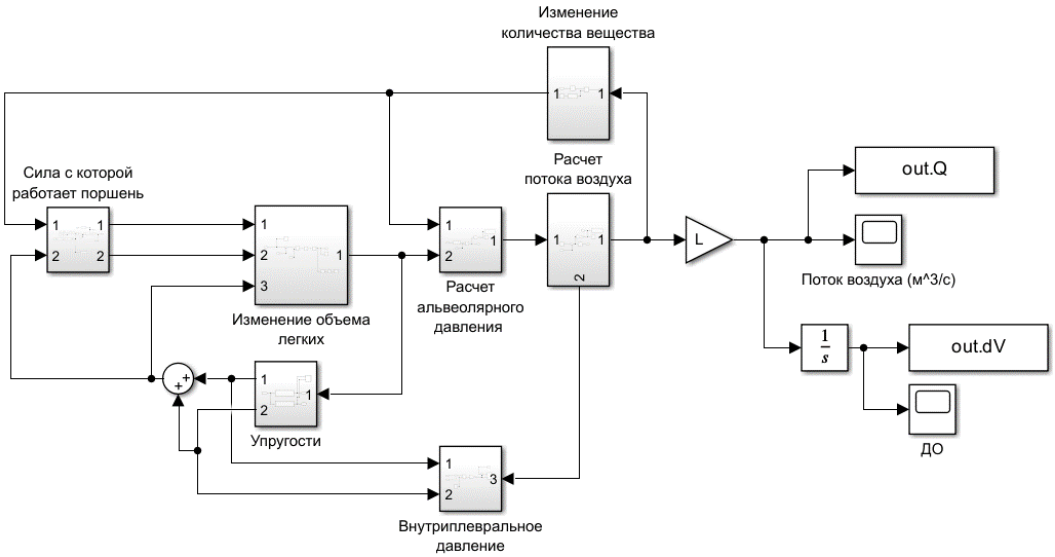


Рис. 1. Структурная схема модели в специализированном инженерном ПО для математического моделирования

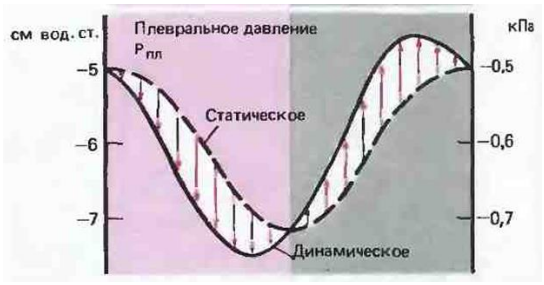
Проверка работоспособности математической модели

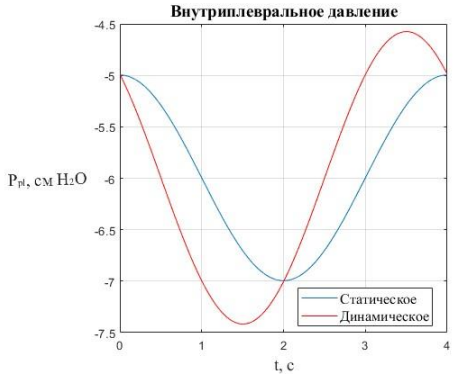
Моделирование проводилось при синусоидальном задание сигнала ускорения, с которым дыхательных мышцы (поршень) совершают движение. Синусоидальная форма была выбрана из-за того, что большинство параметров спокойного дыхания близки к синусу.

Амплитуда ускорения была подобранна таким образом, чтобы перемещение поршня соответствовало дыхательному объему ($ДО = 5$ л), а частота составила 1.57 рад/с (15 вдохов/минуту) [6]. Также были заданы и другие параметры, дыхательной системы соответствующие спокойному дыханию здорового человека: $ФОЕ = 2$ л, $t = 36{,}6$ °C, $R_{\Sigma} = 250$ кПА$\cdot$с/м^3.

Для верификации модели такие переменные (рис. 2-5), как внутриплевральное давление (P_{pl}), альвеолярное давление (P_a), поток воздуха (Q) и дыхательный объем (V) будут сравниваться с эталонными значениями, указанными в учебнике [7].

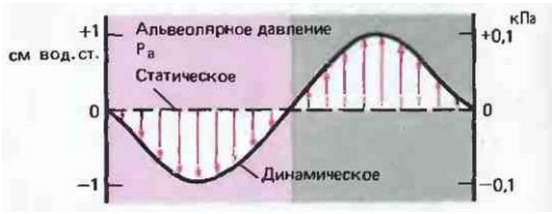
Следует отметить, что приведенные в [7] зависимости полностью согласуются с фундаментальными источниками, такими как [8] и [9], однако в [7] более детально описана динамическая зависимость внутриплеврального давления.

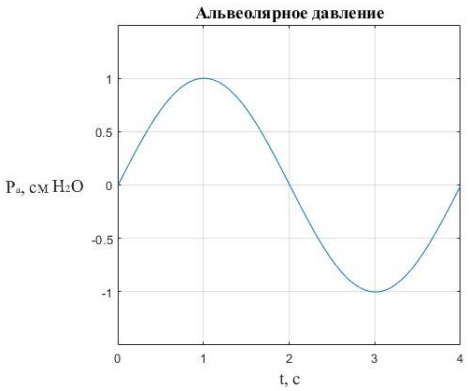




А *Б*

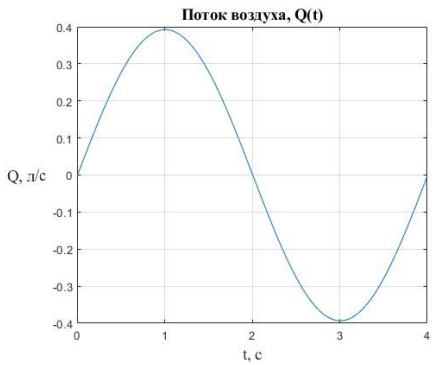
Рис. 2. Внутриплевральное давление (А – эталон, Б – эксперимент)





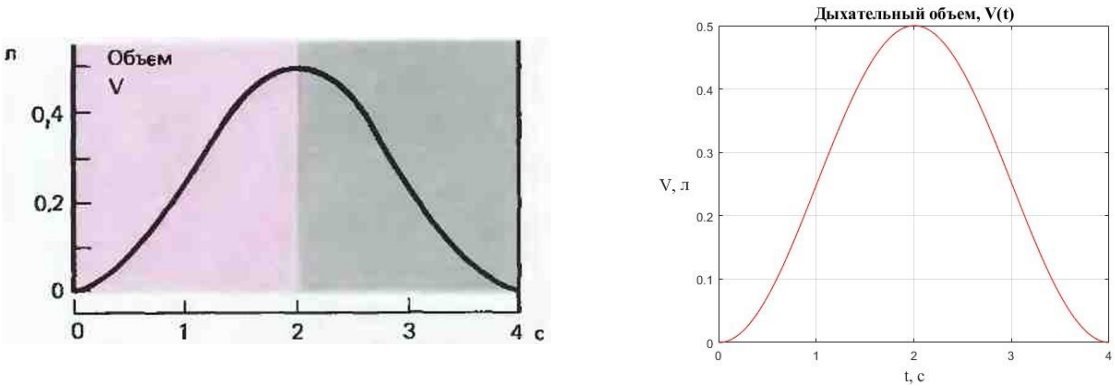
А *Б*

Рис. 3. Альвеолярное давление (А – эталон, Б – эксперимент)



А Б

Рис. 4. Поток воздуха (А – эталон, Б – эксперимент)



А *Б*

Рис. 5. Дыхательный объем (А – эталон, Б – эксперимент)

Практически все экспериментальные зависимости полностью совпадают с эталонными данными, что подтверждает корректность выбора параметров модели и адекватность ее работы. Единственное исключение это зависимость для потока воздуха (*Q*). Это обусловлено отличием реальной формы дыхательного потока от идеализированной синусоидальной модели.

Заключение

Представленная математическая модель механики дыхания, реализованная в специализированном инженерном ПО для математического моделирования, позволяет наглядно продемонстрировать взаимосвязь ключевых параметров: внутриплеврального давления, альвеолярного давления, потока воздуха и дыхательного объема. Результаты моделирования согласуются с теоретическими данными из учебников, что подтверждает корректность модели. Структурная схема отражает основные физиологические процессы, включая работу дыхательных мышц, сопротивление воздушных путей и эластичность легких.

В дальнейшем модель может быть улучшена за счет учета различного вида патологий, детализации геометрии дыхательных путей и динамики потока воздуха, а также интеграция газообмена в альвеолах.

Список использованных источников

1. Здравоохранение: Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. – URL: rosstat.gov.ru/folder/13721 (дата обращения: 02.01.2025).

2. World health statistics 2024: monitoring health for the SDGs,Sustainable Development Goals.

3. Пульмонология: оксфордский справочник / С. Чапман, Г. Робинсон, Р. Шриманкер. [и др.]; под ред. С.Н. Авдеева. – М. : ГЭОТОР-Медиа, 2024. – 944 с.

4. Pasteka, R., Forjan, M., Sauermann, S., & Drauschke, A. (2019). Electro-mechanical lung simulator using polymer and organic human lung equivalents for realistic breathing simulation. *Scientific Reports, 9*, 19778. doi.org/10.1038/s41598-019-56176-6

5. Liu C.H., Niranjan S.C., Clark J.W., San K.Y., Zwischenberger J.B., Bidani A. (1998). Airway mechanics, gas exchange, and blood flow in a nonlinear model of the normal human lung. *Journal of Applied Physiology*, *84*(4), 1447-1469. doi.org/10.1152/jappl.1998.84.4.1447

6. Физиология дыхания: Учебное пособие. / А.Г. Зарифьян, Т.Н. Наумова, А.К. Нартаева, И.Е. Кононец. – Бишкек : КРСУ, 2013. – 146 с.

7. Физиология человека: В 3-х томах. Т. 2 : Учебное пособие / М. Циммеран, В. Ениг, В. Вутке. [и др.]; пер. с англ. / под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса. – М. : Мир, 2005. – 314 с.

8. Natarajan A., Su H.W., Heneghan C. Measurement of respiratory rate using wearable devices and applications to COVID-19 detection. Npj Digital Medicine. 2021; 4(136).

9. Chu M., Nguyen T., Pandey V., et al. Respiration rate and volume measurements using wearable strain sensors. Npj Digital Medicine. 2019; 2(8).

ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ НА МИКРОФОТОГРАФИЯХ ЭМУЛЬСИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ, ОСНОВАННОЙ НА НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ И КЛАССИЧЕСКОГО МЕТОДА

Шэн Юйсы[1]
Научный руководитель: Филипас А.А[2], *Кучман.А.В*[3]
[1] *ТПУ, г. Томск (студент гр.8ТМ31 ОИТ, ИШИТР), e-mail: sy05@tpu.ru*
[2]*ТПУ, г. Томск (Заведующий кафедрой ОИТ, ИШИТР), e-mail: filipas@tpu.ru*
[3] *ТПУ, г. Томск (старший преподаватель ОИТ, ИШИТР), e-mail: avm82@tpu.ru*

Аннотация
Целью данной работы является сравнение эффективности классических и нейросетевых методов обнаружения и анализа капель на микрофотографиях эмульсий для последующего применения в автоматизированных системах оценки устойчивости эмульсий в нефтехимии и пищевой промышленности.
Ключевые слова: Микрофотографии промышленной эмульсии; Классические методы; Методы обнаружения изображений; Ультразвуковая деэмульсация.

Введение

Синтез и разрушение эмульсий являются важнейшей проблемой в ряде отраслей промышленности, включая пищевую, сельскохозяйственную, нефтеперерабатывающую и фармацевтическую. Стабильность эмульсии относится к способности эмульсии сохранять свои свойства с течением времени, тогда как нестабильность эмульсии указывает на физические или химические изменения свойств эмульсии [1]. Достижение длительной стабильности эмульсии или быстрого ее разделения является сложной задачей и зависит от различных факторов, особенно от размера, формы и пространственного распределения капель. В нашем исследовании рассматривается воздействие акустических колебаний на дисперсный состав, при этом генерируется большое количество микрофотографий с изображением капель эмульсии, из которых необходимо получить статистические данные для проведения количественного анализа результатов воздействия ультразвука в широком диапазоне частот. Для решения проблемы обработки полученных данных была поставлена задача использования методов обнаружения изображений для автоматизации подсчета количества и размеров. В данной работе рассматриваются два метода, используемые для обнаружения объектов на изображениях – распознавание объектов на основе морфологии и модель обнаружения объектов YOLO.

Получение экспериментальных данных

Микрофотографии были сделаны в результате эксперимента по анализу воздействия акустических колебаний ультразвуковой частоты на водомасляную эмульсию. Эмульсия помещалась в тонкую трубку диаметром 1 мм, трубка располагалась на предметном столики микроскопа. На трубку была направлена ультразвуковая ячейка, соединенная с генератором сигналов (рис. 1). В результате проведения экспериментов было полоучено большое количество образцов микрофотографий для анализа.

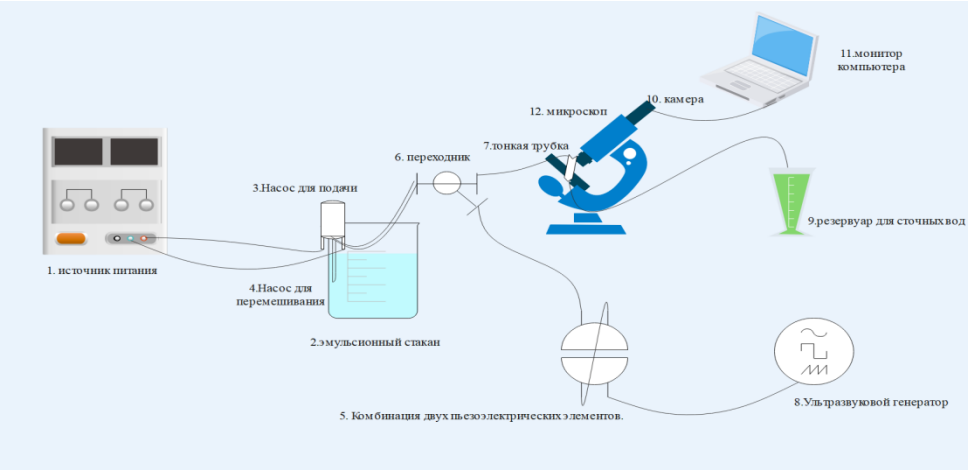


Рис. 1. Схема эксперимента по ультразвуковой деэмульсации

Для сравнения методов обнаружения капель было выбрано две микрофотографии – с водомасляной эмульсией до воздействия ультразвука и спустя десятиминутного воздействия с частотой 1МГц. Эталонные данные о размерах капель были получены с помощью ручной разметки (рис. 2).

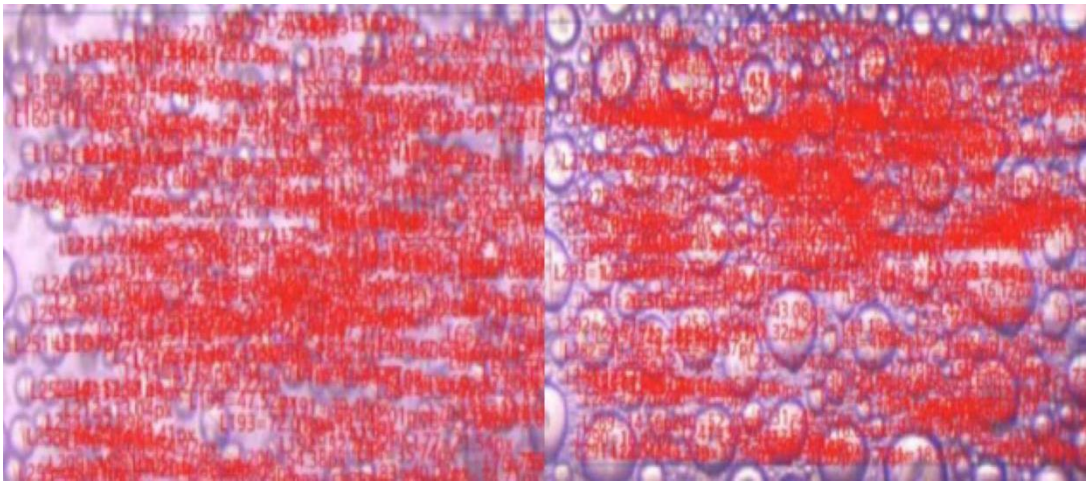


Рис. 2. Разметка капель в ручном режиме

Процесс ручной обработки данных требует больших временных затрат, поэтому были внедрены методы обнаружения, которые можно разделить на две категории: классические методы и методы, основанные на использовании нейронных сетей.

Классические методы

Распознавание объектов на основе морфологии

Работа алгоритма заключается в использовании традиционных методов обработки изображений для обнаружения круглых объектов в изображении. Сначала изображение преобразуется в grayscale и применяется гауссово размытие для уменьшения шума и сглаживания изображения [2]. Затем используется адаптивная пороговая обработка и фиксированное пороговое разделение для усиления информации о границах, что делает объекты более отчетливыми. Далее с помощью морфологических операций, таких как дилатация и эрозия, усиливаются контуры объектов и удаляются мелкие шумовые области. Затем с помощью функции `cv2.findContours()` обнаруживаются контуры изображения, и по круглоте контуров отбираются потенциальные круглые объекты. Чтобы избежать

повторного обнаружения, используется пороговое значение расстояния между центрами кругов для удаления перекрывающихся кругов. В завершение, для каждого обнаруженного круга с помощью функции `cv2.minEnclosingCircle()` вычисляются его центр и радиус, и на изображении рисуется круг, обозначающий найденный объект. Весь процесс включает в себя серию операций обработки изображений, сочетая морфологический и контурный анализ, что позволяет точно обнаруживать и помечать круглые структуры на изображении [3]. Результаты обработки представлены на рисунке 3.

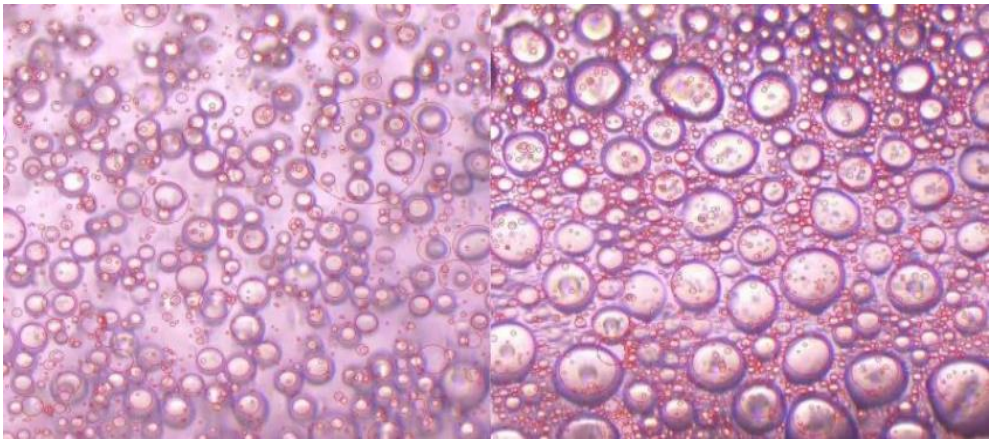


Рис. 3. Автоматически подсчитывать размер капель с помощью классических методов

Модель обнаружения объектов YOLO

Концепция разработки основана на использовании модели обнаружения объектов, обученной на собственных весах, для автоматического распознавания и разметки целей на изображениях. Сначала программа просматривает все изображения в указанной папке и загружает их для последующей обработки. Модель выполняет вывод на основе предварительно обученных весов, распознает объекты и возвращает координаты их граничных рамок. Затем код преобразует обнаруженные граничные рамки в круговые объекты, вычисляя центр и приблизительный радиус каждого объекта, а также выполняет преобразование в заданную единицу измерения [4]. После этого все полученные результаты сохраняются в файл Excel, а аннотированные изображения сохраняются на диск. Весь процесс использует возможности глубокого обучения для автоматического обнаружения и сохранения данных об объектах на изображении, что особенно полезно для пакетной обработки изображений, содержащих круглые или приближённо круглые объекты, таких как **анализ клеток и частиц [5]**. Результаты обработки представлены на рисунке 4.

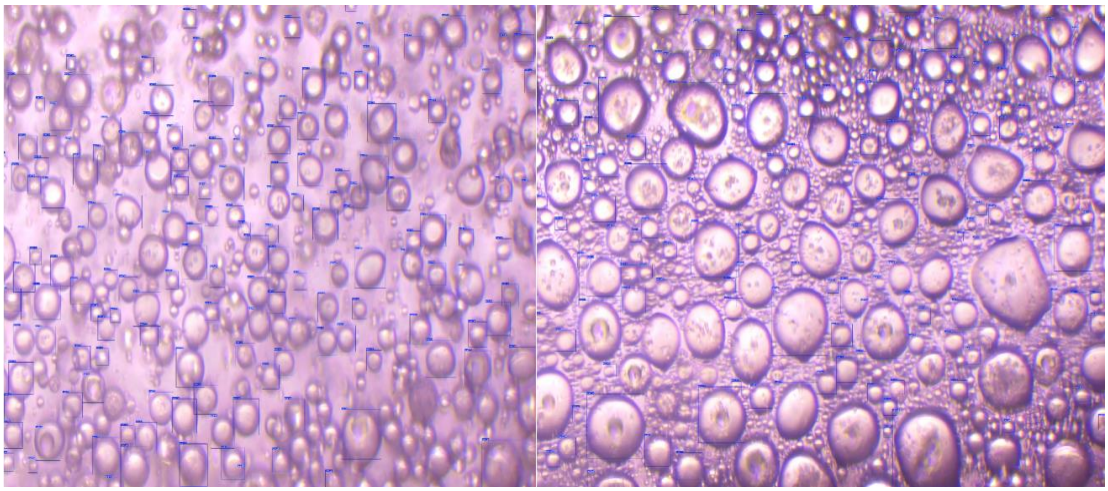


Рис. 4. Автоматически подсчитывать размер капель с помощью модели YOLO

Результаты

В данной статье представлено обширное исследование по обнаружению и извлечению сферических капель на эмульсионных микрофотографиях, особенно в случаях перекрытия частиц. Для характеристики сферических капель и понимания их влияния на свойства эмульсии требуются передовые методы анализа изображений, которые позволяют учитывать изменения формы и точно количественно определять морфологические особенности.

Статистические результаты трех методов измерения размера частиц эмульсии приведены ниже, как показано на рисунках 5, 6 и 7.

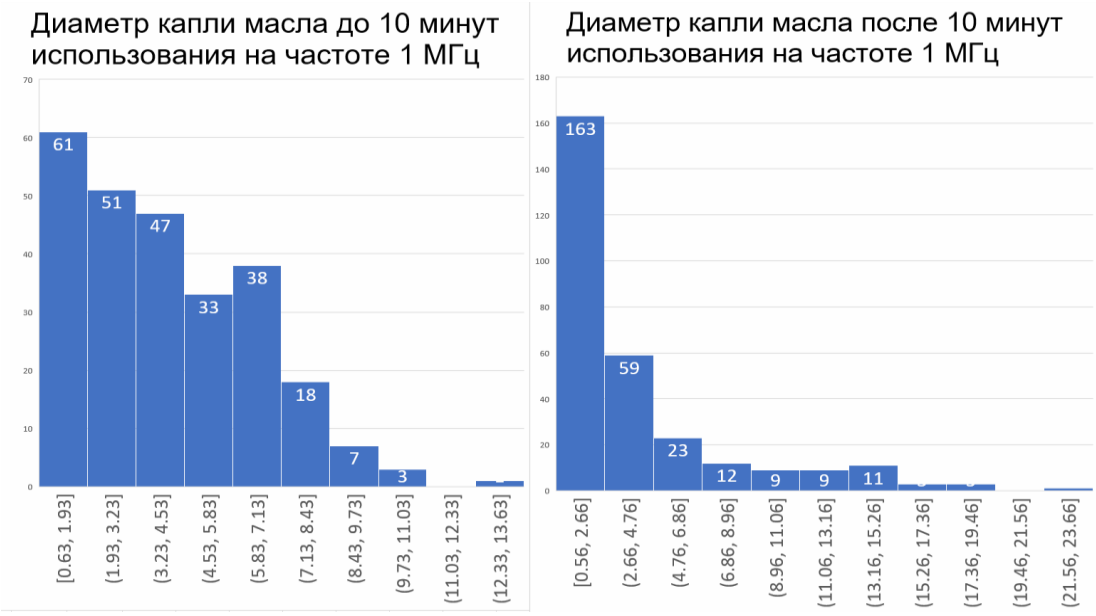


Рис. 5. Распределение капель масла в эмульсии в начале и конце при 1МГЦ (Ручная маркировка)

Рис. 6. Распределение капель масла в эмульсии в начале и конце при 1МГЦ (Классические методы)

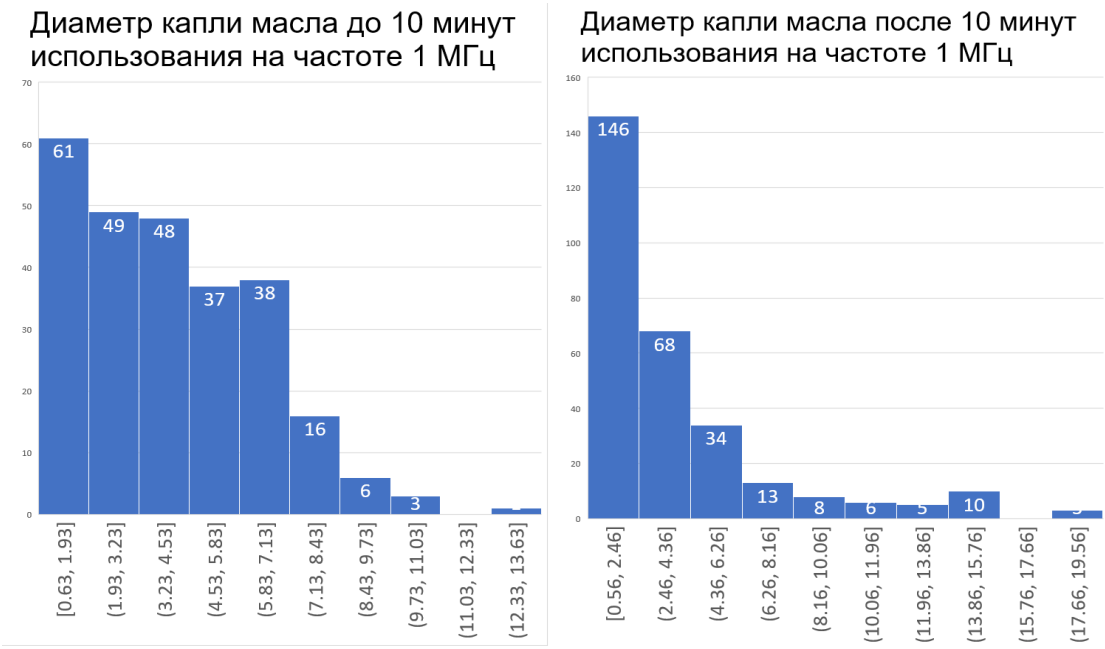


Рис. 7. Распределение капель масла в эмульсии в начале и конце при 1МГЦ (Модель обучения YOLO)

В результате проведенного исследования было выявлено, что ультразвуковое воздействие оказывает значительное влияние на процесс разрушения водомасляных эмульсий. Эксперименты показали, что оптимальной частотой для разрушения эмульсий является диапазон около 1 МГц, где достигается наибольшая эффективность за счет кавитационных эффектов и сдвиговых напряжений. При этой частоте наблюдалось максимальное увеличение числа крупных капель и эффективное разделение фаз.

Образцы микрофотографий, получаемые описанным выше методом, представляют собой достаточно сложное для обработки изображение, поскольку при использовании тонкой трубки для организации проточной системы дает достаточно узкую полосу обзора микроскопа, находящуюся на фокусном расстоянии от объектива. Помимо этого, при размещении эмульсии в трубке нижние слои капель зашумляют изображение. Если разместить эмульсию между двумя стеклами, можно получить более удачное для обработки изображение (рис. 8).

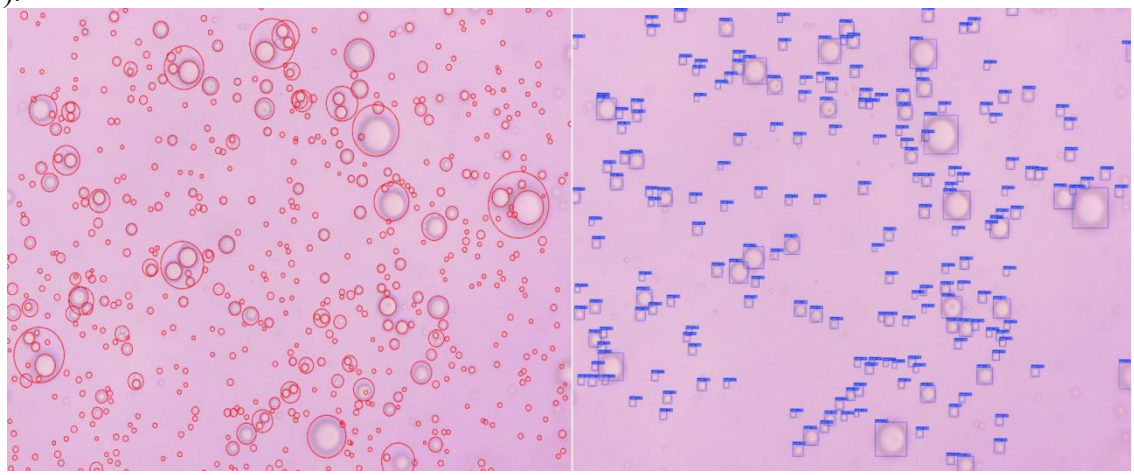


Рис. 8. Классический метод и метод обнаружения модели YOLO

В данном случае преимущество использования модели YOLO над распознаванием объектов на основе морфологии становится еще более очевидным.

Заключение

Сравнивая три метода, можно сделать следующий вывод: хотя ручная обработка данных дает хорошие результаты, она отнимает много времени и труда. Классический метод не дал хороших результатов, поскольку различная обработка изображений требует корректировки значений параметров и не может хорошо обрабатывать случайные изображения. Используемая модель YOLO практически согласуется с результатами ручной обработки, что экономит время и усилия, а также позволяет хорошо обрабатывать другие сферические изображения, близкие к микронному уровню.

Результаты подтверждают возможность использования моделей нейронных сетей, таких как YOLO, для автоматического анализа микрофотографий эмульсий. Может использоваться в системе онлайн-мониторинга процесса деэмульсации в нефтехимической, пищевой и фармацевтической промышленности.

Список использованных источников

1. Abed S.M., Abdurahman N.H., Yunus R.M., Abdulbari H.A., Akbari S. Oil emulsions and the different recent demulsification techniques in the petroleum industry – a review // IOP Conf. Series: Material Science and Engineering – 2019 – vol. 702 [012060].

2. Abdulredha M.M., Siti Aslina H., Luqman C.A. Overview of petroleum emulsions, formation, influence and demulsification treatment techniques // Arabian Journal of Chemistry – 2020 – vol. 89 – pp. 3403–3428.

3. Akbari N., Biria D. Investigation of the activity of Acinetobacter calcoaceticus biodemulsifier to break stable water in oil emulsions // Journal of Environmental Chemical Engineering – 2018 – vol. 6 – pp. 4144–4150.

4. Zolfaghari R., Fakhru'l-Razi A., Abdullah L.C., Elnashaie S.S.E.H., Pendashteh A. Demulsification techniques of water-in-oil and oilin-water emulsions in petroleum industry // Separation and Purification Technology – 2016 – vol. 170 – pp. 377–408.

5. Alammar A., Park, S.H., Williams C.J., Derby, B., Szekely G. Oilin-water separation with graphene-based nanocomposite membranes for produced water treatment // Journal of Membrane Science – 2020 – vol. 603 [118007].

МОДЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПУНКТА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА

Пастухов А.И.[1]
Научный руководитель: Громаков Е.И.[2]
[1]*Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники 8Т11, e-mail: aip28@tpu.ru*
[2]*Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: gromakov@tpu.ru*

Аннотация

В работе рассмотрена автоматизация пунктов редуцирования газа на газораспределительной станции. Предложено решение по модернизации автоматизации управления пунктов редуцирования газа с применением переопределяющего метода (англ. Override) управления по давлению и подаче газа через две линии редуцирования.

Ключевые слова: пункт редуцирования газа, переопределяющий метод, природный газ, давление, расход.

Введение

Пункты редуцирования газа (ПРГ) являются важными элементами сетей газораспределения. Их работа во многом влияет на эффективность и стабильность поставок природного газа потребителям. В связи с устареванием оборудования значительной части ПРГ, построенных в 20 веке и неспособных вести устойчивый оптимальный режим управления, возникает необходимость в проведении модернизации с использованием современных средств автоматизации [1].

Для улучшения качества регулирования технологических параметров и увеличения уровня стабильности поставок газа необходимы новые решения по автоматизации пунктов редуцирования газа. В данной работе предлагается вариант системы управления ПРГ с использованием переопределяющего (англ. Override) алгоритма управления подачей газа потребителю для двух линий редуцирования: основной и резервной.

Описание решения по модернизации пункта редуцирования газа

В РФ расположено большое количество пунктов редуцирования газа, призванных снижать давление природного газа для поставки его потребителям [2]. Поскольку типовые схемы газораспределительных систем были созданы несколько десятилетий назад, возникает проблема морального и физического устаревания оборудования существующих ПРГ. Стоит отметить, что в ходе диагностических испытаний сроки службы части ПРГ, хотя и продляются, однако, это не является решением данной проблемы. Помимо этого, многие потребители (заказчики природного газа) отмечают значительные колебания поставки и потребления природного газа в различные периоды работы ПРГ. В частности, в летний период наблюдается малый расход газа, тогда как в зимний период потребление газа значительно увеличено, из-за чего существует проблема с поддержанием давления газа на заданном уровне.

В настоящее время эксплуатация части существующих ПРГ сводится к проведению текущего, капитального ремонта оборудования и зданий ПРГ. Ввиду проблем, связанных с безопасной и бесперебойной поставкой газа, согласно п. 44 Технического регламента «О безопасности сетей газораспределения и газопотребления» (принят с изменениями 14.12.2018 г.) запрещается использование всех видов обводной линии (байпаса), поскольку осуществлять полноценную и безопасную подачу газа потребителю по байпасу невозможно. Вот почему рекомендуется в плановом порядке выполнять работы по модернизации газораспределительных сетей, включающие в себя реконструкцию в ПРГ линий

редуцирования, а также применять современные средства автоматизации, позволяющие выполнять удаленный мониторинг состояния технологических блоков ПРГ и осуществлять дистанционное управление ими.

Для решения проблемы эффективной поставки газа потребителю на узле редуцирования газа ПРГ предлагается использовать автоматическую систему стабилизации давления газа с перенастройкой ее в случае большого потребления газа на автоматическую стабилизацию расхода. Это обеспечит стабилизацию поставки газа потребителю и, при применении современных средств КИПиА, возможность дистанционного управления режимами работы узла редуцирования с пульта оператора. Данная система рассчитана на использование двух линий редуцирования с идентичным оборудованием.

Поскольку регулирование предполагается осуществлять методом автоматического переключения расход/давления в потребительской линии ГРС, то для управления блоком редуцирования был выбран АРС алгоритм Override-типа [3]. На рисунке 1 представлена структурная схема предлагаемой системы автоматического управления (САУ) ПРГ.

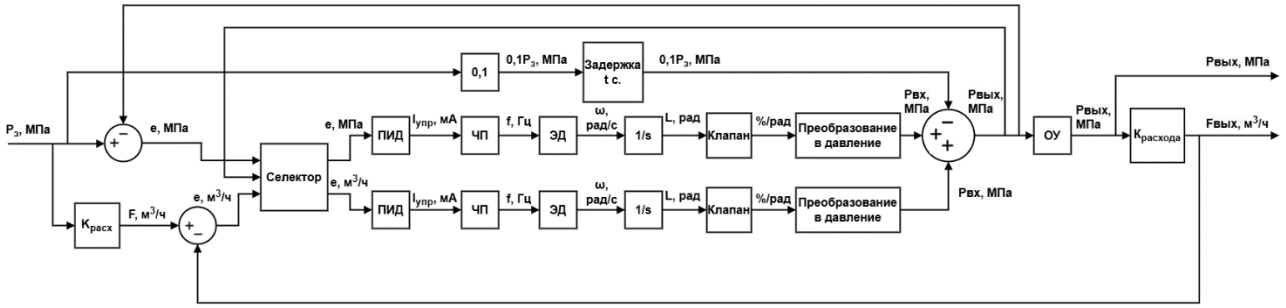


Рис. 1. Структурная схема предлагаемой САУ ПРГ

Были определены передаточные функции основных элементов структурной схемы.

Объектом управления является участок трубопровода между точкой измерения давления и регулирующим органом. Предполагается, что длина этого участка равна 10 метрам. Фактический расход газа после клапана определяется по формуле:

$$Q = K_{\text{v}}\sqrt{\Delta p}, \tag{1}$$

где K_{v} = 400 м³/час – пропускная способность клапана, Δp = 5,1 МПа = 52,0055 кгс/м³ – разница входного и выходного давления на трубопроводе пункта редуцирования газа (исходя из входного давления 6,3 МПа и выходного 1,2 МПа). Динамика объекта управления W(p) [4], выраженная передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{Q_{\text{k}}(p)}{Q(p)} = \frac{k}{T_{\text{p}} + 1}, \tag{2}$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q}, \tag{3}$$

$$c = \frac{Q}{f}\cdot\sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}}, \tag{4}$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4}, \tag{5}$$

где $Q_{\text{k}}(p)$ – объёмный расход газа после клапана; $Q(p) = Q$ – измеряемый объёмный расход ρ = 0.8 кг/м³ – плотность природного газа; L = 10 м – длина участка трубопровода между точкой измерения и точкой регулирования; d = 200 мм = 0,2 м – диаметр трубы; f – площадь сечения трубы; T – постоянная времени; $k \approx 1$ – коэффициент передаточной функции.

Подставив исходные данные в приведенные формулы, были рассчитаны параметры передаточной функции:

$$Q = K_{\text{v}}\sqrt{\Delta p} = 400 \cdot \sqrt{51} = 2856,57137\,\frac{\text{м}^3}{\text{час}} = 0,793492\,\frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \tag{6}$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,0314159\,\text{м}^2, \tag{7}$$

$$c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} = \frac{0,793492}{0,0314159} \cdot \sqrt{\frac{0.8}{2 \cdot 52,0055}} = 2,21513, \tag{8}$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 0,0314159 \cdot 2,21513^2}{0,793492} = 3,8854\,\text{с}, \tag{9}$$

$$W(p) = \frac{k}{T_{\text{р}} + 1} = \frac{1}{3,8854 \cdot p + 1}. \tag{10}$$

В данной математической модели предполагается, что переключение выполняется в результате сравнения относительных величин давления и расхода в линии, и, таким образом, при неблагоприятных условиях происходит переключение контуров стабилизации с давления на расход и обратно. На вход поступает уставка давления, которая преобразуется в расход. Данные значения поступают на контуры через селектор, в котором выполняется сравнение уставки входного и выходного давления. При рассогласовании этих значений селектор переключается с контура давления на контур расхода с целью компенсации ошибки.

В работе используются ПД-регуляторы с целью обеспечения переходной характеристики с минимальными колебаниями и перерегулированием. Передаточная функция ПД-регулятора имеет вид:

$$W_{\text{ПД}}(s) = K_{\text{р}} \cdot e(t) + K_{\text{d}} \cdot \frac{de}{dt}, \tag{11}$$

где $K_{\text{р}} = 1,2$ и $K_{\text{d}} = 0,9$ для ПД-регулятора контура давления, $K_{\text{р}} = 0,1$ и $K_{\text{d}} = 2$ для ПД-регулятора контура расхода – коэффициенты, полученные эмпирическим методом.

ПД-регулятор преобразует значение давления в токовый сигнал 4-20 мА, который затем преобразуется частотным преобразователем в значение частоты в Гц. Коэффициент передаточной функции частотного преобразователя определяется по формуле:

$$K_{\text{ЧП}} = \frac{\Delta f}{\Delta I} = \frac{50 - 0}{20 - 4} = \frac{50}{16} = 3,125\,\frac{\text{Гц}}{\text{мА}}, \tag{12}$$

где Δf – диапазон частот в Гц, ΔI – диапазон для токового сигнала в мА. Постоянная времени при этом принимается равной 0,2 с.

Электрическое питание, управляемое частотным преобразователем, поступает на электродвигатель асинхронного типа и меняет значение его угловой скорости. Коэффициент передаточной функции электродвигателя определяется как:

$$K_{\text{ЭД}} = \frac{\omega_{\text{ЭД}}}{f} = \frac{4,71239}{50} = 0,0942478\,\frac{\text{рад/с}}{\text{Гц}}, \tag{13}$$

где $\omega_{\text{ЭД}}$ – максимальная частота вращения вала электродвигателя в рад/с, f – максимальное значение частоты с частотного преобразователя в Гц. Постоянная времени в электродвигателе принимается равной 0,3 с.

Исходя из параметров выбранного регулирующего органа и времени полного открытия/закрытия клапана (5 секунд) его коэффициент передачи:

$$K_{\text{кл}} = \frac{100}{\omega_{\text{ЭД}} \cdot t} = \frac{100}{4,71239 \cdot 5} = \frac{100}{23,56195} = 4,24413\,\%/\,\text{рад}. \tag{14}$$

Учитывая, что клапан можно подобрать (выбрать) с линейной характеристикой преобразования процента открытия в давление, рассчитаем данный коэффициент. Согласно техническим характеристикам, регулирующий клапан обеспечивает выходное давление газа $P_{вых}$ = 1,2 МПа. Следовательно, на каждый процент открытия клапана будет приходиться значение давления:

$$K_{по} = \frac{P_{вых}}{100} = \frac{1,2}{100} = 0,012\,МПа/\%. \quad (15)$$

Для начального этапа оценки возможностей такой схемы стабилизации поставки природного газа потребителю были выполнены Model In Loop (MIL) испытания предложенной схемы стабилизации с использованием модели в математическом пакете прикладных программ (рис. 2).

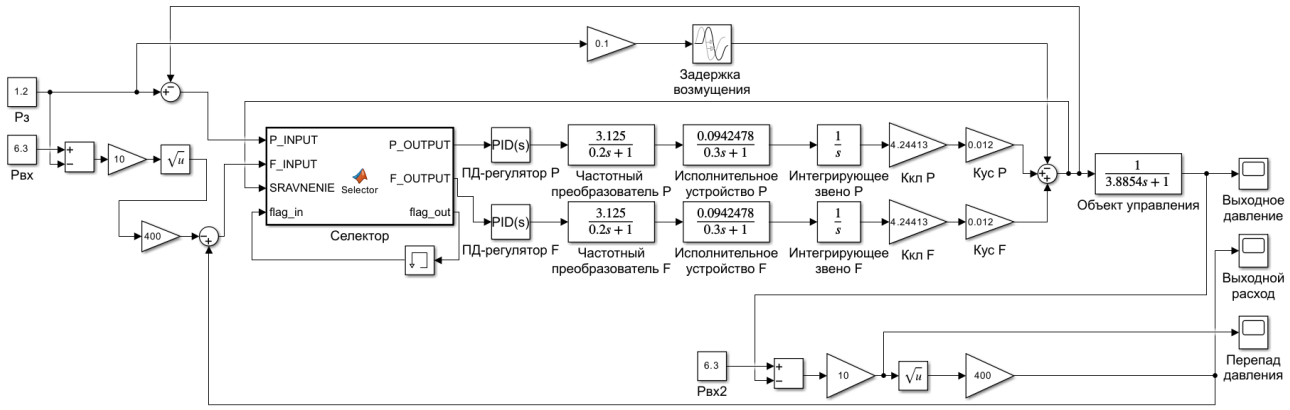


Рис. 2. Модель САУ ПРГ в математическом пакете прикладных программ

Поскольку главным возмущающим воздействием является изменение давления в газопроводе, была произведена проверка работы системы при скачкообразном снижении давления на 10% от заданного, то есть, 0,12 МПа. Снижение давления возможно, например, при кратковременном закрытии крана перед регулятором. При моделировании такой ситуации были получены переходные характеристики давления и расхода, представленные на рисунках 3 и 4 соответственно.

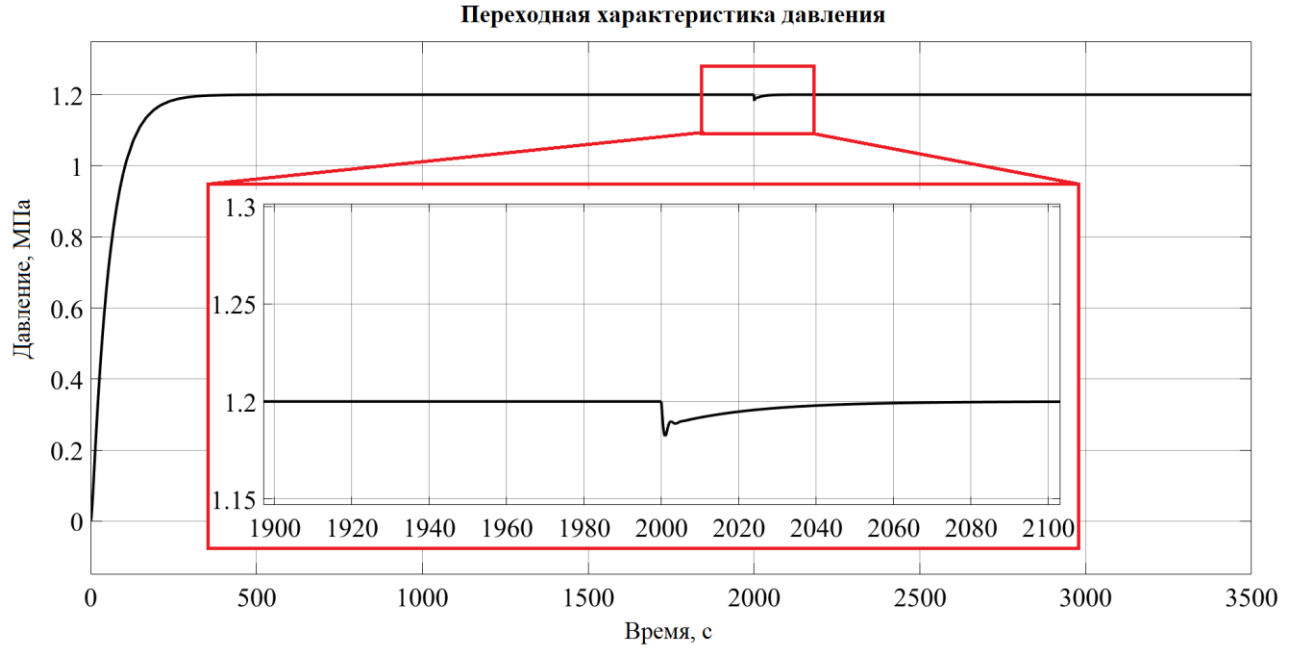


Рис. 3. Переходная характеристика давления при скачкообразном снижении давления

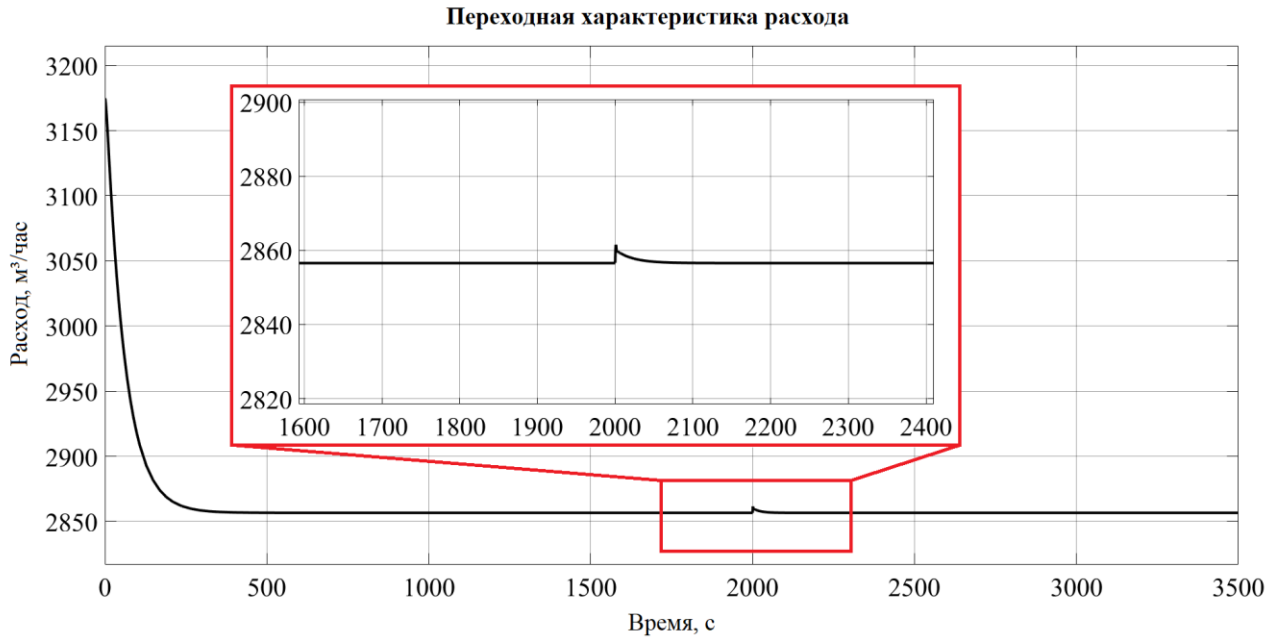


Рис. 4. Переходная характеристика расхода при скачкообразном снижении давления

Согласно полученным переходным характеристикам, давление и расход достигают установившегося значения в момент времени 457.995 с. После скачкообразного снижения давления в момент времени 2000 с происходит переключение контуров и давление возвращается к заданному за 45.128 с. Аналогичный процесс происходит и со значением выходного расхода газа.

Для упрощения, в следующей рассматриваемой ситуации с изменением давления представлена только переходная характеристика давления.

Далее была проанализирована обратная ситуация, возникшая при кратковременном закрытии выходного крана. В этом случае, было добавлено скачкообразное повышение давления на 10% от заданного, то есть, те же 0,12 МПа. При моделировании такой ситуации была получена переходная характеристика давления, представленная на рисунке 5.

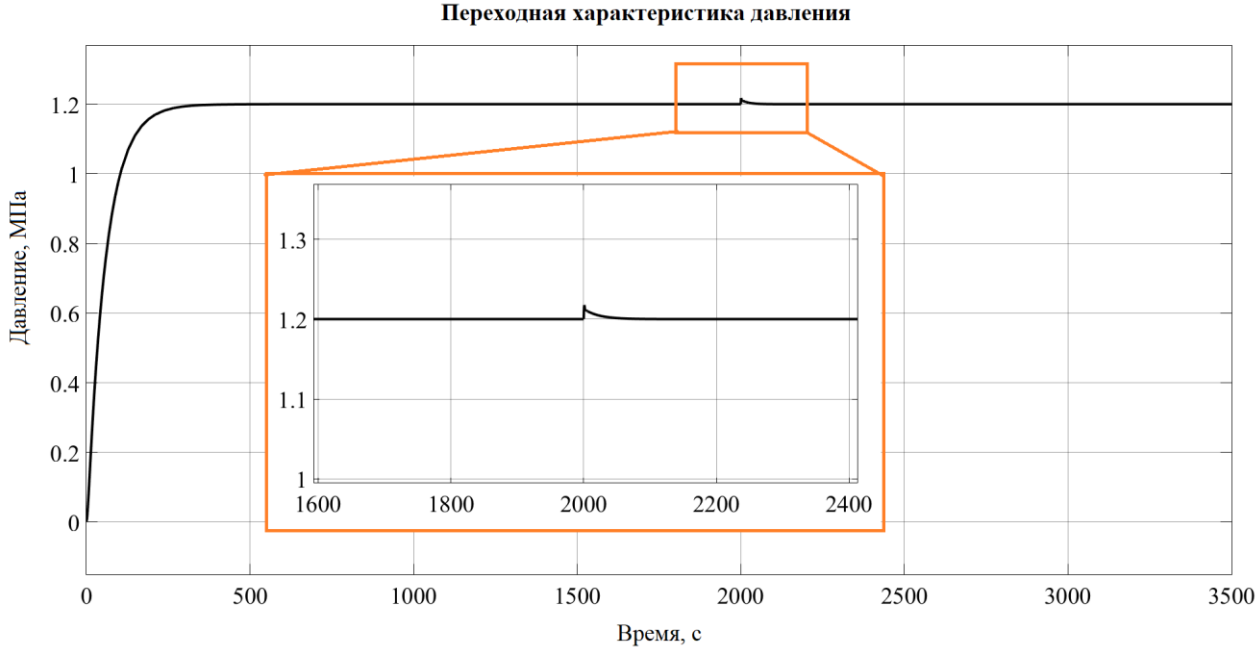


Рис. 5. Переходная характеристика давления при скачкообразном повышении давления

Как и в случае с понижением давления, при скачкообразном повышении давления происходит переключение контуров и давление возвращается к заданному приблизительно за такое же время 45.128 с.

Согласно полученным переходным характеристикам, перерегулирование в системе незначительно. Следовательно, можно сделать вывод о эффективности использования Override алгоритма для целей регулирования давления и расхода газа на блоке редуцирования газа в ГРС.

Заключение

В ходе выполнения работы был проведен и обзор проблемы пунктов редуцирования газа, где была обозначена необходимость в модернизации пунктов редуцирования газа с использованием двух линий редуцирования и применением современных средств автоматизации. Была проведена разработка варианта САУ ПРГ с использованием переопределяющего метода с регулируемыми параметрами давления и расхода газа. Для этого варианта САУ ПРГ проведены моделирование и анализ работоспособности в математическом пакете прикладных программ.

В результате моделирования был получен переходный процесс с удовлетворительным качеством регулирования. Также была выполнена проверка реакции системы на возмущающие воздействия. По итогам MIL испытаний сформирован вывод о корректности работы системы стабилизации.

Практическая ценность работы заключается в решении проблемы обеспечения стабильной поставки газа потребителям с поддержанием требуемых технологических параметров давления и расхода газа.

Предлагаемое решение по модернизации пунктов редуцирования газа может быть внедрено в энергетических компаниях на территории Российской Федерации. По результатам обсуждения работы на конференции будут продолжены исследования и дальнейшее совместное развитие предлагаемого варианта модернизации ПРГ со специалистами ООО «Газпром трансгаз Томск».

Список использованных источников

1. Васильев А.А. Основные проблемы эксплуатации пунктов редуцирования газа городов и населённых пунктов / Васильев А.А. // Символ науки. – 2020. – № 9. – С. 10-12.

2. Чурилин А.В. Пункты редуцирования газа: учебное пособие / А.В. Чурилин, Л.В. Демичева – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 92 с.

3. Override Control Functions // Instrumentation Tools. – 2024. – [Электронные ресурс]. URL: instrumentationtools.com/override-control-functions/ (дата обращения 11.10.2024).

4. Комиссарчик В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие / В.Ф. Комиссарчик – Тверь : Изд-во ФГБОУ ВО «ТвГТУ», 2001. – 204 с.

MIL-ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ЗАДВИЖКОЙ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ СИСТЕМЫ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

Пешков Н.С.[1], Громаков Е.И.[2]
[1] Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, 8Т12, e-mail: nsp20@tpu.ru
[2] Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: gromakov@tpu.ru

Аннотация
Работа посвящена исследованию применения метода Model In Loop (MIL) в проектировании контура управления приточно-вытяжной системы (ПВС). В работе представлена автоматная модель задвижки ПВС с алгоритмом управления. Рассмотрены преимущества автоматного подхода для описания событийной динамики объекта управления на этапах разработки математического обеспечения проектов АСУ ТП.

Ключевые слова: Model In The Loop, автоматная модель, ПВС, контур управления, проектирование.

Введение

В условиях современного развития технологий и роста требований к производственным процессам автоматизация становится ключевым направлением для повышения эффективности, надежности и устойчивости работы технических систем. При выполнении проектных работ широко используют модельно-ориентированное проектирование автоматизированных систем управления (АСУ), что позволяет оптимизировать управление технологическими процессами, снижать энергозатраты и обеспечивать точное выполнение заданных функций.

Одной из перспективных методологий разработки АСУ является Model In Loop (MIL). Этот метод позволяет создавать и тестировать контуры управления в виртуальной среде, что значительно упрощает процесс проектирования, снижает затраты и минимизирует ошибки на ранних этапах. Использование MIL позволяет исследовать поведение системы в различных эксплуатационных условиях, разрабатывать алгоритмы управления с учетом внешних воздействий и оценивать их работоспособность вплоть до фактического внедрения на объекте.

Актуальность настоящей работы заключается в том, что, хотя методология MIL активно применяется в таких высокотехнологичных отраслях, как автомобильная и аэрокосмическая промышленность, однако ее потенциал в области автоматизации инженерных систем раскрыт недостаточно. В работе [1] описывается применение метода MIL для автоматизации генерации программного кода для встраиваемых систем. Компания Cummins в статье [2] отмечает, что MIL позволяет проводить тестирование контроллеров двигателей в виртуальной среде моделирования, снижая зависимость от физических стендов.

Целью работы является проектирование контура управления задвижкой приточно-вытяжной системы вентиляции с применением методологии Model In The Loop.

Описание методологии Model In The Loop и выбор языка алгоритмизации

Model In The Loop – это метод проектирования и тестирования систем управления, при котором виртуальная модель управляемого объекта используется в качестве части контура управления [3]. В MIL происходит моделирования как сама система, так и её алгоритм управления. Это позволяет проверять, отлаживать и оптимизировать алгоритмы управления без необходимости использования реального оборудования на ранних этапах разработки.

MIL применяют на начальном этапе проектирования. На следующем этапе используют метод отладки программного обеспечения АСУ ТП-- Software-in-the-Loop.

Software-in-the-Loop (SIL) – это этап тестирования, при котором управляющий алгоритм, реализованный в виде программного кода, интегрируется в симуляционную среду. В отличие от Model-in-the-Loop (MIL), где алгоритм управления представлен в виде модели, в SIL используется уже сгенерированный программный код, который будет интегрирован в аппаратную среду проекта автоматизации этапах. SIL может использоваться обособленно от MIL, но это зависит от требований проекта. В основном, его выгодно использовать отдельно, если важна проверка готового кода без выполнения этапа моделирования. Однако оптимальная стратегия предполагает их последовательное использование.

Hardware-in-the-Loop (HIL) – это этап тестирования, при котором физический контроллер интегрируется с симуляционной моделью объекта управления (ОУ). Это позволяет проверить взаимодействие реального оборудования с виртуальной моделью объекта в условиях, приближенных к реальным.

HIL является дополнением метода MIL, а не его заменой, потому что HIL применяется на поздних этапах разработки, когда алгоритмы управления уже протестированы. Применение HIL обособленно от MIL возможно, но не рекомендуется, так как повышается риск пропуска ошибок, поломок оборудования, что в свою очередь повышает затраты.

Для описания событийной динамики модели задвижки приточно-вытяжной системы был выбран автоматный метод проектирования алгоритма управления в виде графа переходов. Граф переходов – это визуальная, событийно-математическая конструкция, описывающая возможные состояния системы и переходы между ними. Применение графа переходов для описания алгоритма управления известна как «SWITCH-технология» [4]. Эта технология основывается на разработке систем логического управления на базе конечных автоматов. В данной технологии используется специальная область программирования – автоматное программирование.

Выбор такого метода алгоритмизации обосновывается следующими требованиями:

1. Специалисты различных областей знаний должны однозначно и просто понимать, что должно быть сделано, что делается и что сделано в проекте.

2. Необходимо, чтобы переход от алгоритма к программам на различных языках программирования происходил формально и изоморфно, используя минимальное число внутренних переменных в программах, так как они затрудняют понимание программы.

3. Необходимо обеспечить простоту и корректность изменения разработанных алгоритмов.

4. Валидация алгоритма и программы управления должна быть прозрачной и легко проверяемой.

Цель использования графа переходов как языка алгоритмизации заключена в обеспечении быстрой проверки модели для проектов АСДУ. Быстрая валидация алгоритма управления обеспечивается за счет того, что с использованием модельной среды упрощается понимание между заказчиком, технологом, разработчиком, программистом, оператором и контроллером, то есть все основные участники проекта могут легко внести свои предложения в проектные решения. Кроме того, повышение эффективности разработки проекта обеспечивается за счет создания для различных типов управляющих вычислительных устройств и языков программирования единого подхода к формальному и изоморфному построению алгоритмов управления.

Разработка событийной модели задвижки и MIL тестирование

Началом процесса разработки событийной модели стало определение основных состояний задвижки ПВС. Стоит отметить, что в данной работе под управлением ПВС рассматривается только управление открытием и закрытием задвижки.

Были определены основные состояния задвижки: (1) открыта, (2) Закрыта, (3) Включен пускатель на закрытие, (4) Включен пускатель на открытие, (5) Промежуточное положение.

На основе выявленных состояний задвижки была разработана событийная модель в виде графа переходов (рис. 1). Данный граф был реализован в математическом программном обеспечении, поддерживающем парадигму автоматного программирования (рис. 2).

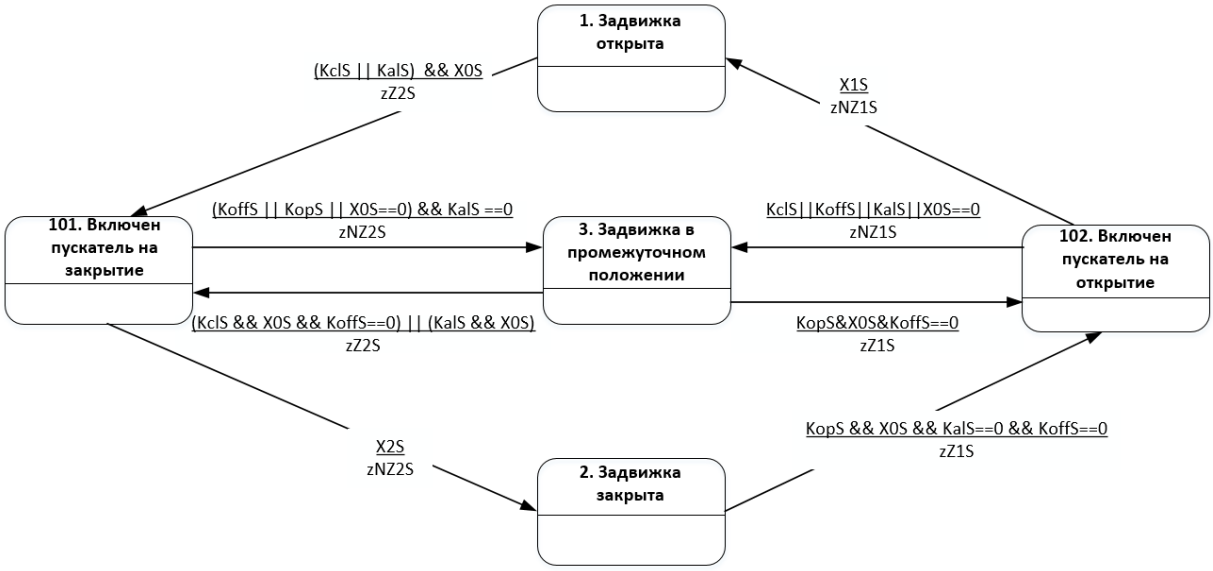


Рис. 1. Граф переходов событийно модели задвижки

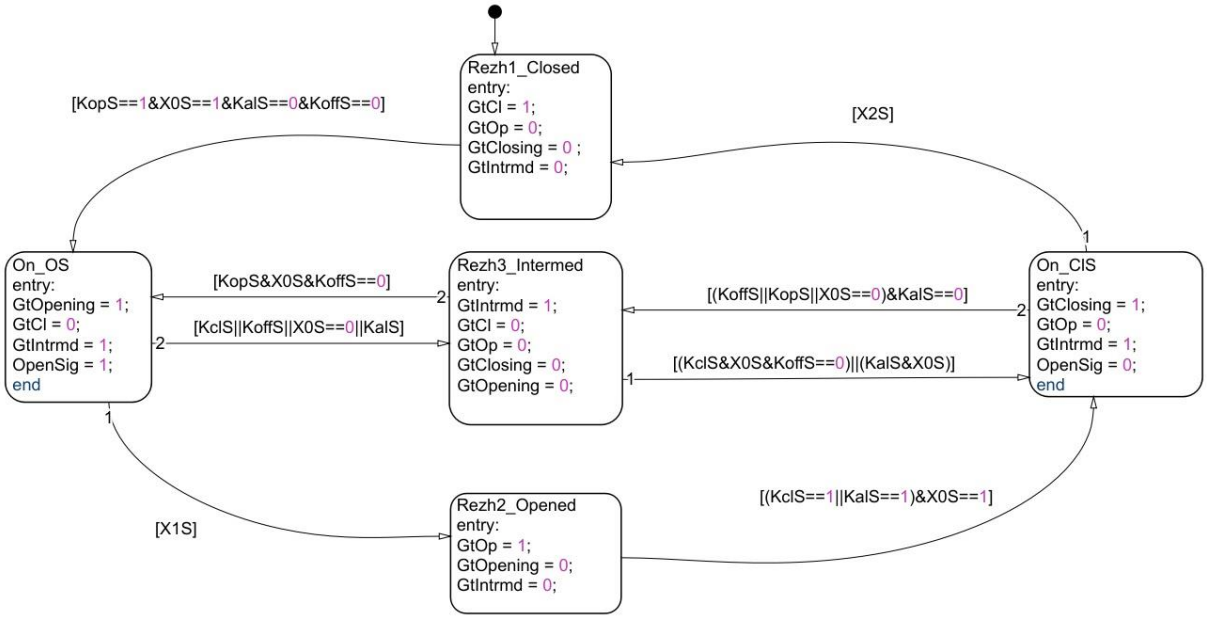


Рис. 2. Событийная модель задвижки в математическом программном обеспечении

Модель была протестирована при различных сценариях работы задвижки. Так автоматная модель сценария отработки поступления сигнала «Пожар» при открытии задвижки показана на рисунке 3. На рисунке 3,а показаны входные и выходные сигналы модели в момент времени, когда задвижка открывается по команде на открытие. При подаче питания на привод задвижки, команда на открытие включает пускатель на открытие (сигнал Gate Opening). Рисунок 3,б отражает входные и выходные сигналы модели в момент времени, когда поступает команда «Пожар». На рисунке 3,б видно, что включается пускатель на закрытие (сигнал Gate Closing) и в это же время пропадает сигнал Gate Opening, демонстрирующий включение пускателя на открытие. Рисунок 3,в показывает входные и выходные сигналы модели в следующий момент времени, когда завершается закрытие задвижки. Исходя из сигналов видно, что задвижка перешла в состояние «Закрыта» даже при ошибочной команде на открытие (сигнал Open Command).

Анализ сценариев работы задвижки ПВС с использованием автоматной модели MIL позволяет заключить, что алгоритм корректно отрабатывает входные сигналы и тем самым подтверждается применение его в АСУ ТП.

Рис. 3. Входные и выходные сигналы модели в случае отработки сценария появления команды «Пожар»:
а – сигналы в момент открытия задвижки
б – сигналы в момент появления команды «Пожар»
в – сигналы в момент, когда завершилось закрытие задвижки

Заключение

В работе была представлена концепция и применимость метода Model In Loop для разработки автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ). Проведенный анализ показал, что метод MIL эффективно подходит для проектирования и верификации автоматизированных систем, особенно на этапах подготовки приемо-сдаточного материала и разработки математического обеспечения проектов. В рамках работы был проанализирован подход автоматного программирования, предложенный А.А. Шалыто, как один из методов описания событийной динамики контуров управления. На его основе была разработана автоматная модель задвижки приточно-вытяжной системы вентиляции в программном пакете математического моделирования, которая позволяет протестировать процессы открытия и закрытия задвижки при различных сценариях эксплуатации.

Список использованных источников

1. Оськин Д.А., Громашева О.С., Дьяченко М.Е. Модельно-ориентированный подход для автоматизации генерации программного С-кода для встраиваемых систем из модели Matlab / Simulink // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 10. – С. 92-97.

2. Benefits of Model-In-The-Loop testing in the development cycle // Cummins.com: сайт. – 2024. [Электронный ресурс]. – URL: cummins.com/news/2024/03/07/benefits-model-loop-testing-development-cycle (дата обращения: 18.11.2024).

3. Кулаков А.Ю., Смирнов А.В. Технология аппаратно-программного моделирования датчиков ориентации космического аппарата на базе микроконтроллера STM32 // Труды СПИИРАН. – 2021. – №1(70). – С. 50-53.

4. Шалыто А.А. Swtich-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления : С-Пб : Наука. – 1998. – 55 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ГАЗОВ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

Погорелова А.Ю.
Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники 8Т11, e-mail: ayc10@tpu.ru

Аннотация

Надлежащий контроль выбросов природного газа на месторождения является основой для торговли квотами газодобывающей отрасли на выбросы углерода, а автоматическая система безопасности и автоматизированная система мониторинга имеют решающее значение для создания надежной системы контроля выбросов углерода и повышения объективности контроля объемов выбросов. Автоматизированная система контроля выбросов газов при добыче углеводородов позволяет непрерывно отслеживать и анализировать объемный уровень выбросов, оперативно реагировать на их превышение. Внедрение автоматизации способствует рациональному использованию ресурсов, повышению безопасности и эффективности производственных процессов.

Ключевые слова: Автоматизация, контроль выбросов, квотовый регулятор выбросов газа, мониторинг, безопасность добычи газа.

Введение

Автоматизированные и автоматические системы контроля на скважине добычи газа предназначены для непрерывного мониторинга параметров работы скважины, своевременного обнаружения и предотвращения аварийных ситуаций добычи газа, а также для оптимизации процесса его добычи. Состав и функциональность таких систем могут варьироваться в зависимости от их назначения и требований к безопасности и эффективности добычи. Целевым регулятором при контроле выбросов в данной работе является квотовый контроль выбросов добываемого газа. Он устанавливает задания системам автоматического контроля для предотвращения выбросов газа в атмосферу. Для эффективного контроля выбросов газа применяют такие технологии как автоматический контроль параметров потока добываемого газа (P, Q, %), противоаварийная защита и автоматизированный мониторинг. В газодобыче применяют специальные технологии и инструменты автоматизации, которые помогают улучшить эффективность и безопасность процесса добычи газа. Обычно они включают в себя:

- Системы удаленного мониторинга и управления добычей газа, которая позволяет оператору дистанционно контролировать ключевые параметры технологического оборудования, выполняют ее запуск/остановку и другие функции.
- Автоматические системы управления, которые без участия оператора обеспечивают контроль и оптимизацию параметров работы скважин. Для этого применяются различные алгоритмы: позиционные, пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД), усовершенствованные (APC), модельные с предсказанием.
- Системы компьютерного мониторинга в реальном времени по месту расположения скважин на месторождении газа. Эти системы позволяют операторам получать информацию о работе скважин в режиме реального времени.

На рынке существует несколько автоматизированных систем, специализирующихся на сборе и анализе данных о процессах добычи газа. Вот некоторые из них:

1. OSIsoft PI System [3]. Одна из ее главных особенностей – это Smart способность считывать данные из различных источников (измерений технологических параметров, указаний регламентов, измерений погодных условий, оценки состояния оборудования и др.).

2. Honeywell Unified Operations Center [4]. С ее помощью операторы и руководители могут получать оперативную информацию о процессах и принимать быстрые и правильные решения по управлению промышленными процессами.

3. AVEVA System Platform [5]. Умная автоматизированная система предоставляет средства для сбора данных из различных источников, включая SCADA-системы, которые используются для контроля и управления промышленными процессами.

4. PELCO Gas Management System [6]. Ключевым преимуществом системы PELCO является возможность анализа данных для оптимизации производства газа. Система собирает информацию о процессах добычи, анализирует ее и предоставляет операторам рекомендации по оптимизации производственных процессов.

Однако применение перечисленных систем для контроля выбросов газа имеют ограниченные возможности. Несмотря на значительный прогресс в развитии автоматизации систем контроля выбросов, их применение сталкивается с рядом проблем и ограничений.

Рассмотрим ключевые недостатки:

1. Ограниченная точность систем контроля – многие существующие системы не обладают достаточной точностью измерений, особенно в условиях сложной добычи газа, где уровни выбросов могут варьироваться из-за изменения давления и температуры, окружающей среду.

2. Высокая стоимость внедрения и эксплуатации – интеграция автоматизированных систем требует значительного финансирования и на начальном этапе, и на эксплуатационном.

3. Недостаточный контроль утечек газа – несмотря на наличие технологий, некоторые системы не способны оперативно выявлять небольшие утечки, что приводит к потерям газа и увеличению углеродного следа.

Целью доклада является минимизация выбросов газа при его добыче за счет использования автоматической системы контроля.

Описание решения

Предлагаемая автоматизированная система контроля выбросов газов на скважине при добыче углеводородов включает в себя ряд программно-аппаратных средств, обеспечивающих мониторинг, обработку данных и управление процессами. Используемые автоматизированные системы позволяют значительно повысить уровень экологической безопасности, снизить риски аварийных ситуаций и оптимизировать производственные затраты.

Общее назначение схемы

Система предназначена для мониторинга, регулирования и управления процессом выбросов газа в ходе его добычи. Включает в себя датчики, расходомеры, регулирующие устройства и контроллеры (рис.1).

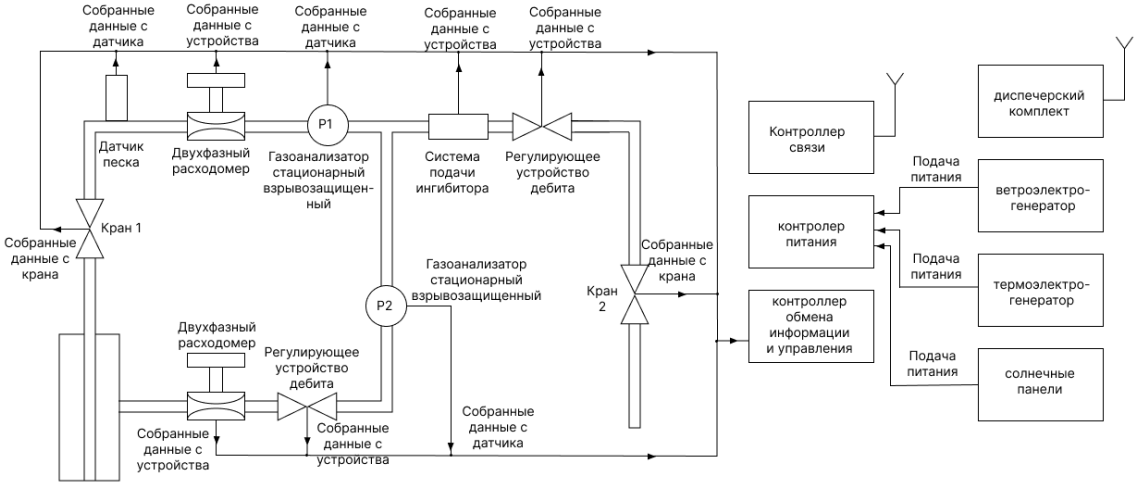


Рис. 1. Функциональная схема добычи газа

Система контроля состоит из нескольких компонентов, которые работают в связке для непрерывного контроля выбросов:

- Электропитание – обеспечивает стабильную работу всех элементов системы.
- Датчики и сенсоры – собирают данные о параметрах выбросов.
- Контроллеры – анализируют поступающие данные в реальном времени.
- Исполнительные механизмы – регулируют параметры добычи газа, уменьшая утечки и объем выбросов.
- Мониторинг и диспетчерская система – позволяют операторам получать данные, формировать отчеты и принимать решения.

Механизмы контроля выбросов:

- Автоматический контроль утечек газа – система выявляет утечки и предотвращает их распространение.
- Противоаварийная защита – минимизирует риски взрывов и возгораний.
- Квотовый контроль выбросов – следит за соблюдением допустимых норм выбросов, регулирует интенсивность добычи.

Таблица 1. Выбранные компоненты, которые устанавливаются на устье скважины

Параметр	Выбранный датчик	Альтернативный датчик
Датчики песка	КАДЕТ	Siemens Sitrans AS100
Двухфазный расходомер	Emercon Micro Motion	Enderess+Hauser Proline
Регулирующее устройство дебита	Fisher DVC6200	ABB TZIDC
Задвижки	Auma SA	Siemens SIPART
Контроллер связи	Siemens SCALANCE	Moxa NPort
Диспетчерский комплект	Siemens WinCC	ABB Symphony Plus

При возникновении аномалии, связанной с выбросом газа, датчик на устье фиксирует падение давления ΔP, и в случае сохранения расхода газа в трубопроводной структуре его отбора алгоритм управления устанавливает выполнение следующих действий:

1. Система изолирует участок, закрывая ближайшие клапаны.
2. Запускается акустическая или оптическая диагностика для локализации утечки.
3. Данные передаются в экологический мониторинг для учета в квотах.

Внедрение автоматизированного контроля выбросов газа с использованием предложенных датчиков и исполнительной системы повышает эффективность газодобычи по нескольким ключевым параметрам:

1. **Снижение потерь газа и экономия ресурсов.** Точные двухфазные расходомеры позволяют снизить неопределенность при измерении расхода газа, что уменьшает потери на 5-10%. Системы мониторинга выбросов и утечек (например, Dräger Polytron 8000) оперативно выявляют утечки газа, что сокращает потери на 8–12 %.

2. **Уменьшение аварийных ситуаций.** Автоматизированный мониторинг утечек и контроль давления (Siemens SCALANCE, Fisher DVC6200) позволяют сократить количество внеплановых аварий на 30–40 %. Оперативное выявление аномалий предотвращает крупные выбросы, что снижает экологические риски.

3. **Повышение точности учета выбросов.** Внедрение современных газоанализаторов (Dräger Polytron 8000) позволяет увеличить точность учета выбросов до 95–97 %, что соответствует строгим международным стандартам (такие как, EU ETS, EPA). Системы обработки данных на основе Big Data позволяют использовать статистические методы обнаружения утечек и корректировать параметры добычи, что увеличивает эффективность скважин.

Общий эффект от внедрения автоматизированного контроля выбросов:

- Снижение выбросов парниковых газов: на 10–20 % за счет точного мониторинга и устранения утечек.
- Экономия на штрафах и компенсациях: до 15–25 % затрат на экологические выплаты.
- Общее повышение эффективности добычи газа: на 10–15 % за счет точного контроля параметров и предотвращения неэффективных потерь.

Заключение

Автоматизированная система контроля выбросов газов при добыче углеводородов представляет собой перспективное направление квотового контроля выбросов газа в отрасли. Внедрение современных систем контроля выбросов приводит к повышению общей эффективности газодобычи на 5-10% и снижает негативное воздействие на окружающую среду. Однако, для успешной реализации предлагаемой концепции необходимо выполнить дополнительные модельные исследования систем контроля.

Список использованных источников

1. Экономика энергетики – Справочник от автор2024 [Электронный ресурс]. – URL: spravochnick.ru/ekonomika/ekonomika_energetiki/ (дата обращения: 20.10.2024).
2. Природный газ как топливо [Электронный ресурс]. – URL: vuzlit.com/738642/prirodnyy_gaz_kak_toplivo#:~:text=Как%20источник%20энергии%20природный%20газ,хоть%20и%20имеет%20меньший%20КПД (дата обращения: 10.10.2024).
3. PI SYSTEM – PI SYSTEM [Электронный ресурс]. – URL: indusoft.ru/products/osisoft/PI_SYSTEM/ (дата обращения: 15.11.2023).
4. Как Удаленные операционные центры могут помочь компаниям в переходном периоде [Электронный ресурс]. – URL: powermag.com/how-remote-operation-centers-can-help-companies-transition/ (дата обращения: 15.11.2024).
5. Платформа управления операциями в режиме реального времени – aveva [Электронный ресурс]. – URL: aveva.com/en/products/system-platform/ (дата обращения: 15.11.2024).
6. Pelco: оборудование для промышленных объектов. – vrsystems [Электронный ресурс]. – URL: vrsystems.ru/stati/pelco_oborudovanie_dlya_promishlennix_obektov.htm (дата обращения: 15.11.2024).
7. Удаленный мониторинг – передовая энергетика [Электронный ресурс]. – URL: p-energetica.ru/service/monitoring/ (дата обращения: 07.12.2024).

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ПРОЕКЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ВЕДУЩЕЙ ГИПЕРПЛОСКОСТИ

Попов Е.И.[1], Глазырин А.С.[2], Копырин В.А.[3], Попов С.С.[4], Боловин Е.В.[5]
[1] ТИУ, г. Тюмень, аспирант, popovei72@mail.ru
[2] НИ ТПУ, ИШЭ, г. Томск, д.т.н., профессор ОЭЭ
[3] ТИУ, г. Тюмень, к.т.н., и.о. заведующего каф. КС
[4] НИ ТПУ, ИШЭ, г. Томск, аспирант ОЭЭ
[5] НИ ТПУ, ИШЭ, г. Томск, к.т.н., доцент ОЭЭ

Аннотация

Предложен метод проекционного сопровождения ведущей гиперплоскости для решения задачи оценивания параметров линейной нестационарной динамической системы по малому числу наблюдений на примере апериодического звена (*RL*-цепи). Выполнено сравнение предложенного метода с методом сопряженных градиентов

Ключевые слова: оценивание параметров по малому числу наблюдений, метод наименьших квадратов, проекционная идентификация, нестационарная динамическая система.

Введение

При решении задач управления стационарными и нестационарными динамическими системами различной природы [1, 2] нередко возникает проблема идентификации параметров математической модели. При этом для большинства инженерных приложений наибольший практический интерес представляет именно динамическая (текущая или online) идентификация. Характерной задачей является, например, идентификация параметров математической модели электропривода погружной установки скважинной добычи нефти, находящейся в режиме прерывистой эксплуатации. Так, при синтезе бездатчиковой системы управления электроприводом установки центробежных электронасосов (УЭЦН), замкнутой по наблюдателю состояния [3], необходимо учитывать, что динамическая система «длинный питающий кабель – погружной электродвигатель» является существенно нестационарной, что связано как с климатическими особенностями региона эксплуатации скважины, так и со спецификой технологического процесса добычи нефти в прерывистых режимах эксплуатации [4].

Основная часть

Рассмотрим апериодическое звено первого порядка (*RL*-цепь):

$$\frac{di(t)}{dt} = \hat{k}_1 U(t) + \hat{k}_2 i(t), \quad (1)$$

где $i(t)$ – ток, $U(t)$ – напряжение, $\hat{k}_1 = \frac{1}{\hat{L}}$, $\hat{k}_2 = -\frac{\hat{R}}{\hat{L}}$ – оценки неизвестных параметров модели, $\hat{R}$ – оценка активного сопротивления, $\hat{L}$ – оценка индуктивности, t – время.

Получим дискретную модель системы (1) на основе многошагового неявного метода интегрирования Милна 4 порядка [5, 6].

$$F_y[k] = k_1 F_U[k] + k_2 F_i[k], \quad (2)$$

где $F_y[k] = \frac{8}{3 \cdot \Delta t}\left(i[k] - i[k-3]\right)$, $F_U[k] = U[k] + 3 \cdot U[k-1] + 3 \cdot U[k-2] + U[k-3]$, k – шаг дискретизации, $F_i[k] = i[k] + 3 \cdot i[k-1] + 3 \cdot i[k-2] + i[k-3]$, Δt – период дискретизации.

Составим нормальную систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (3), затем приведем ее к классической постановке метода наименьших квадратов (МНК) (4) [7]:

$$\mathbf{X}\cdot\mathbf{k}=\mathbf{y}, \tag{3}$$

где $\mathbf{X}=\begin{pmatrix} F_U[k] & F_i[k] \\ F_U[k-1] & F_i[k-1] \\ \vdots & \vdots \\ F_U[k-n] & F_i[k-n] \end{pmatrix}$, $\mathbf{k}=\begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \end{pmatrix}$, $\mathbf{y}=\begin{pmatrix} F_y[k] \\ F_y[k-1] \\ \vdots \\ F_y[k-n] \end{pmatrix}$, n – число замеров в окне просмотра.

Псевдорешение матричного уравнения (3) в МНК-постановке находится путем составления и решения следующей СЛАУ:

$$\mathbf{X}^T\cdot\mathbf{X}\cdot\mathbf{k}=\mathbf{X}^T\cdot\mathbf{y} \Leftrightarrow \mathbf{A}\cdot\mathbf{k}=\mathbf{b}, \tag{4}$$

где T – знак транспонирования, $\mathbf{A}$ – информационная матрица (положительно определённая, симметричная), $\mathbf{A}=\mathbf{X}^T\mathbf{X}$, $\mathbf{b}=\mathbf{X}^T\mathbf{y}$.

Искомые векторы для системы (4) могут быть получены разными методами итерационного решения систем линейных алгебраических уравнений, либо методами минимизации нелинейных функций, если рассматривать некоторую квадратичную функцию потерь. Однако нахождение псевдорешения переобусловленной СЛАУ методом наименьших квадратов не использует никакой априорной информации относительно ошибок измерений, при этом на малом числе наблюдений классические гипотезы об эффективности и несмещенности оценки, полученной методом наименьших квадратов, не выполняются, а значит псевдорешение СЛАУ будет гарантированно смещено относительно глобального экстремума [8].

Таким образом, к решению задачи оценивания сформулируем следующие требования:

1. Устойчивость итерационного процесса оценивания в смысле ограниченности по норме вектора искомых коэффициентов.

2. Относительно малые вычислительные затраты на поиск решения при составленных СЛАУ.

Такими свойствами обладает, например, метод Качмажа или другие методы из подпространства Крылова [9], основанные на процессе последовательного приближения к решению путем проведения проекций на гиперплоскости, которые определяются уравнениями системы. Поскольку нахождение координат проекции на гиперплоскость является вычислительно устойчивой операцией, для решения задачи оценивания параметров по малому числу наблюдений данный подход может быть упрощен с точки зрения уменьшения количества шагов проведения проекций при МНК-постановке задачи на каждом шаге оценивания.

Оценка параметров методом проекционного сопровождения ведущей гиперплоскости на каждом шаге скользящего окна просмотра вычисляется следующим образом:

$$\hat{\mathbf{k}}[k]=\hat{\mathbf{k}}[k-1]+\frac{\left(\mathbf{b}^{\langle h\rangle}[k]-\mathbf{A}^{\langle h\rangle}[k]\cdot\hat{\mathbf{k}}[k]\right)\cdot\mathbf{A}^{\langle h\rangle}[k]}{\left\|\mathbf{A}^{\langle h\rangle}[k]\right\|_2^2}, \tag{5}$$

где $\bullet^{\langle\cdot\rangle}$ – знак номера строки (ведущей гиперплоскости), y – номер ведущей гиперплоскости (выбирается однократно и не меняется в течение всего времени работы алгоритма), $\|\bullet\|_2$ – знак l_2 (евклидовой) нормы матрицы.

Выполним оценку работоспособности метода проекционного сопровождения ведущей гиперплоскости на рассматриваемой динамической системе (2) и сравним с методом сопряженных градиентов (МСГ). Выбор метода сопряженных градиентов для сравнения с методом проекционной идентификации был сделан из соображений схожих стратегий построения алгоритма. Однако в отличие от проекционной идентификации, где выбирается одна ведущая гиперплоскость, к которой в течение всего времени проводится проекция из предыдущей гиперплоскости, в то время МСГ проводит проекции к подпространствам Крылова [9], таким образом каждый новый шаг ортогонален (сопряжен) предыдущему.

Положим полное время моделирования равным 4 с. В рамках модельной задачи предположим, что температура эксплуатации изменяется, что приводит к изменению R. Функцию $R = R(t)$ в (1) принимаем кусочно-постоянной. Зависимость активного сопротивления R от температуры выражается следующей формулой:

$$R_2 = R_1\left(1+\alpha\left(\tau_2 - \tau_1\right)\right), \tag{6}$$

где α – температурный коэффициент, α = 0,004 (для меди), τ – температура.

При моделировании были приняты следующие значения температур стационарного теплового поля: τ_1 = -60 °С, τ_2 = 20 °С, τ_3 = 100 °С. Соответствующие им значения сопротивлений: R_1 = 2 Ом, R_2 = 2,64 Ом, R_3 = 3,28 Ом. Индуктивность принимаем равной L = 0,1 Гн. Значения постоянных времени для каждого случая соответственно: T_{a1} = 0,05 с, T_{a2} = 0,038 с, T_{a3} = 0,03 с. Частота дискретизации $f_д$ = 20 кГц. Примем ширину окна просмотра равной $0{,}5T_{a1}$, – 500 точек при заданной частоте дискретизации.

Входными данными являлись переходные характеристики тока и напряжения в апериодическом звене при подключении источника синусоидального напряжения, начальные условия приняты нулевыми. На характеристики наложена аддитивная смесь двух групп помех: имеющих нормальное гауссово распределение, и помехи импульсного характера (рисунок 1).

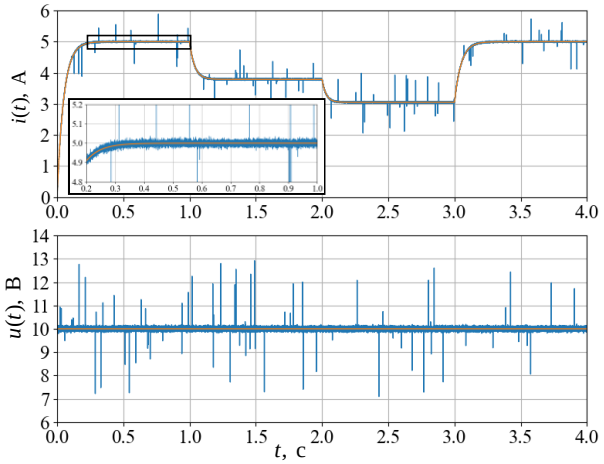


Рис. 1. Осциллограммы токов и напряжений (оранжевым цветом показано эталонные характеристики, синим – с наложенными шумами)

Результаты

Осциллограммы оценок R, L для метода проекционного сопровождения ведущей гиперплоскости и метода сопряженных градиентов – см. на рисунках 2 и 3 соответственно.

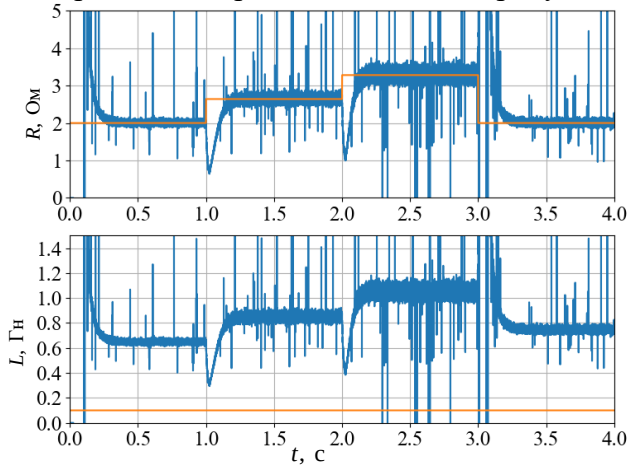


Рис. 2. Оценивание параметров нестационарной RL-цепи методом проекционного сопровождения ведущей гиперплоскости (оранжевым цветом показано эталонное значение параметра, синим – оценка)

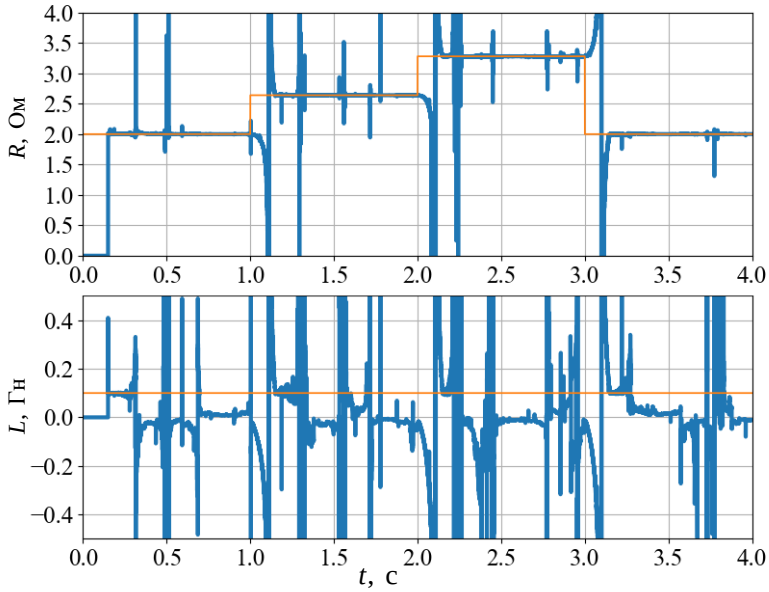


Рис. 3. Оценивание параметров нестационарной RL-цепи методом сопряженных градиентов (оранжевым цветом показано эталонное значение параметра, синим – оценка)

Для количественной оценки эффективности работы методов оценивания параметров динамической системы выполним расчет относительной погрешности для каждого участка стационарности (таблица 1) за вычетом ширины окна просмотра 0,025 с.

Таблица 1. Сравнение относительных погрешностей оценивания параметров для рассматриваемых методов

Относительная погрешность	**Промежуток времени, с**			
	0,025 – 1	1,025 – 2	2,025 – 3	3,025 – 4
Метод проекционного сопровождения ведущей гиперплоскости				
ΔR, %	38,8	4,3	3,9	-2,2
ΔL, %	-340	-716	-911	-657
Метод сопряженных градиентов				
ΔR, %	12,7	1,5	2,5	-6,4
ΔL, %	140	84	122	95

Из анализа рис. 2 и 3 видно, что большая эффективность оценивания по малому числу наблюдений достигается при оценивании активного сопротивления R. При этом оценки индуктивности L либо оказываются сильно смещенными, либо оказываются не найденными (смещение к окрестности нуля для метода сопряженных градиентов). Согласно таблице 1 в большинстве случаев точность оценивания методом сопряженных градиентов выше, однако смещение оценок индуктивности в окрестность нуля на установившемся режиме динамической системы для метода сопряженных градиентов в замкнутых системах регулирования может привести к потере устойчивости системы.

В инженерных задачах наибольший практический интерес представляет именно задача текущего оценивания активного сопротивления, зависящего от температуры окружающей среды, в то время как оценки индуктивности могут быть получены методами предварительной идентификации или из каталожных данных.

Заключение

Предложенный метод проекционного сопровождения ведущей гиперплоскости для задачи текущего оценивания (на скользящем окне просмотра) параметров нестационарной динамической системы позволяет получать оценки на основе однократного проведения

вычислительно устойчивой операции нахождения координат проекции на ведущую гиперплоскость СЛАУ МНК-задачи. Преимуществом предложенного метода является экономия вычислительных ресурсов, так как при большой размерности информационной матрицы **A** оценивание ведется только по одной ведущей гиперплоскости.

В дальнейшем интерес представляет задача идентификации нестационарных нелинейных динамических систем предложенным методом, в частности в задачах управления, идентификации и диагностики погружных синхронных и асинхронных электродвигателей установок скважинной добычи нефти.

Список использованных источников

1. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 632 с.
2. Калман Р.Е. Идентификация систем с шумами / Р.Е. Калман // Успехи математических наук, 1985. –Т. 40. – № 4. – С. 25-42.
3. Разработка наблюдателя угловой скорости ротора и момента сопротивления на валу регулируемого синхронного двигателя с постоянными магнитами, питающегося через длинный кабель / А.С. Глазырин, Е.И. Попов, В.А. Копырин, С.С. Попов, Е.В. Боловин, В.З. Ковалев, Р.Н. Хамитов, В.В. Тимошкин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 11. – С. 237–257.DOI: 10.18799/24131830/2024/11/4879.
4. Лихачёва Е.А. Надежность погружных нефтяных насосов при периодической эксплуатации / Е.А. Лихачёва, В.Г. Островский, Н.А. Лыкова, А.Н. Мусинский, П.А. Байдаров // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2021. – Т. 6. – № 1. – С. 54–58. DOI: 10.51890/2587-7399-2021-6-1-54-58.
5. Пантелеев А. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения в примерах и задачах: Учеб. Пособие / А.В. Пантелеев, А.С. Якимова, А.В. Босов. – Москва: Высшая школа, 2001. – 376 с.
6. Попов Е. И. Влияние методов дискретизации на обусловленность информационной матрицы и характер формирования гиперсфер ошибок в задачах оценивания параметров по малому числу наблюдений / Е. И. Попов, А. С. Глазырин, В. А. Копырин // Системы анализа и обработки данных. – 2025. – № 1(97). – С. 85-104. – DOI 10.17212/2782-2001-2025-1-85-104.
7. Коновалов В.И. Идентификация и диагностика систем: учебное пособие / В.И. Коновалов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 163 с.
8. Фурсов В.А. Идентификация систем по малому числу наблюдений / В.А. Фурсов. – Самара : Изд-во СГАУ, 2007. – 81 с.
9. Куксенко С.П. Итерационные методы решения системы линейных алгебраических уравнений с плотной матрицей / С.П. Куксенко, Т.Р. Газизов. – Томск : Томский государственный университет, 2007. – 208 с.

ДОРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КУСТА СКВАЖИН ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧЕЙ ГАЗА

Романов И.В.[1], Зебзеев А.Г.[2]
[1]Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники 8Т11, e-mail: ivr19@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, доцент ОАР, e-mail: zebzeevAG@tomsknipi.ru
АО «ТомскНИПИнефть», Экспертная группа, Главный эксперт по цифровизации

Аннотация

Основная цель исследования заключается в разработке программного обеспечения и интеграции цифрового двойника в систему автоматизации куста скважин для интеллектуального управления добычей газа. Цифровой двойник взаимодействует с программируемым логическим контроллером (ПЛК) для повышения точности и адаптивности управления. В статье подробно рассмотрен ход интеграции цифрового двойника.

Ключевые слова: цифровой двойник, автоматизация, интеллектуальное управление, добыча газа, схемы автоматизации, ПЛК.

Введение

Современная газовая промышленность сталкивается с необходимостью перехода к новым технологическим укладам, где ключевыми факторами устойчивого развития становятся цифровизация и интеллектуализация производственных процессов [4]. Одним из направлений этой трансформации является интеллектуальное управление добычей газа, основанное на комплексной автоматизации и глубокой аналитике технологических данных. Особенно актуально это для объектов типа кустов скважин, где эффективность управления напрямую влияет на устойчивость работы всей промысловой системы [3].

Как отмечено в исследовании, выполненном в рамках программы цифровой трансформации газовой компании, особое внимание уделяется внедрению интеллектуальных компонентов в существующие SCADA-системы, использованию платформ дистанционного анализа, а также созданию цифровых двойников промыслов [1]. Однако несмотря на значительный прогресс в автоматизации, остаётся потребность в доработке низового уровня управления – прежде всего, программируемых логических контроллеров (ПЛК), которые обеспечивают непосредственное взаимодействие с технологическим оборудованием.

Целью настоящей работы является доработка системы автоматизации куста скважин путём внедрения алгоритмов интеллектуального управления, реализуемых на уровне ПЛК, разработки схем автоматизации, а также проработку архитектуры системы.

Научная новизна заключается в разработке и внедрении функциональных схем и программного обеспечения для ПЛК, которое реализует интеллектуальные алгоритмы анализа и управления.

Архитектура системы

В рамках интеллектуализации газовых и газоконденсатных промыслов была разработана распределённая система управления, обеспечивающая адаптивное и оптимальное регулирование технологических процессов. Основной целью проектирования архитектуры такой системы стало снижение вычислительной нагрузки, обеспечение масштабируемости и интеграции с существующей инфраструктурой автоматизации. Распределённая архитектура включает в себя несколько ключевых компонентов.

Первым компонентом являются существующие автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), которые применяются для

дистанционного мониторинга и управления оборудованием в режиме реального времени. Эти системы выполняют функцию оперативного контроля и являются связующим звеном между физическим уровнем объектов добычи и цифровыми сервисами интеллектуального управления.

Вторым компонентом является система автоматического управления промыслом (САУП), представляющая собой интеллектуальное ядро распределённой системы. В состав САУП входит цифровой двойник промысла (ЦДП), представляющий собой физико-математическую модель, отражающую текущее состояние и рабочие характеристики объекта моделирования, включая пласт, скважины, газосборную сеть, дожимные компрессорные станции и установки подготовки газа и конденсата. ЦДП функционирует на основе данных, получаемых с телеметрических систем, которые предварительно проходят процедуры фильтрации, осреднения и валидации для устранения некачественных или ошибочных значений [2]. Также модель регулярно актуализируется с использованием информации, полученной в ходе исследований скважин, технического обслуживания и ремонтов оборудования. Помимо этого, в базу данных САУП вносятся сведения о планируемых геолого-технических мероприятиях, остановках и запусках скважин, а также о других событиях, влияющих на функционирование промысла. В состав САУП также входит оптимизатор, отвечающий за проведение многовариантных расчётов с целью выбора наиболее эффективного сценария управления добычей. Работу всех модулей САУП поддерживают специализированные сервисные компоненты.

Третьим компонентом распределённой архитектуры выступает система автоматического регулирования скважин (САРС), размещённая в блоках автоматики кустовых площадок. Данный компонент обеспечивает реализацию функций по поддержанию режимов работы скважин, заданных САУП, управлению выходом скважин на рабочие режимы при изменении отбора газа, оптимизации подачи метанола, организации периодического режима эксплуатации, максимизации добычи конденсата, а также диагностике технического состояния скважин. В частности, САРС выполняет определение пластового давления, расчёт коэффициентов фильтрационного сопротивления, диагностику характеристик регулирующих клапанов, оценку времени стабилизации скважин после вмешательств, а также обеспечивает безопасную эксплуатацию объектов в том числе в автономном режиме при отсутствии связи с САУП.

Разработанная архитектура приведена на рисунке 1.

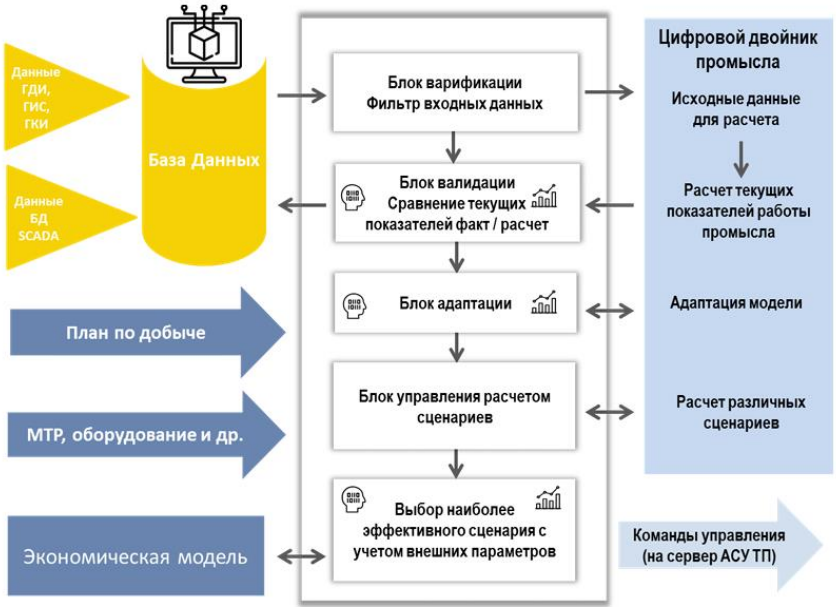


Рис. 1. Распределенная система управления

Функционально распределённая система управления реализует общий оптимизационный расчёт в рамках единой интегрированной модели, включающей все элементы производственной цепочки: пласт, скважины, газосборную сеть, дожимные компрессорные станции и установки комплексной подготовки газа. Полученные в результате расчётов целевые параметры передаются по каналам связи от САУП к АСУ ТП, а далее – на кустовые газосборные станции, где поддерживаются посредством САРС. Аппаратно-программный комплекс САУП размещён в операторной установке комплексной подготовки газа и интегрирован с существующими средствами автоматизации [4]. В свою очередь, САРС функционирует на уровне кустовых площадок, обеспечивая устойчивую и безопасную работу скважин с учётом оперативных задач и долгосрочных прогнозов. Такое архитектурное решение позволяет обеспечить высокий уровень управляемости, устойчивости и адаптивности добычи углеводородов в условиях постоянно изменяющейся производственной среды.

Алгоритм интеллектуального управления

Для разработки алгоритмов работы системы интеллектуального управления кустом скважин в качестве языка программирования был выбран язык структурированного текста (ST) в соответствии со стандартом IEC 61131-3.

В разработанной системе реализован полный комплекс алгоритмов, необходимых для эффективного управления скважиной, включая: алгоритм ПИД-регулирования и алгоритм автоматического переключения направления потока между магистралями.

Работа алгоритма ПИД-регулирования заключается в следующем: управление исполнительным механизмом осуществляется через ПИД-регулятор, который работает в автоматическом или ручном режиме в зависимости от состояния сигналов местного и дистанционного управления. При включении местного режима регулятор переводится в ручное управление. В случае наличия ошибки или неисправности аналогового сигнала, регулятор блокирует выходное воздействие.

Аналоговые сигналы, отражающие положение механизма и регулируемый параметр, передаются в регулятор. В случае выбора местного или нейтрального режима уставка автоматически приравнивается к текущему положению. При активном дистанционном режиме и наличии команды от панели, уставка обновляется, и команда сбрасывается.

Результат расчета передается на аналоговый выход. Для отображения информации на операторской панели публикуются данные о положении, состоянии, аварии и текущем режиме работы (ручной, автоматический или неактивный). Блок схема алгоритма представлена на рисунке 2.

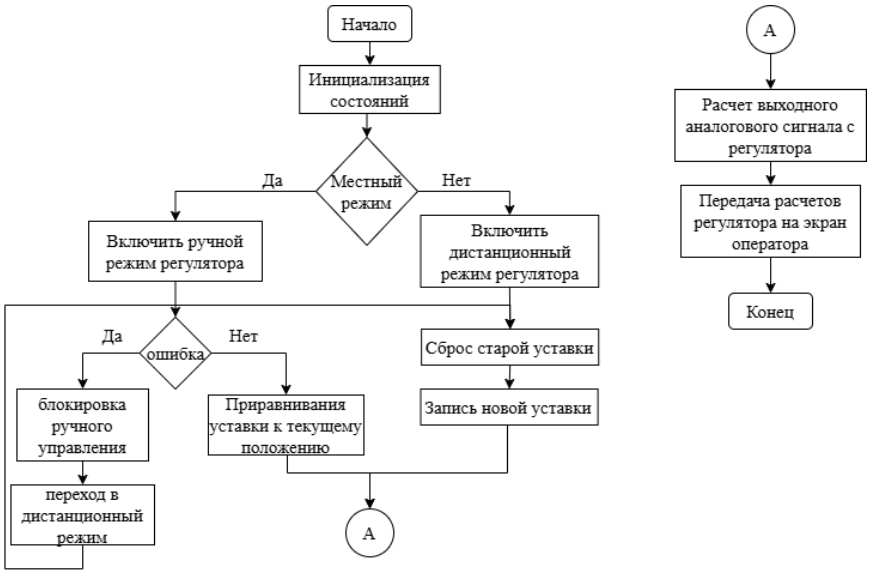


Рис. 2. Алгоритм ПИД-регулятора

Работа алгоритма переключения заключается в следующем: при получении команды на переключение и активном режиме одного из направлений система выполняет открытие исполнительного механизма в зависимости от режима управления (локальный, дистанционный или автоматический). Затем производится проверка давления между участками. Если давления равны, открывается следующий исполнительный механизм. При совпадении с контрольным давлением открывается третий механизм, а резервный – закрывается.

Аналогичные действия выполняются при переключении во втором направлении, с соответствующим открытием и закрытием исполнительных механизмов. По завершении переключения флаг переключения сбрасывается. Это позволяет повторно инициировать процесс переключения в случае поступления новой команды или изменения состояния системы.

Кроме того, все этапы алгоритма контролируются с помощью датчиков давления, что обеспечивает точность выполнения команд и предотвращает возможные ошибки, связанные с несоответствием давления между участками. Разработанный алгоритм представлен на рисунке 3.

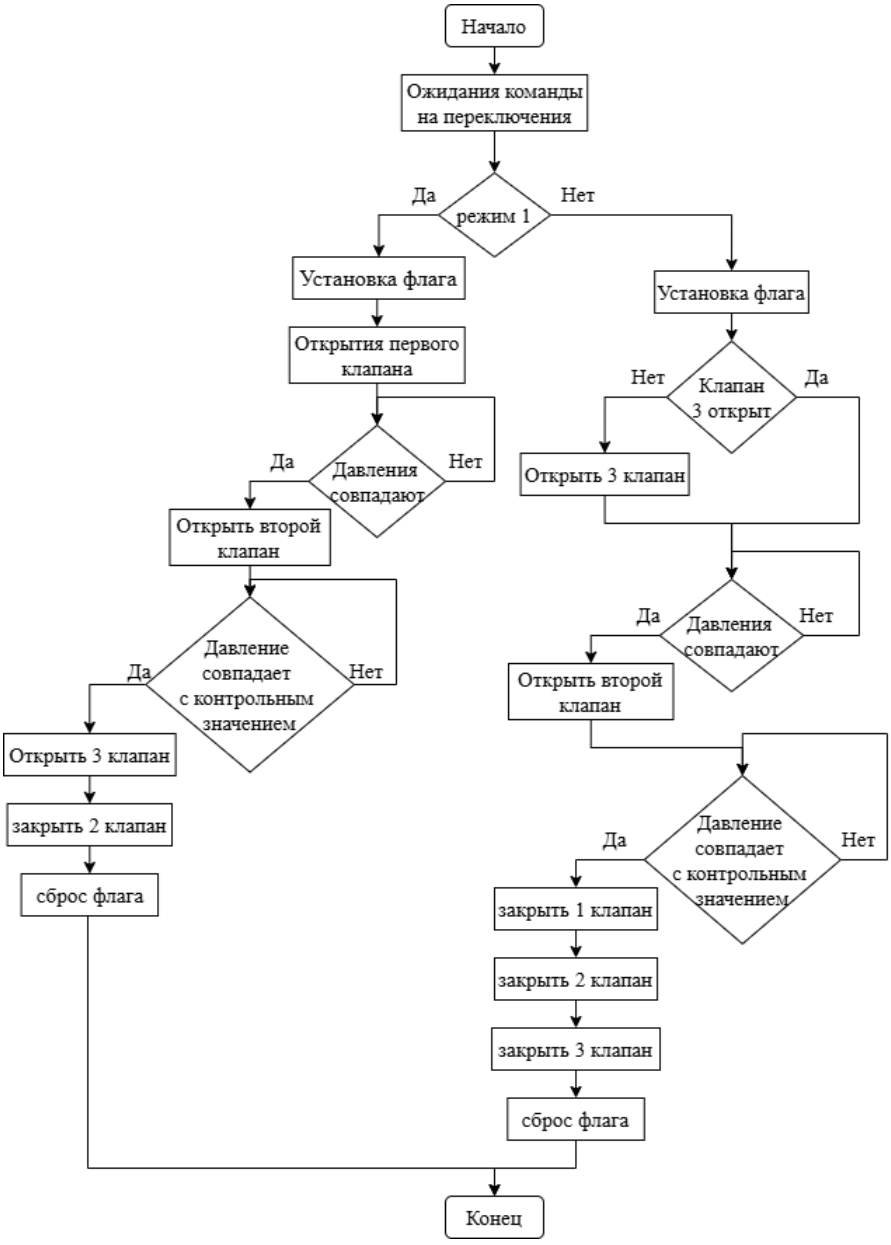


Рис. 3. Алгоритм переключения скважины

Тестирование реализованного алгоритма

Программа разрабатывалась и тестировалась на специализированном стенде, предназначенном для симуляции технологических процессов на кусте газовых скважин. В основе стенда лежит инструментальный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий имитацию работы скважин с реалистичной телеметрией и замкнутым контуром управления. Его ключевая особенность – возможность двустороннего обмена данными с ПЛК через протокол OPC DA, что позволяет реализовать полную отработку логики на уровне управляющего контроллера. В симуляторе используется нестационарная модель трёхфазного течения, позволяющая рассчитывать значения давления, температуры и расхода в различных точках технологической схемы. За счёт этого формируется достоверная картина технологического состояния объекта, включая нормальные, переходные и аварийные режимы [5]. Структура стенда представлена на рисунке 4.

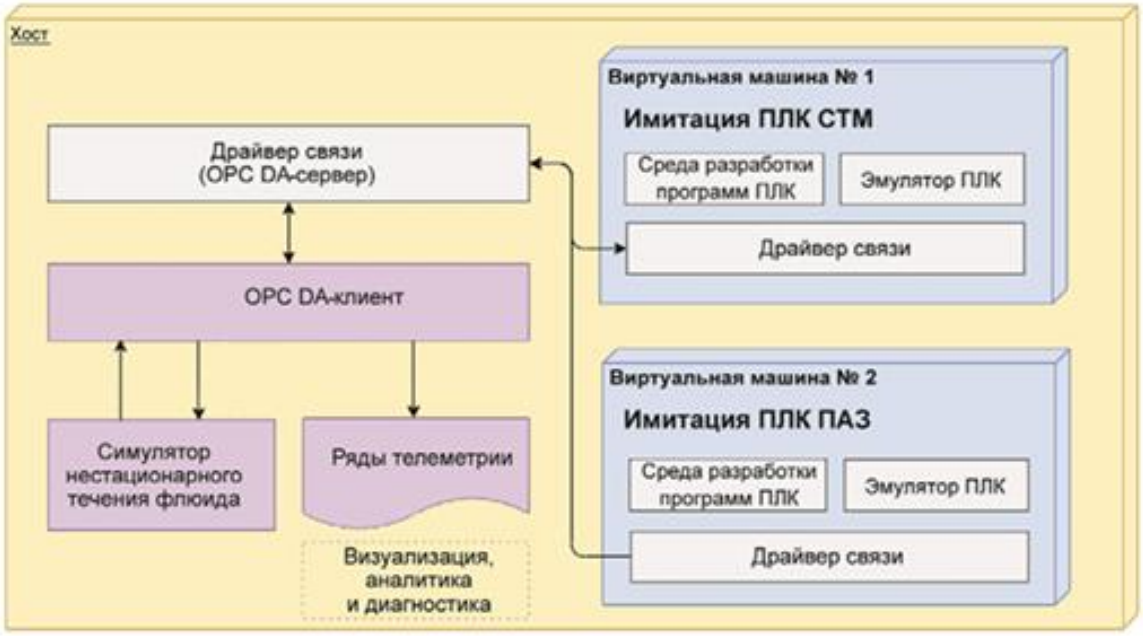


Рис. 4. Структурная схема взаимодействия программного стенда генерации телеметрии

Тестирование проводилось с моделированием различных эксплуатационных ситуаций, включая пусковые операции, переключения потоков, сбои сигналов и отказы оборудования. Благодаря возможности точной настройки параметров среды, была обеспечена проверка устойчивости, точности и корректности реакции реализованных алгоритмов в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации. Это позволило выявить и устранить потенциальные логические ошибки до ввода в промышленную эксплуатацию. Результаты тестирования подтвердили соответствие реализованных алгоритмических решений требованиям надёжности, логической целостности и соответствия предполагаемым режимам работы.

Доработка функциональной схемы

Внедрение цифрового двойника в систему управления промыслом потребовало пересмотра и доработки существующей функциональной схемы объекта. Основной причиной доработки стало повышение требований к достоверности и полноте входных данных, необходимых для корректного функционирования цифрового двойника.

Цифровой двойник, как детерминированная физико-математическая модель, требует непрерывного поступления актуальной и качественной информации о технологическом состоянии оборудования, параметрах работы скважин, пластовых характеристиках и составе

продукции. Для обеспечения соответствующего уровня детализации и точности моделирования возникла необходимость расширения телеметрической сети на объекте.

В процессе доработки схемы были определены ключевые точки технологической цепочки, в которых требовалась установка дополнительных датчиков и сенсоров. В частности, акцент был сделан на улучшение измерений следующих параметров: давления, температуры, расхода продукции, динамики изменений давления в газосборной сети, характеристик работы скважинных клапанов и расхода химических реагентов. Расширение набора контролируемых параметров позволило обеспечить более точную настройку цифрового двойника и реализацию функций прогнозирования и оптимизации в режиме, приближенном к реальному времени.

Заключение

В ходе работы была разработана архитектура распределённой системы управления кустом газовых скважин, включающая три ключевых уровня: автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), систему автоматического управления промыслом (САУП) с цифровым двойником, и систему автоматического регулирования скважин (САРС). Такая многоуровневая структура обеспечила эффективное взаимодействие между централизованным управлением и локальными исполнительными устройствами.

Для реализации алгоритмов управления был разработан программный код на языке структурированного текста (ST), соответствующий стандарту IEC 61131-3. В разработанном программном коде реализован полный комплекс алгоритмов, необходимых для эффективного управления скважиной. В статье рассмотрены два основных алгоритма: ПИД-регулирование параметров добычи и автоматическое переключение потоков между магистралями.

Проведены комплексные тестирования разработанных решений на специализированном стенде, который моделирует реальные технологические процессы. Тестирование включало проверку работы в штатных режимах эксплуатации, анализ поведения системы при аварийных ситуациях, оценку устойчивости к отказам датчиков и оборудования, проверку корректности обработки граничных значений параметров.

В рамках доработки функциональной схемы системы было выполнено расширение сети телеметрии за счёт установки дополнительных датчиков давления, температуры и расхода, оптимизация точек контроля ключевых технологических параметров, интеграция новых измерительных устройств с цифровым двойником промысла.

Список используемых источников

1. Цифровизация промышленности: задачи, преимущества внедрения // Adeptik: сайт – 2023. [Электронный ресурс]. – URL: adeptik.com/blog/cifrovizaciya-promyshlennosti/ (дата обращения: 12.04.2025)

2. Поспелова Т.А. Развитие методов регулирования работы скважин на основе цифровых технологий : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 2.8.4 - Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений / Т.А. Поспелова ; науч. конс. К.М. Федоров. – Тюмень : ООО "Тюменский нефтяной научный центр", 2022. - 48 с.

3. Абрамов В.И., Гордеев В.В., Столяров А.Д. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Т. 14, № 3. – 26 с.

4. Трушников Д.Н., Зебзеев А.Г. Интеллектуализация газовых и газоконденсатных промыслов компании // Технологии обустройства нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений: сб. тез. VI науч.-техн. конф. – Томск, 2023. – С. 204–209.

5. Лопатин Р.Р., Стрекалов А.В. Инструментарий симуляции телеметрии технических гидросистем на примере куста газовых скважин // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2024. – № 9(614). – С. 59-63.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ НА РАСПОЛОЖЕНИЕ КОРНЕЙ СИСТЕМЫ ИЗ ОБЪЕКТА ВТОРОГО ПОРЯДКА И ПИД-РЕГУЛЯТОРА

Скворцов М.В.[1], Саблина Г.В.[2]
[1] Новосибирский государственный технический университет, каф. АВт, группа ААМ-24
e-mail: skvmat03@gmail.com
[2] Новосибирский государственный технический университет, каф. АВт, доцент
e-mail: gv.sablina@gmail.com

Аннотация

Данная работа посвящена изучению влияния на расположение корней системы, состоящей из регулятора и объекта управления (ОУ) второго порядка, стоимостной функции, по которой будет производиться оптимизация и корней самого ОУ второго порядка. В данной работе производится оптимизация систем с помощью визуального языка программирования. В конечном итоге, моделирование и анализ переходных процессов производится в среде имитационного моделирования.

Ключевые слова: объект управления, ПИД-регулятор, оптимизация, стоимостная функция, корневой портрет, характеристики переходных процессов.

Введение

В процессе синтеза регуляторов в некоторых случаях допустимо (необходимо) производить процедуру оптимизации по тем или иным критериям с помощью оптимизации по стоимостной функции. Такая оптимизация позволяет определить коэффициенты регулятора, а, соответственно, и характеристики динамической системы с минимальными трудозатратами.

Данное исследование сосредоточено на определении распределения корней после оптимизации в зависимости от изначального набора корней объекта управления и стоимостной функции. В результате исследования, будет возможно определить, каким образом изменяется корневой портрет динамической системы и какое «соотношение» коэффициентов регулятора этому способствует.

Целью данной работы является расчёт и исследование системы автоматического управления, состоящей из ПИД-регулятора (пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор) и объекта второго порядка.

Задачи, которые необходимо решить:

1. Выбрать изначальные корневые портреты для объектов второго порядка и выбрать стоимостные функции для оптимизации систем.
2. Произвести оптимизацию и моделирование динамических систем с выбранными параметрами.
3. Проанализировать результаты работы систем, в зависимости от изначального корневого портрета и использованной стоимостной функции.

Основная часть

ПИД-регулятор в рамках исследования будет использован «сложного» типа: использование оценки производной на выходе с дифференцирующего фильтра вместо чистой производной на выходе дифференциатора.

В рамках исследования будут выбраны 6 наборов корней, по 2 в трёх группах. Оптимизация ПИД-регулятора производится в среде VisSim 6.0.

Оптимизация производится по двум стоимостным функциям:

$$\Psi_1 = \int |e(t)|\,dt \tag{1}$$

$$\Psi_2 = \int |e(t)|^2\,dt, \tag{2}$$

где $e(t)$ – ошибка регулирования.

Таблица 1. Таблица проведения исследования

Вид стоимостной функции	**Изначальный набор корней (ω_1; ω_2)**	**Полученные параметры ПИД-регулятора**	**Полученный набор корней (ω_{o1}; ω_{o2}; ω_{o3}; ω_{o4})**
(1)	(-1; -1)	P = 353.331 I = 138.289 D = 133.115	(-0,48; -2,13; -49,7-105,53j; -49,7+105,53j)
(1)	(-1-1j; -1+1j)	P = 76.9551 I = 77.5038 D = 38.6692	(-0,99-1j; -0,99+1j; -50,01-38,02j; -50,01+38,02j)
(1)	(-1; 0)	P = 53.8001 I = 0.697355 D = 49.4217	(-0,013; -1,07; -49,96-49,92j; -49,96+49,92j)
(1)	(-1j; +1j)	P = 1.38197 I = 0.813684 D = 2.0	(-0,5; -97,96; -0,77-1,03j; -0,77+1,03j)
(1)	(-1; 1)	P = 702.964 I = 46.6837 D = 45.199	(-0,07; -19,01; -40,46-45,16j; -40,46+45,16j)
(1)	(1-1j; 1+1j)	P = 624.021 I = 158.12 D = 43.9383	(-0,26; -18,48; -39,63-41,95j; -39,63+41,95j)
(2)	(-1; -1)	P = 122.032 I = 1.1459 D = 43.575	(-0,01; -2,78; -49,6-44,08j; -49,6+44,08j)
(2)	(-1-1j; -1+1j)	P = 151.389 I = 2.123 D = 43.7179	(-0,014; -3,49; -49,25-44,21j; -49,25+44,21j)
(2)	(-1; 0)	P = 25.8164 I = 0.973929 D = 47.2694	(-0,041; -0,5; -50,23-47,70j; -50,23+47,70j)
(2)	(-1j; +1j)	P = -3.36772 I = 52.9576 D = 47.4367	(0,03-1,06j; 0,03+1,06j; -50,03-47,36j; -50,03+47,36j)
(2)	(-1; 1)	P = 50.4142 I = 64.2766 D = 52.1268	(-0,47-1,01j; -0,47+1,01j; -49,53-52,1j; -49,53+52,1j)
(2)	(1-1j; 1+1j)	P = 62.4962 I = 99.3625 D = 48.7067	(-0,7-1,3j; -0,7+1,3j; -48,31-47,6j; -48,31+47,6j)

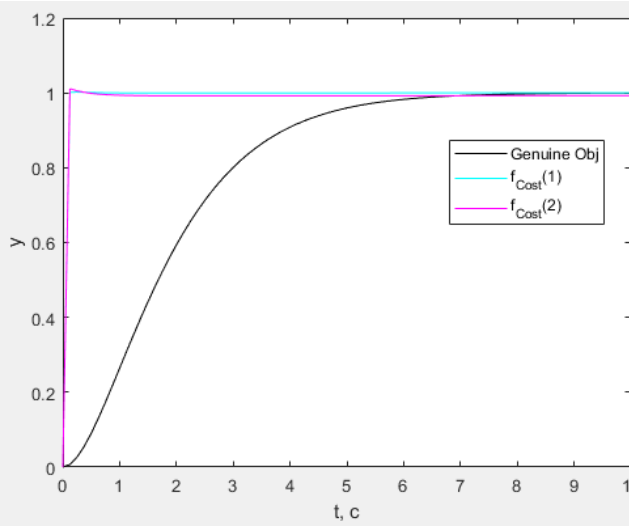


Рис. 1. Переходные процессы оригинальной и оптимизированных систем с исходным набором корней (-1; -1)

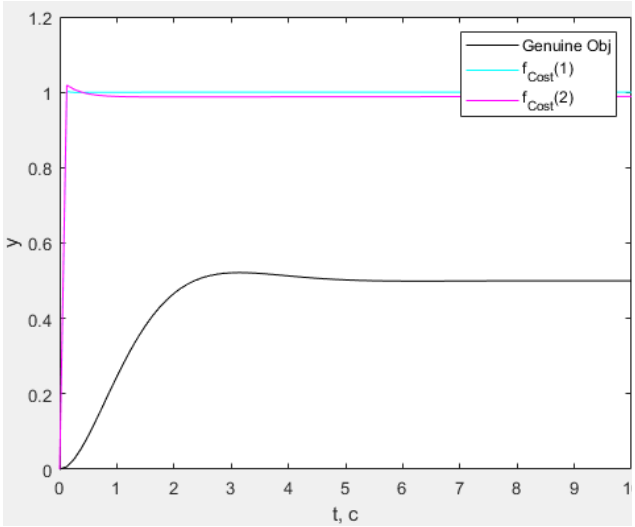


Рис. 2. Переходные процессы оригинальной и оптимизированных систем с исходным набором корней (-1-1j; -1+1j)

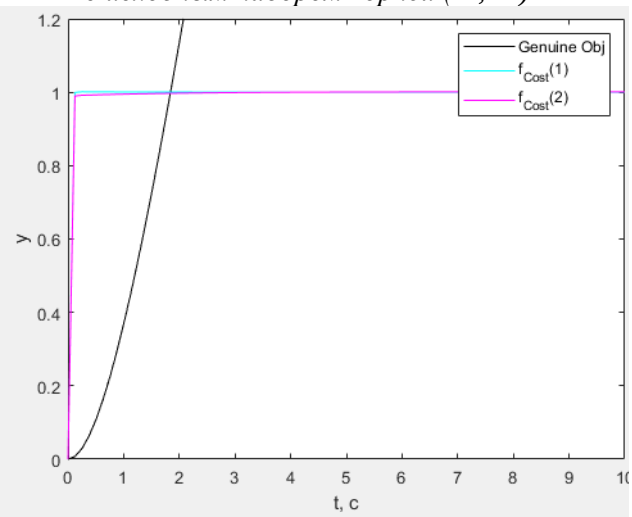


Рис. 3. Переходные процессы оригинальной и оптимизированных систем с исходным набором корней (-1; 0)

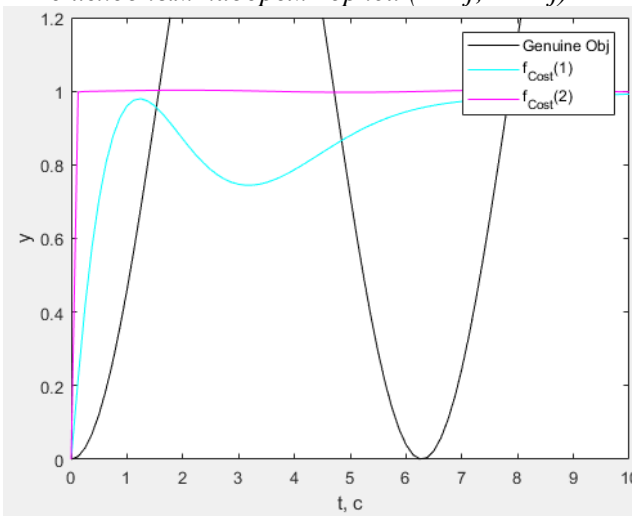


Рис. 4. Переходные процессы оригинальной и оптимизированных систем с исходным набором корней (-1j; +1j)

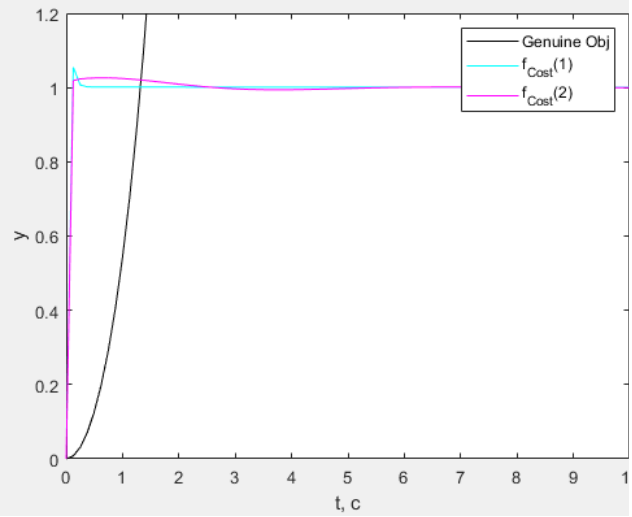


Рис. 5. Переходные процессы оригинальной и оптимизированных систем с исходным набором корней (-1; 1)

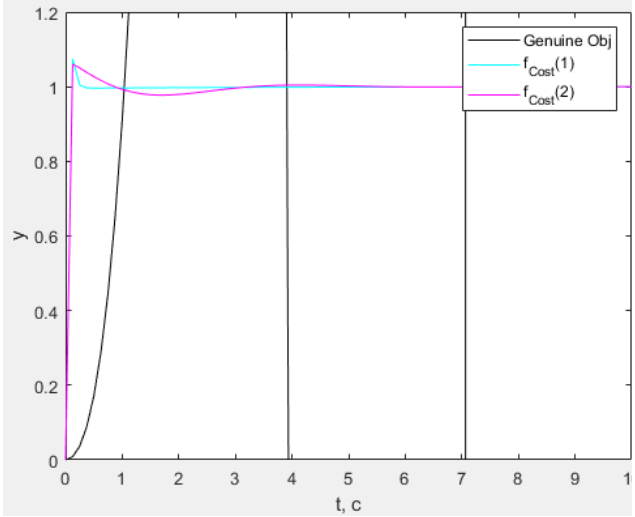


Рис. 6. Переходные процессы оригинальной и оптимизированных систем с исходным набором корней (1-1j; 1+1j)

Результаты

Характеристики переходных процессов: $t_{ПП}$ – время переходного процесса, σ – перерегулирование; в зависимости от корней ОУ и стоимостной функции представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики переходных процессов

Изначальный набор корней (ω_1; ω_2)	**Характеристики переходных процессов объекта без регулятора ($t_{ПП}$, с; σ, %)**	**Характеристики переходных процессов объекта по СФ (1) ($t_{ПП}$, с; σ, %)**	**Характеристики переходных процессов объекта по СФ (2) ($t_{ПП}$, с; σ, %)**
(-1; -1)	(4.8; 0)	(0,11; 1,1)	(0,11; 1,1)
(-1-1j; -1+1j)	(2,1; 5)	(0,11; 2)	(0,11; 2)
(-1; 0)	(-; -)	(0.11; 0)	(0.11; 0)
(-1j; +1j)	(-; -)	(6,375; -)	(0.11; 0)
(-1; 1)	(-; -)	(0,15; 5)	(0,11; 0)
(1-1j; 1+1j)	(-; -)	(0,175; 7,5)	(0,25; 6,1)

Несмотря на то, что в случае с объектом второго порядка при корневом портрете (-1j; +1j) и СФ (2) два корня являются неустойчивыми, их влияние нивелируется остальными корнями системы, и система остаётся устойчивой. Однако в динамической системе, содержащей объект с тем же корневым портретом, но оптимизированной по СФ (1) все корни устойчивые, однако процесс «затянут» до 6,375 с.

Таким образом, предполагается, что СФ (2) более предпочтительна в случаях оптимизации динамических систем, в составе которых есть объект второго порядка с неустойчивыми корнями, или корнями на границе устойчивости. А в случае объектов управления с устойчивыми корнями вид стоимостной функции (при конкретном выборе из двух представленных) не сыграл роли, так как характеристики переходных процессов оптимальных систем совпали.

Заключение

В ходе исследования были выбраны изначальные корневые портреты для объектов управления второго порядка, а также были выбраны стоимостные функции для оптимизации систем. Были произведены оптимизация и моделирование систем с выбранными параметрами. Результаты показали, что в случае объекта управления с комплексно-сопряжёнными корнями на границе устойчивости при оптимизации по СФ (2) система получила два из четырёх корней – неустойчивые, при этом переходный процесс является устойчивым; однако, в аналогичной системе, только оптимизированной по СФ (1), корни – устойчивые, однако переходный процесс сравнительно дольше, чем в остальных случаях (6,375 с >> 0,11 с). Предположено, что СФ (2) более предпочтительна в случаях, когда необходимо минимизировать перерегулирование при оптимизации систем, содержащих неустойчивые объекты и объекты на границе устойчивости.

Список использованных источников

1. Цифровые системы управления. Сборник задач для индивидуальных заданий : учебное пособие / Г.В. Саблина – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. – 70 с.

2. Численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim: новые структуры и методы : монография / В.А. Жмудь. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 259 с.

3. Теория автоматического регулирования : Учеб. пособие / А.С. Востриков, Г.А. Французова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2006. – 368 с.

4. Французова Г.А. Основы теории управления : учебно-методическое пособие / Г.А. Французова, Г.В. Саблина. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, – 2016. – 63 стр.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Чулков В.В.[1], Беляускене Е.А.[2], Боловин Е.В.[3].
[1]Томский политехнический университет, ИШЭ 5А17, e-mail: vvc40@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, ст. преподаватель e-mail: eam@tpu.ru
[3]Томский политехнический университет, ИШЭ, доцент, к.т.н e-mail: orange@tpu.ru

Аннотация

В регулируемом электроприводе датчики скорости не всегда целесообразны. Вместо них применяют наблюдатели, восстанавливающие сигналы по данным тока, напряжения и модели двигателя. Сигнал рассогласования между измеренным и оценённым током корректируется по П-принципу, обеспечивая точность управления без дополнительных датчиков.

Ключевые слова: наблюдатель полного порядка, двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, невязка, пропорциональный принцип, математическое моделирование.

Введение

В современных производственных системах технологические процессы часто требуют использования замкнутых контуров управления, регулирующих как угловую скорость, так и положение вала двигателя. Однако, применение датчиков для измерения механических и магнитных величин не всегда оправдано, поскольку их установка приводит к увеличению времени настройки, росту эксплуатационных затрат и снижению надежности электропривода из-за потенциальных отказов самих датчиков. В таких случаях оптимальным решением становится переход на бездатчиковый электропривод (БЭП), который использует идентификаторы параметров и наблюдатели состояния. Этот метод управления получил широкое распространение как в мире, так и в России за последние двадцать лет.

Внедрение БЭП в автоматизацию общепромышленных механизмов играет ключевую роль в развитии производственных технологий. Оно способствует повышению эффективности.

Математическая модель двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

На основании фундаментальных законов (2-ого закона Кирхгофа и Ньютона) составим систему дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитные и механические процессы во временной области [1]:

$$\begin{cases} L_{\sum я} \cdot \dfrac{di_я(t)}{dt} + i_я(t) \cdot R_{\Sigma 75} + \omega(t) \cdot c_{дв} = U_я(t), \\ J_{дв} \cdot \dfrac{d\omega(t)}{dt} = i_я(t) \cdot c_{дв} - M_c(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $U_я(t), i_я(t), \omega(t)$ – напряжение, ток и угловая скорость якоря; $R_{\Sigma 75}, L_{\sum я}, J_{дв}, c_{дв}$ – активное сопротивление, индуктивность, момент инерции якоря и электромеханический коэффициент ДПТ НВ [4].

Для удобства использования системы (1) перепишем ее в нормальной форме Коши:

$$\begin{cases} \dfrac{di_я(t)}{dt} = \dfrac{U_я(t) - i_я(t) \cdot R_{\Sigma 75} - \omega(t) \cdot c_{дв}}{L_{\sum я}}, \\ \dfrac{d\omega(t)}{dt} = \dfrac{i_я(t) \cdot c_{дв} - M_c(t)}{J_{дв}} \end{cases} \quad (2)$$

Наблюдатель угловой скорости дпт нв с п-принципом отработки сигнала невязки

Динамика наблюдателя для двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) с П-принципом обработки невязки описывается системой дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши:

$$\begin{cases} \dfrac{d\hat{\imath}_{\text{я}}(t)}{dt} = \dfrac{U_{\text{я}}(t) - \hat{\imath}_{\text{я}}(t) \cdot R_{\Sigma 75} - k_{L1} \cdot \left(i_{\text{я}}(t) - \hat{\imath}_{\text{я}}(t)\right) - \hat{\omega}(t) \cdot \text{c}_{\text{дв}}}{L_{\Sigma\text{я}}}, \\ \dfrac{d\hat{\omega}(t)}{dt} = \dfrac{\hat{\imath}_{\text{я}}(t) \cdot \text{c}_{\text{дв}}}{J_{\text{дв}}}, \end{cases} \tag{3}$$

где $\hat{\imath}_{\text{я}}(t)$ – наблюдаемое значение тока якоря ДПТ НВ.
$k_{л1}$ – первый коэффициент наблюдателя Люенбергера.
$\hat{\omega}(t)$– наблюдаемое значение угловой скорости вала ДПТ НВ.
k_{L1} – корректирующий коэффициент отработки невязки токов якоря.

Ниже, на рисунке 1, представлена структурная схема исследуемой системы.

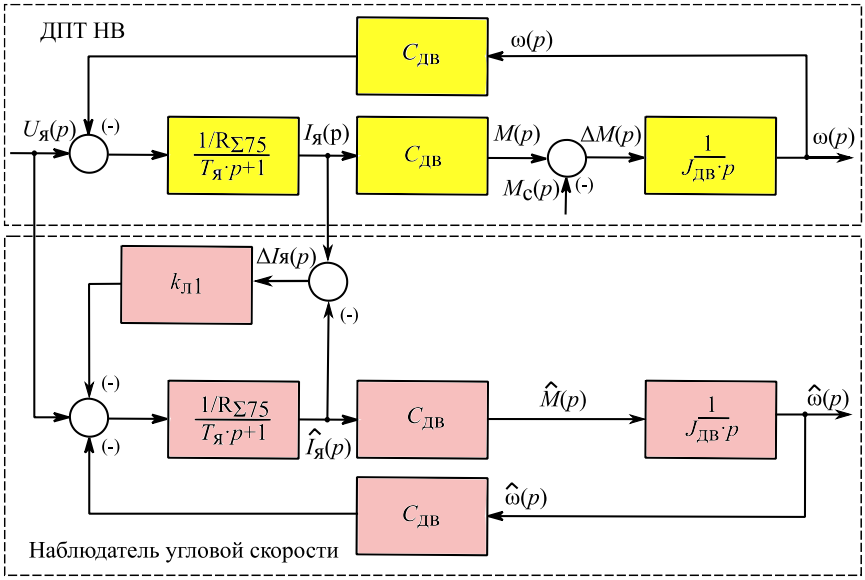


Рис. 1. Структурная схема ДПТ НВ и наблюдателя угловой скорости с усилением невязки по П-принципу

На рисунке 2 представлен результат моделирования.

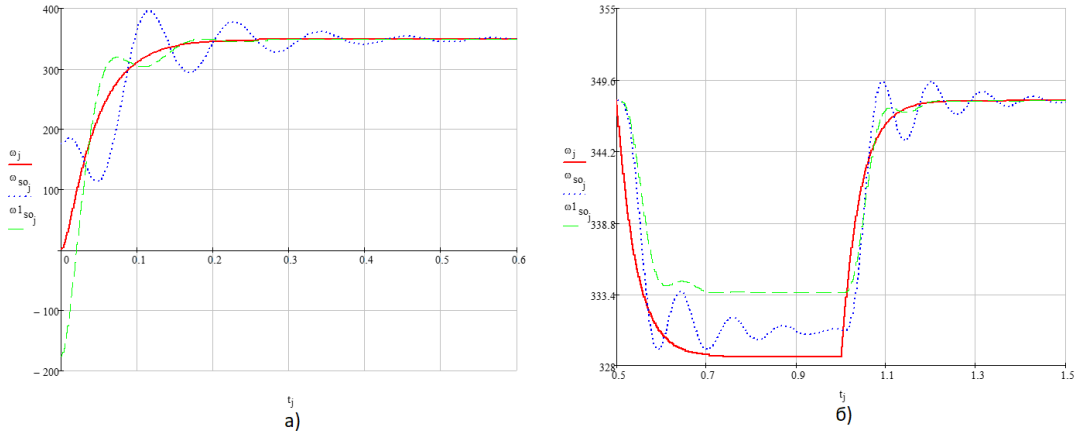


Рис. 2. а) Отработка несогласованности начальных условий, б) Отработка наблюдателем наброса/сброса нагрузки в наблюдателе скорости ДПТ НВ

Наблюдатель демонстрирует существенную статическую ошибку при изменении нагрузки, которую можно снизить за счет увеличения коэффициента $k_{л1}$. Однако, это приводит к росту колебательности, снижению запаса устойчивости, а при значительном увеличении коэффициента и несоблюдении рекомендаций наблюдатель теряет устойчивость. Кроме того, важно отметить, что при изменении знака коэффициента $k_{л1}$ оценка становится неадекватной. Продемонстрируем, что даже незначительное превышение $k_{л1}$ выше установленной границы приводит к потере устойчивости наблюдателя (рис. 3).

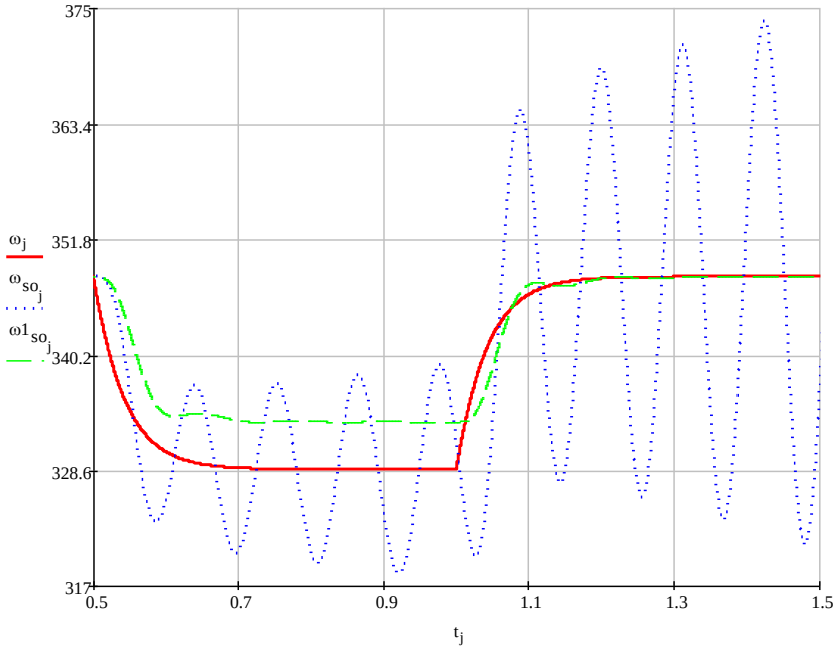


Рис. 3. Превышение граничного значения $k_{л1}$ и выход наблюдателя из устойчивого состояния

Заключение

Пропорциональная компенсационная связь в наблюдателе, воздействующая на сумматор и влияющая на оценку тока, устраняет рассогласование начальных условий между наблюдателем и объектом, не требуя введения более сложной пропорционально-интегральной связи.

Список используемой литературы

1. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями : Учебное пособие. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.

2. Глазырин А. С. Пропорциональный и пропорциональноинтегральный принципы отработки невязки в наблюдателе полного порядка электромеханического объекта с линеаризованной моделью // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2015. – №. 1. – С. 28-39.

3. Калачев Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе. – Москва : 2015. – 81 с.

4. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. – т. 3. – Томск : Изд-во ТПУ, 2007. –152 с.

КОРРЕКЦИЯ КАНАЛА РАЗРЕЖЕНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДНОЙ В КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

Сапогова А.М..[1], Курганов В.В.[2]
[1] НИ ТПУ, г. Томск (студент гр. 8Т12 ОАР, ИШИТР), e-mail: ams46@tpu.ru
[2] НИ ТПУ, г. Томск (к.т.н., доцент ОАР, ИШИТР), e-mail: kurganov@tpu.ru

Аннотация

В докладе рассматривается метод коррекции разрежения воздуха в топке котельной установке с коррекцией по производные давления воздуха. Выполнено моделирование резкого увеличения подачи воздуха для анализа динамики системы, с целью минимизации времени положительного разрежения, повышение точности регулирования и снижение риска аварийных ситуаций в процессе горения.

Ключевые слова: производная, канал регулирования, котельная установка, моделирование, система управления, коррекция разрежения, каскадные регуляторы.

Введение

В современных системах автоматического управления особое внимание уделяется обеспечению стабильности и точности регулирования технологических процессов. Эффективность таких систем во многом зависит от правильного выбора методов регулирования, позволяющих учитывать динамические характеристики управляемого объекта. Одним из ключевых инструментов для управления сложными динамическими объектами являются каскадные регуляторы [1], которые обеспечивают более точное и устойчивое регулирование за счет взаимодействия нескольких контуров управления.

Котельные установки представляют собой сложные объекты автоматизированного управления, в которых все параметры, характеризующие их работу взаимосвязаны через объект (температура, давление топлива и воздуха, разрежение в топке). Особую роль в процессе нормального горения играет разрежение, которое обеспечивает удаление продуктов горения в дымовую трубу. Его чрезмерное снижение может привести к срыву пламени, а переход в положительную область – к обратному потоку дымовых газов, что создает угрозу безопасности персонала и снижает эффективность работы котла. Кроме того, колебания разрежения могут приводить к неравномерному распределению воздушно-газовой смеси, что отрицательно сказывается на процессе горения и увеличивает выбросы вредных веществ.

Давление воздуха и разрежение связаны через процессы горения, подачи воздуха и удаления продуктов сгорания. Разрежение создается тягой в дымоходе или работой дымососов, обеспечивая движение газов из топки в газоход. Давление воздуха, подаваемого в топку вентиляторами, определяет интенсивность горения и распределение температур. Баланс между давлением воздуха и разрежением критичен: при недостаточном разрежении ухудшается удаление дымовых газов, а при избыточном – возрастает подсос холодного воздуха, снижая КПД котла. Оптимальное соотношение этих параметров обеспечивает устойчивое горение, эффективную передачу тепла и минимальные выбросы.

Для повышения эффективности работы регулятора разрежения в данной работе предложено ввести в него коррекцию по производной давления воздуха, что позволит снизить негативное влияние изменения давления воздуха на разрежение. Коррекция по производной исключает влияние давления воздуха на работу регулятора разрежения в стационарном режиме. Величину коррекции предлагается варьировать с помощью коэффициента усиления. Критериями выбора оптимального коэффициента являются классические показатели качества: перерегулирование и время регулирования. Но особое место в работе регулятора разрежения занимает время нахождения разрежения в положительной области, которое связано с системой безопасности установки. Предложенный подход к регулированию

разрежения с коррекцией по производной давления воздуха позволит повысить эффективность системы управления и снизить риск возникновения аварийных ситуаций.

Цель работы заключается в ограничении нахождения разрежения в положительной области путем оптимизации работы регулятора разрежения.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

– Разработать математическую модель котельной установки с учетом взаимных связей её параметров.

– Проанализировать влияние изменения давления воздуха на процесс горения.

– Предложить метод регулирования разрежения с коррекцией по производной давления воздуха.

– Провести моделирование предложенной системы регулирования и оценить ее эффективность.

Разработка модели котельной установки

Идентификация котельной установки как объекта управления была выполнена по переходным характеристикам (кривым разгона) на рисунке 1, которые были сняты на реальном объекте. Реальный объект с передаточной функцией первого порядка с запаздыванием:

$$W_o(s) = \frac{k}{Ts+1} e^{-\tau s}. \quad (1)$$

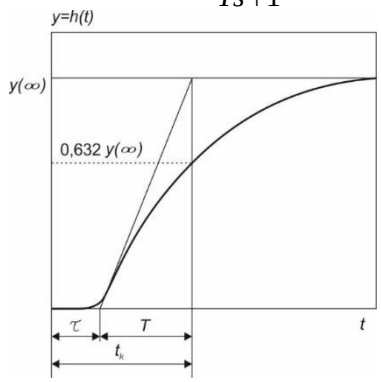


Рис. 1. График переходной характеристики реального объекта, имеющего передаточную функцию первого порядка с запаздыванием

На основе данной передаточной функции и графика были идентифицированы все каналы регулирования объекта. На рисунке 2 представлена операторно-структурная схема модели системы управления котельной установкой, созданная в среде для моделирования.

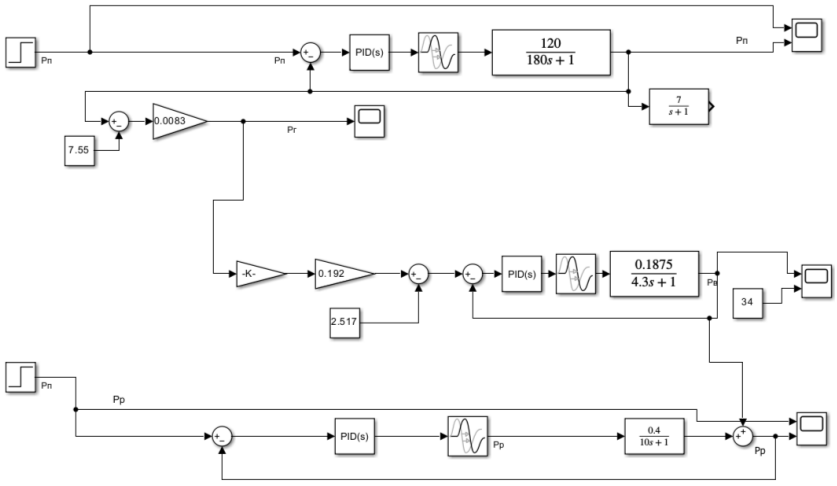


Рис. 2. Операторно-структурная схема

Влияние разрежения на процесс горения и управление котельной установкой

Разрежение [2] в топке котельной установки оказывает значительное влияние на процесс горения топлива, распределение газов и безопасность эксплуатации. Оно определяется разностью давлений между внутренней камерой топки и окружающей средой. Основное уравнение, описывающее разрежение, может быть выражено как:

$$\triangle P = P_{атм} - P_{топка}, \quad (2)$$

где $\triangle P$ – разрежение в топке.

$P_{атм}$ – атмосферное давление.

$P_{топка}$ – давление внутри топки.

Разрежение влияет на подачу воздуха и на коэффициент избытка воздуха α, который определяется соотношением

$$\alpha = \frac{L_{факт}}{L_{стех}}, \quad (3)$$

где $L_{факт}$ – фактический объём воздуха, подаваемый в зону горения.

$L_{стех}$ – стехиометрический объем воздуха, необходимый для полного сгорания топлива.

При недостаточном разрежении ($\triangle P \to 0$ или $\triangle P > 0$) возникает риск обратного потока дымовых газов, что может привести к:

- ухудшению условий горения и увеличению выбросов CO и NOx.
- попаданию выхлопных газов в рабочую зону, что представляет опасность для персонала.
- снижению эффективности теплопередачи в котле.

При чрезмерном разрежении ($\triangle P << 0$) увеличивается скорость потока газов через топку, что может привести к:

- неравномерному распределению воздушно-газовой смеси и ухудшению процесса горения.
- увеличению выбросов несгоревших частиц и потерь тепла с уходящими газами.
- возможному срыву пламени.

Метод коррекции разрежения с учетом производной давления воздуха

Регулятор разрежения один из ключевых регуляторов в работе котельной установки [3]. Существенные возмущения, связанные с технологией работы котельной установки, на этот регулятор воздействуют в двух случаях:

- в момент розжига.
- при изменении нагрузки.

В первом случае в момент розжига котельной установки в топке возникает большое избыточное давление за счет резкого расширения сжигаемого газа. Из-за того дымосос обладает большой инерционностью, он не успевает среагировать на изменение условий, и, как следствие, разрежение уменьшается и в какой-то момент может быть больше нуля. Это может стать причиной останова установки. Поэтому на этапе пуска, как правило, отключение котла по этой причине блокируют.

Во втором случае причиной возмущения на регулятор разрежения является изменение нагрузки парового котла (изменение расхода пара), проявляющегося в изменении давления пара. Система управления стремиться компенсировать изменение давления пара изменением расхода (давления) газа (топлива) к горелкам топки котла. Давление газа связано с давлением воздуха регулятором соотношения. Таким образом изменение нагрузки является возмущением

для регулятора разрежения через давление воздуха и газа.

Особенно важно учитывать скорость изменения разрежения при его переходе в положительную область и время нахождения его там. Кратковременное отклонение может привести к обратному потоку выхлопных газов и нарушению процесса горения. Длительное отклонение может привести к срабатыванию системы защиты и останову котла. В такие моменты регулятор должен активнее работать, корректируя свою уставку в обратную сторону для компенсации возникающего отклонения. После устранения возмущения разрежение должно вернуться к регламентному значению, соответствующему уставки регулятора.

Одним из возможных решений поставленной задачи является введение в регулятор разрежения коррекции по скорости изменения давления воздуха.

Рассмотрим классический ПИД-регулятор [4] и место корректирующего воздействия:

$$u(t) = k_n e(t) + k_u \int_0^t e(\tau) d\tau + k_\partial \frac{de(t)}{dt}, \quad (4)$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие на дымосос;

$e(t) = p_{зад} - p_{разр} - k\frac{dp_{возд}}{dt}$ - ошибка регулирования по каналу разрежения;

$k\frac{dp_{возд}}{dt}$ - коррекция по скорости изменения давления воздуха;

k_n, k_u, k_∂ - коэффициенты регулятора;

k - коэффициент усиления корректирующего воздействия.

Моделирование предложенного способа коррекции позволяет оценить его эффективность и возможность применения в реальных условиях эксплуатации котельных установок или подобных объектов.

Моделирование канала регулирования разрежения с учётом коррекции

Целью моделирования является оценка влияния коэффициента усиления k корректирующего воздействия на показатели качества регулирования разрежения и времени нахождения разрежения в области положительных значений.

На рисунке 3 представлена операторно-структурная схема, в которой в канал регулирования разрежения введена коррекция по производные изменения давления воздуха с соответствующим коэффициентом усиления.

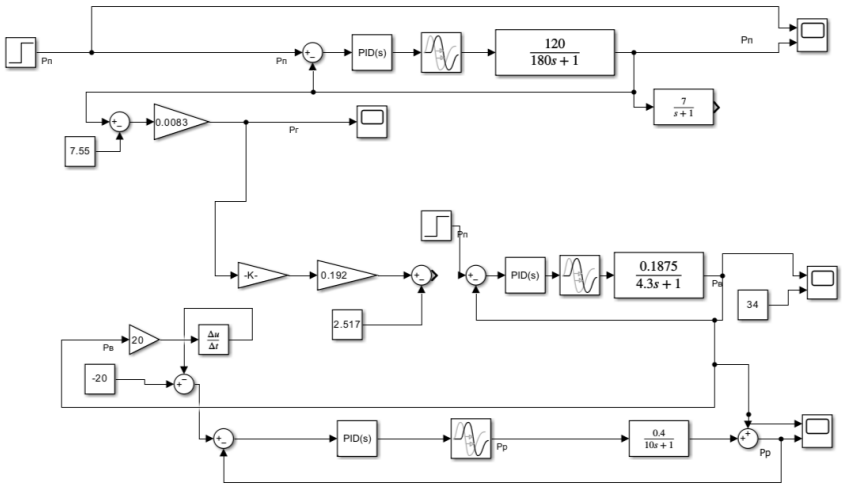


Рис. 3. Операторно-структурная схема с коррекцией разряжения по производные деления воздуха

Моделирование производится подачей ступенчатого возмущения в канал регулирования

воздуха. Результаты моделирования представлены на рисунке 4, 5, 6, 7.

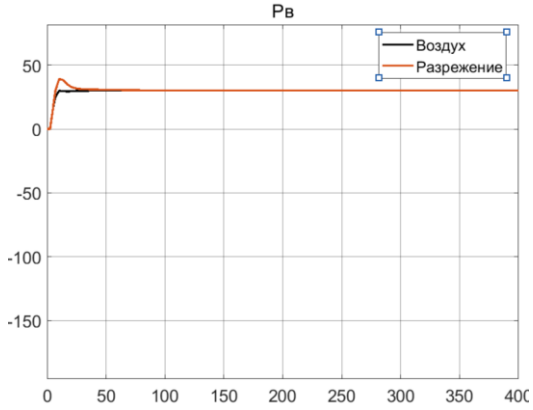


Рис. 4. Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения с ПИД-регулятором К=0 (коррекция отсутствует)

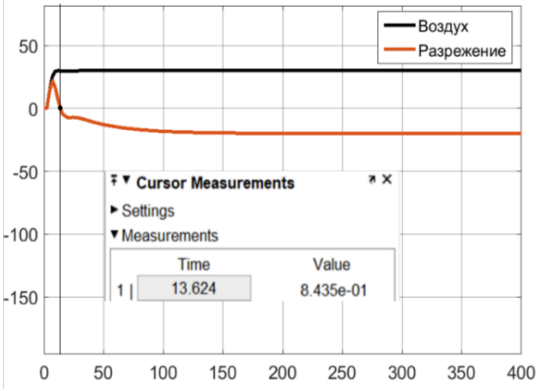


Рис. 5. Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения с ПИД-регулятором К=5

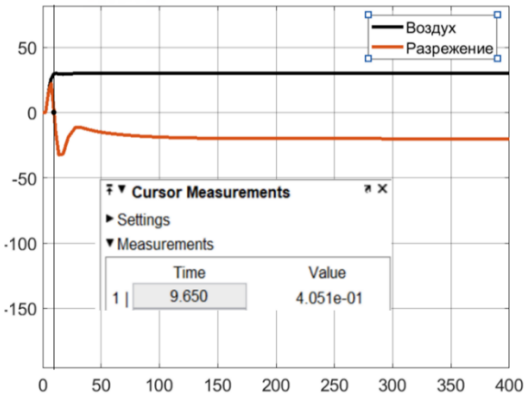


Рис. 6. Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения с ПИД-регулятором К=20

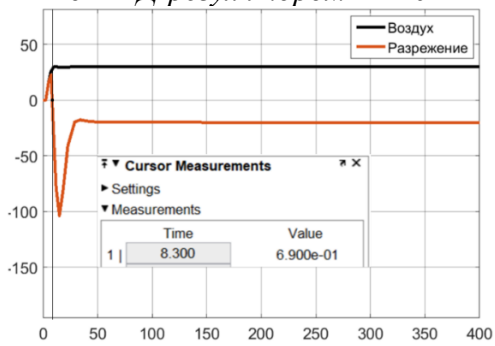


Рис. 7. Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения

с ПИД-регулятором K=50

Заключение

В ходе исследования проведен анализ влияния изменения коэффициента усиления k корректирующего воздействия на динамические характеристики системы регулирования разряжения.

Установлено, что увеличение значения коэффициента усиления приводит к сокращению времени пребывания разряжения в положительной области. Однако при чрезмерном увеличении коэффициента наблюдается значительное усиление динамического отклика системы, что выражается в резком скачке разряжения в отрицательную область.

Такой переход в минусовую зону может оказать негативное воздействие на процесс горения, вплоть до срыва пламени, что представляет собой серьезный риск для стабильности и безопасности работы системы.

На основании проведенного анализа было определено оптимальное значение коэффициента усиления, при котором достигается баланс между минимизацией времени нахождения в положительной области и предотвращением чрезмерного скачка разряжения. Данный коэффициент составляет $k = 20$, что обеспечивает эффективное управление процессом и стабильность функционирования системы.

Список использованной литературы

1. Rossiter J.A. Cascade Control: A Review of Applications and Developments // Annual Reviews in Control. – 2009. – Vol. 33, № 2 – P. 168-178.

2. Средства автоматизации. Регулирование разряжения в топке // SuperHeater: сайт. [Электронный ресурс] – URL: superheater.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=143&Itemid=14 (дата обращения: 25.03.2025)

3. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. – М. : Издательство МЭИ, 2005. – 352 с.

4. Сидорова А.А. Исследование модифицированного метода настройки промышленного ПИД-регулятора // СТТ: Труды XVIII Международной научно-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Томск : Изд-во ТПУ, 2012. – С. 15-16.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КРИВОШИПНО–ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА

Шубадеев Н.О. [1], *Саблина Г.В.* [2]
[1] *НГТУ, гр. ААМ-23, e-mail: shubadev.2019@stud.nstu.ru*
[2] *НГТУ, кафедра Автоматики, доцент, e-mail: sablina@corp.nstu.ru*

Аннотация

В данной работе исследуются методы настройки ПИД–регулятора и его модификаций в системе управления кривошипно–шатунным механизмом. На основе экспериментальной характеристики разгона рассчитаны коэффициенты регулятора, проведен синтез системы в среде имитационного моделирования, а также практическая реализация системы управления. Для расчета коэффициентов регулятора использовались методы Циглера-Николса, Чина-Хронеса-Ресвика.

Ключевые слова: переходный процесс, ПИД-регулятор, настройка параметров регулятора, Циглер-Николс.

Введение

В эпоху цифровизации промышленности актуальным становится внедрение автоматизированных систем и совершенствование контроля управления над механическими перемещениями для гарантирования работоспособности и результативности производственного оборудования.

Среди многообразия регуляторов основное применение в промышленности занимает ПИД-регулятор [1]. Его востребованность обусловлена простотой и универсальностью применения. Однако следует учитывать их ограниченную способность обеспечивать наилучшие показатели качества переходного процесса в некоторых случаях.

Настоящее исследование концентрируется на проектировании управляющей системы на базе ПИД-регулятора и его модификаций и сравнительном изучении методик расчета коэффициентов, включая методы Циглера–Николса (отклик системы на единичное ступенчатое воздействие, частотный), Чина-Хронеса-Ресвика.

Реализация системы управления осуществляется посредством микроконтроллера, выполняющего функции управляющего модуля. Он обрабатывает информацию с датчиков и координирует работу исполнительных устройств согласно заданным параметрам и алгоритмам управления.

Основной целью исследования является синтез системы с использованием ПИД-регулятора и его модификаций, настройка коэффициентов различными методами, и практическая реализация на микроконтроллере STM32F103C8T6 с последующим анализом результатов.

Построение математической модели

В качестве объекта управления рассматривается кривошипно–шатунный механизм, оснащенный мотор–редуктором постоянного тока в качестве привода (рис. 1). На кривошипе зафиксирована рабочая пластина. Управление работой механизма достигается посредством регулирования величины напряжения, питающего двигатель, что напрямую влияет на скорость его вращения и, как следствие, на работу всего кривошипно–шатунного механизма.

Практическая реализация системы предусматривает использование ультразвукового датчика, осуществляющего преобразование расстояния до рабочей пластины в пропорциональное аналоговое напряжение. Данный сигнал поступает на вход аналого–цифрового преобразователя микроконтроллера для последующей обработки алгоритмами управления. Таким образом, выходной переменной системы является расстояние между датчиком и рабочей пластиной.

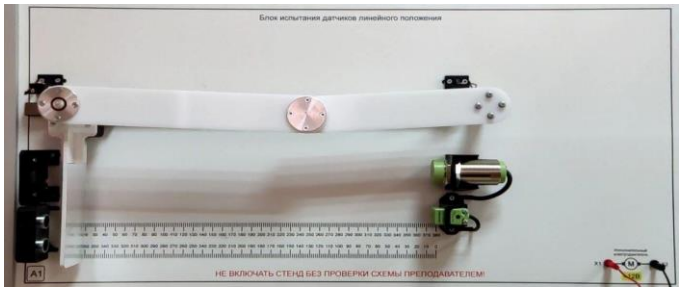


Рис. 1. Кривошипно-шатунный механизм

Математическая модель представленного объекта была разработана с использованием программной среды имитационного моделирования (рис. 2).

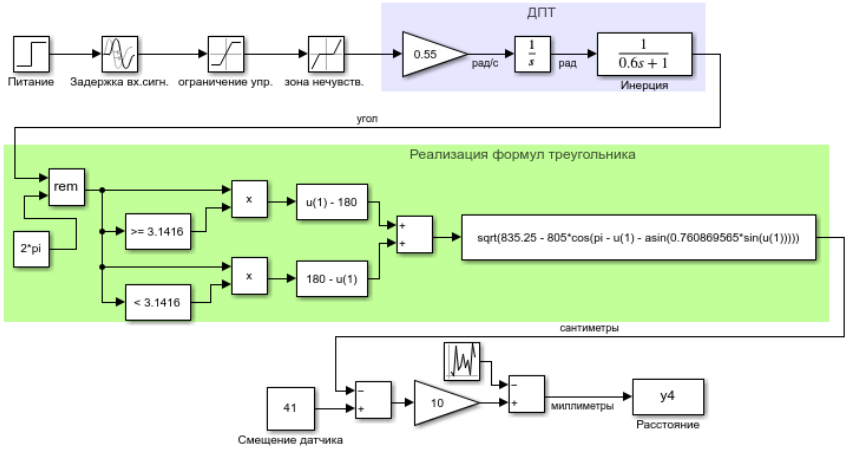


Рис. 2. Математическая модель объекта

Расчёт и настройка параметров регулятора

Первая модификация Циглера-Никольса

Первый способ настройки, основанный на запасах устойчивости, заключается в экспериментальном определении критических параметров системы. Для этого интегральная и дифференциальная составляющие регулятора отключаются, а пропорциональный коэффициент (Kp) увеличивается до момента возникновения устойчивых колебаний. Фиксируется значение этого критического коэффициента усиления (Kкр) и измеряется период возникших колебаний (Tкр), как показано на рис. 3. Этот подход называется частотным методом [2].

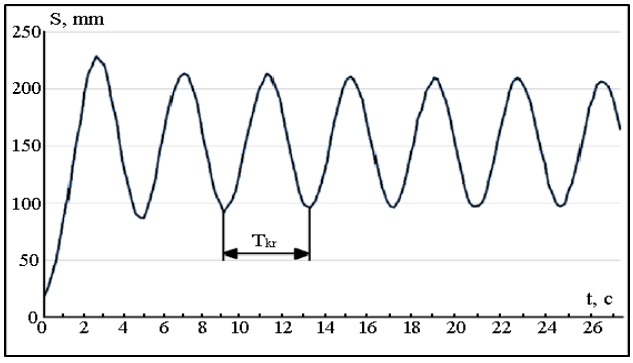


Рис. 3. Режим автоколебаний

На основе анализа рисунка был определен критический период (T_{kr} = 4.2 с), а экспериментально получен критический коэффициент усиления (K_{kr} = 0.46). Используя эти значения, коэффициенты регулятора рассчитываются по заданным формулам (табл. 1).

Таблица 1. Настройка регулятора по частотному методу

Тип регулятора	K_p		K_i		K_d	
	Формула	Значение	Формула	Значение	Формула	Значение
П	$0.5 \cdot K_{kr}$	0.23	–	–	–	–
ПИ	$0.45 \cdot K_{kr}$	0.207	$0.54 \cdot K_{kr} / T_{kr}$	0.059	–	–
ПИД	$0.6 \cdot K_{kr}$	0.276	$1.2 \cdot K_{kr} / T_{kr}$	0.132	$3 \cdot K_{kr} \cdot T_{kr} / 40$	0.145

Проведем тестирование регуляторов в среде моделирования и на практике (рис.4-5).

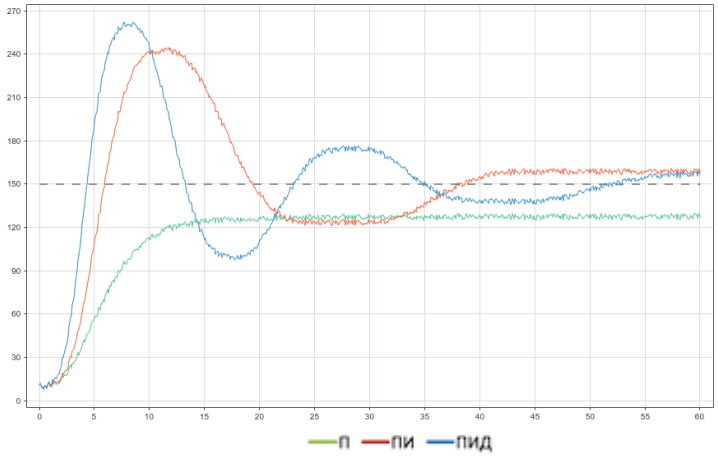


Рис. 4. Переходный процесс системы (первый метод Циглера-Николса)

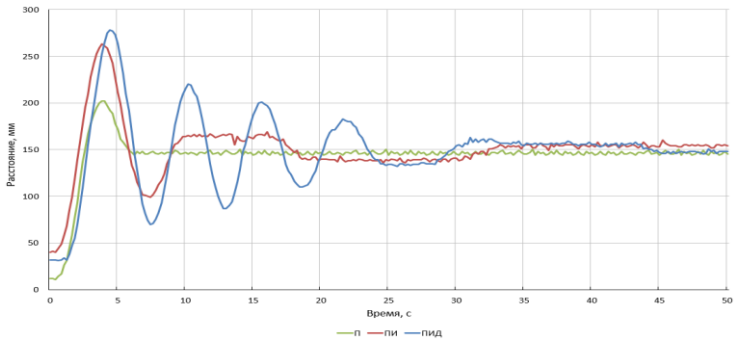


Рис. 5. Переходный процесс системы на реальном объекте (первый метод Циглера-Николса)

Экспериментальные данные, полученные на реальном объекте и отраженные на рисунке, свидетельствуют о том, что применение ПИ и ПИД-регуляторов приводит к продолжительному переходному процессу и значительному перерегулированию. В сравнении с ними, система управления с П-регулятором демонстрирует меньшую длительность переходного процесса и меньший уровень перерегулирования. Однако необходимо учитывать, что использование П–регулятора сопряжено с наличием неустранимой статической ошибки.

Вторая модификация Циглера–Николса

Второй способ настройки предполагает использование экспериментально полученной реакции объекта управления на ступенчатое входное воздействие (рис. 6) [3]. Расчет параметров регулятора осуществляется на основе следующих формул, в которых фигурируют коэффициенты a=85 и L=0.76:

$$K_p = \frac{1.2}{a}, K_i = \frac{K_p}{0.9 \cdot L}, K_d = \frac{0.5 \cdot L}{K_p}. \quad (1)$$

В результате произведенных вычислений были определены следующие значения параметров регулятора: $K_p = 1.5, K_i = 0.0199, K_i = 27.9.$

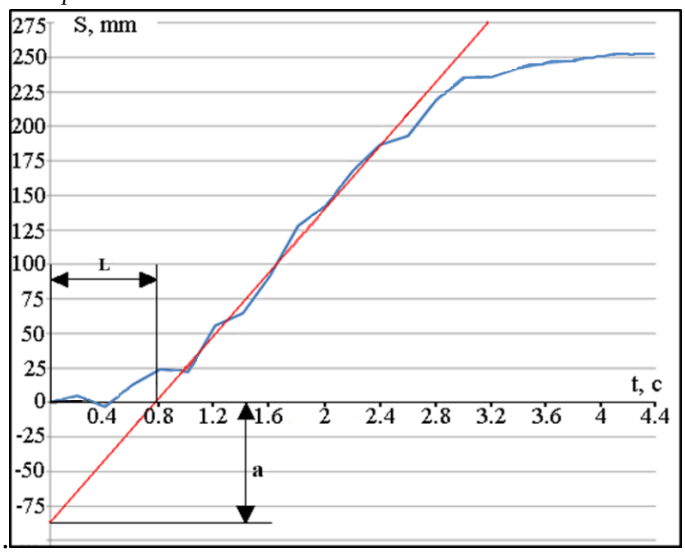


Рис. 6. График для расчёта параметров регулятора по методу Циглера-Николса

Проведем тестирование регуляторов в среде моделирования и на объекте (рис. 7-8).

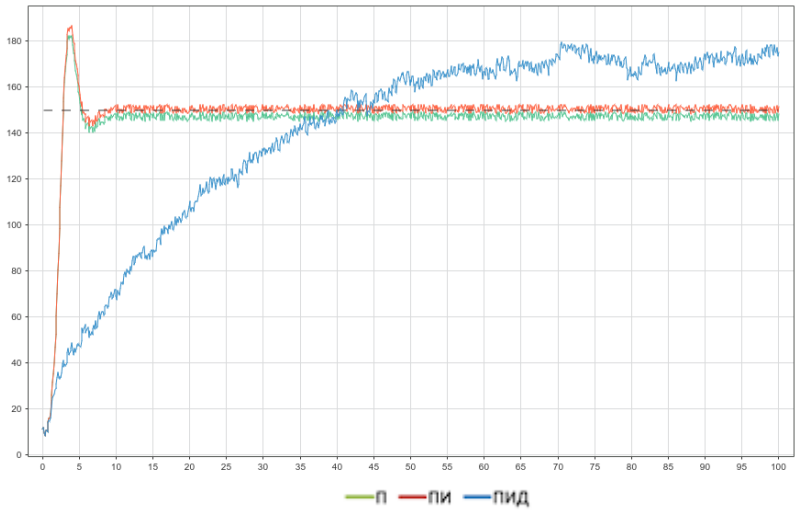


Рис. 7. Переходный процесс системы (второй метод Циглера-Николса)

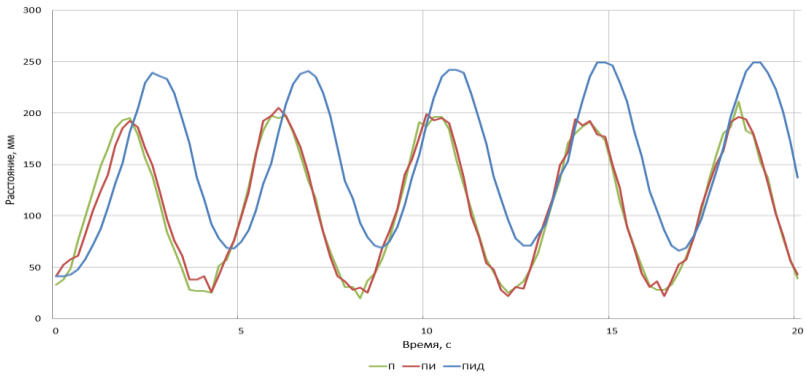


Рис. 8. Переходный процесс системы на реальном объекте (второйметод Циглера-Николса)

Как показывают приведенные выше графики, на практике все системы с регуляторами, настроенные описанным методом, попали в режим автоколебаний. В связи с этим было

решено, что данный вариант метода Циглера-Николса не является подходящим для настройки регулятора этой конкретной системы. Основной недостаток метода заключается упрощенности метода, который использует всего два параметра для описания объекта управления.

Метод Чина-Хронеса-Ресвика

Данный метод является приближенным, его преимущество заключается в простоте настройки параметров. По характеристике разгона (рис. 9) фиксируются время выравнивания T_g и время задержки T_u [5].

Для расчета параметров регуляторов используются следующие выражения:

$$K_p = 1.66 \cdot K_o \cdot \frac{T_u}{T_g}, K_i = \frac{1}{T_g}, K_d = 1.66 \cdot T_u. \quad (2)$$

На основании приведенных формул определены численные значения параметров: $K_p = 0.686, K_i = 0.45, K_d = 0.4.$

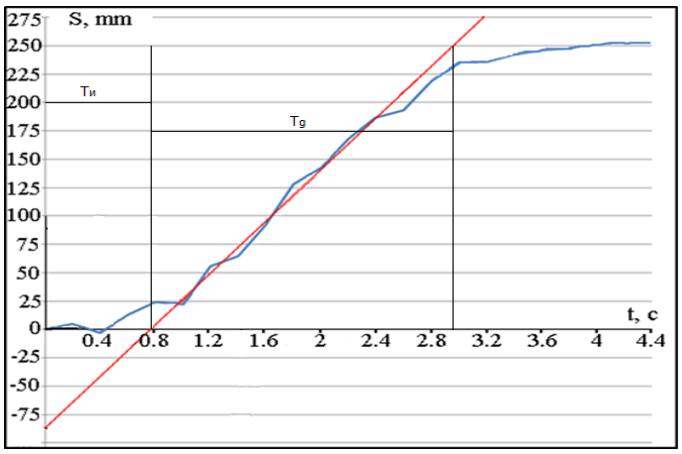


Рис. 9. График для расчёта параметров регулятора по методу Чина-Хронеса-Ресвика

Графики переходных процессов, полученных в среде имитационного моделирования и на объекте, представлены на рисунках 10-11.

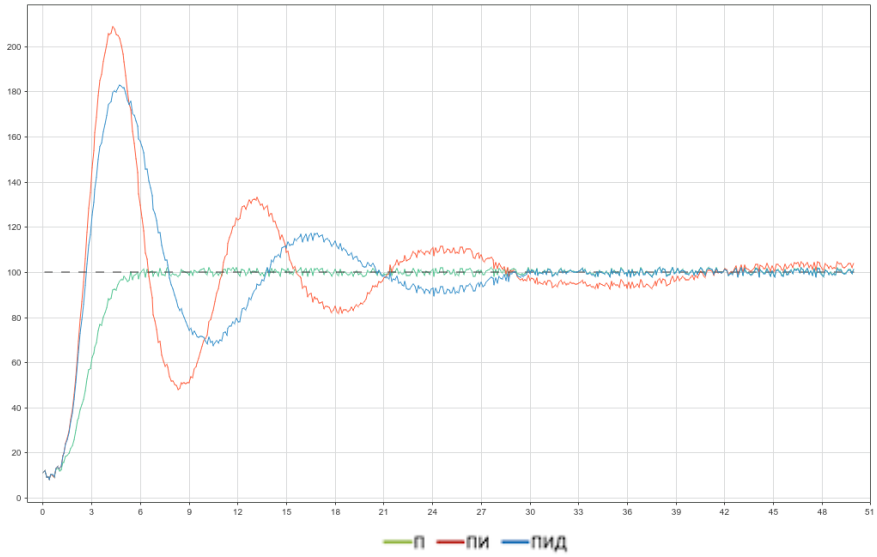


Рис. 10. Переходный процесс системы (метод Чина-Хронеса-Ресвика)

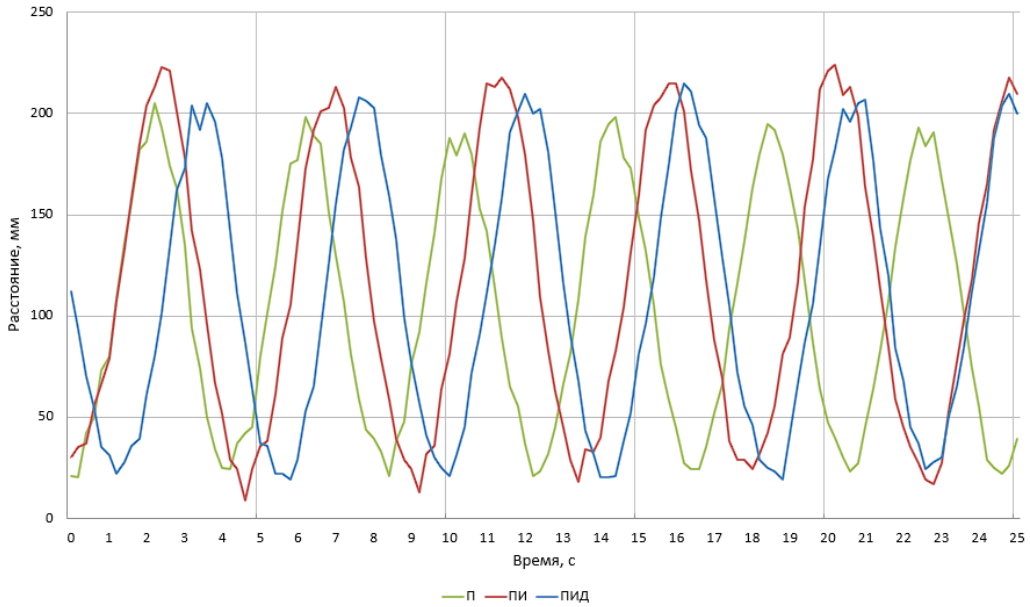


Рис. 11. Переходный процесс системы (метод Чина-Хронеса-Ресвика)

Результаты практической реализации показали, что все исследуемые системы попали в режим автоколебаний. Данное явление объясняется высокими значениями коэффициентов, о чем свидетельствует сохранение режима автоколебаний даже после их уменьшения на пятьдесят процентов. Показатели качества переходных процессов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели качества переходного процесса

Среда	**Метод**	**Тип регулятора**	**Показатели качества**		
			$t_{пп}$, *с*	σ, %	Δ, %
Среда имитационного моделирования	Первый вариант Циглера-Николса	П	17	15	15
		ПИ	43	60	4
		ПИД	60	73	3
	Второй вариант Циглера-Николса	П	10	20	3
		ПИ	10	22	0
		ПИД	–	–	–
	Метод Чина-Хронеса-Ресвика	П	7	0	0
		ПИ	45	108	1
		ПИД	30	80	0
Реальный объект	Первый вариант Циглера-Николса	П	6	38	5
		ПИ	33	68	3
		ПИД	43	88	2
	Второй вариант Циглера-Николса	П	–	–	–
		ПИ	–	–	–
		ПИД	–	–	–
	Метод Чина-Хронеса-Ресвика	П	–	–	–
		ПИ	–	–	–
		ПИД	–	–	–

Заключение

Для настройки параметров регулятора в системе с кривошипно–шатунным механизмом были рассмотрены различные методы, включая методы Циглера-Никольса и Чина-Хронеса-Ресвика. В рамках исследования была построена математическая модель объекта в среде имитационного моделирования, рассчитаны соответствующие коэффициенты регуляторов, проведена практическая реализация и дана оценка качества переходных процессов полученных систем.

Разработанная математическая модель представляет неполную модель объекта управления и не включает в себя ряд нелинейных характеристик.

Результаты экспериментальных исследований выявили, что системы, использующие коэффициенты регуляторов, рассчитанные по методу Чина-Хронеса-Ресвика и частотному методу Циглера-Николса, демонстрировали устойчивые автоколебания. На основании анализа полученных временных характеристик сделано заключение о нецелесообразности применения указанных методов для настройки регулятора реальной системы.

Список использованных источников

1. Жмудь В.А. Замкнутые системы автоматического управления : Учебное пособие. – Новосибирск. – Изд-во Юрайт, 2017. – 270 с.

2. Воробьев В.Ю., Саблина Г.В. Расчёт и оптимизация параметров дискретного ПИД-регулятора методом Циглерла-Никольса // Автоматика и программная инженерия. – №1, 2019. – С. 9-13.

3. Дёмин И.О., Саблина Г.В. Исследование методов настройки параметров ПИД-регулятора // Автоматика и программная инженерия. – 2020. – № 1. – С. 174-180.

4. Курганов В.В., Цавнин А.В. Управление объектом с запаздыванием // Автоматика и программная инженерия. – 2015. – № 2. – С. 9-13.

5. Миллер Ю.В., Саблина Г.В. Расчёт параметров ПИД–регулятора // Автоматика и программная инженерия. – 2020. – № 1. – С. 148-153.

6. Сидорова А.А. Выбор эффективного метода настройки ПИД–регулятора // Тр. XV Междунар. науч–практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и современные информационные технологии». – Томск : Изд-во ТПУ, 2017. – С. 175-176.

ИНТЕГРАЦИЯ IOT КОНТРОЛЛЕРА В СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Степанова П.А.[1], Суходоев М.С.[2]
Научный руководитель: Суходоев М.С.[3]
[1] ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8Т12, e-mail: pas46@tpu.ru
[2] ТПУ ИШИТР ОАР, доцент, e-mail: smike@tpu.ru

Аннотация

В статье рассматривается модернизация стенда физического подобия гидродинамической системы с интеграцией IoT-контроллера. Проведен выбор протокола передачи данных и сравнительный анализ до и после обновления. В результате обеспечены удаленный мониторинг, автоматизированный сбор и анализ данных, расширены возможности системы.

Ключевые слова: IoT-контроллер, гидродинамическая система, удаленный мониторинг, автоматизация.

Введение

Автоматизация и цифровизация промышленных и учебных систем набирают популярность, позволяя значительно повысить эффективность управления процессами. Внедрение технологий Интернета вещей (IoT) расширяет возможности мониторинга, анализа и управления данными, обеспечивая более глубокое понимание функционирования системы. В данной работе рассматривается подключение IoT-контроллера к стенду физического подобия гидродинамической системы, который используется для исследования гидродинамических процессов и подготовки студентов.

Цель исследования – оценка эффективности интеграции IoT-контроллера в существующую систему с традиционным контроллером, анализ изменений в функциональности стенда, а также выявление преимуществ автоматизированного сбора, передачи и обработки данных.

Основная часть

Стенд физического подобия гидродинамической системы предназначен для исследования движения жидкости в различных режимах, схема стенда представлена на рисунке 1. В его составе присутствует контроллер, выполняющий базовые функции автоматизации, такие как управление исполнительными механизмами и контроль параметров системы. Однако он не обладает возможностями подключения к облачным хранилищам, удаленного управления и анализа данных в режиме реального времени.

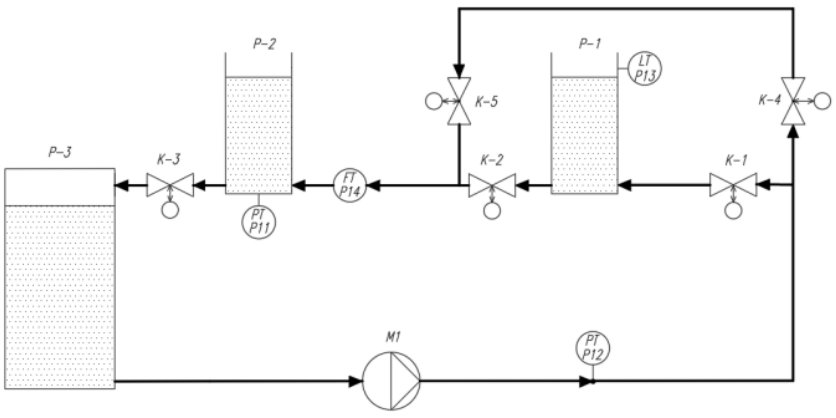


Рис. 1. Схема стенда физического подобия гидродинамической системы

Система включает в себя измерительные датчики, регулирующие устройства и исполнительные механизмы, обеспечивающие циркуляцию рабочей жидкости. На данном этапе данные собираются и обрабатываются локально без возможности их дальнейшего использования для удаленного мониторинга и аналитики.

Для модернизации стенда выбран IoT-контроллер, выполняющий роль шлюза между существующей системой управления и облачным хранилищем. Основные функциональные возможности IoT-контроллера включают:

1) подключение к сети и передача данных по беспроводным и проводным каналам связи;
2) поддержка стандартных протоколов обмена данными;
3) возможность предварительной обработки информации перед отправкой в облако;
4) гибкость настройки и интеграции с различными аналитическими платформами;
5) визуализация и удаленный доступ через веб-интерфейсы.

Процесс интеграции IoT-контроллера включает несколько ключевых этапов:

1) первичная настройка, установка программного обеспечения и конфигурация сети;
2) разработка логики взаимодействия традиционная система управления–IoT-контроллер;
3) разработка интерфейса для мониторинга и удаленного управления процессами стенда;
4) тестирование работы системы, анализ и устранение возможных ошибок.

Важным аспектом интеграции является выбор протоколов передачи данных, обеспечивающих надежное соединение и минимальную задержку при обмене информацией. Для этого был проведен сравнительный анализ распространённых протоколов, представленный в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение протоколов передачи данных

Характеристика	**MQTT**	**Modbus TCP**	**HTTP/REST**
Модель взаимодействия	Публикация/подписка через брокера	Клиент-сервер	Клиент-сервер
Формат сообщений	Бинарный, минимальный оверхед	Бинарный	Текстовый (обычно JSON или XML), значительный оверхед
Надежность передачи	Высокая, поддержка подтверждений доставки сообщений	Высокая, встроенные механизмы контроля ошибок	Высокая, но без встроенных механизмов повторной доставки
Скорость передачи данных	Высокая, низкая задержка из-за постоянного соединения и малого оверхед	Высокая, но может быть ниже из-за опроса устройств	Ниже, из-за установления нового соединения для каждого запроса и большего размера заголовков
Потребление ресурсов	Низкое, оптимизирован для устройств с ограниченными ресурсами	Среднее, требует больше ресурсов для обработки запросов	Высокое, из-за накладных расходов на установку соединений и обработки текстовых данных
Масштабируемость	Высокая, легко поддерживает большое количество клиентов через брокера	Ограниченная, каждый клиент должен напрямую подключаться к серверу	Ограниченная, увеличение числа клиентов может привести к значительным нагрузкам на сервер
Безопасность	Поддержка TLS/SSL для шифрования, механизмов аутентификации и авторизации	Ограниченная, базовая аутентификация, отсутствие встроенного шифрования	Поддержка TLS/SSL, но требует дополнительной настройки для обеспечения безопасности
Поддержка QoS	Три уровня QoS: 0 – без подтверждения, 1 – с подтверждением, 2 – гарантированная доставка	Отсутствует, все запросы обрабатываются одинаково	Отсутствует, все запросы обрабатываются одинаково

Для интеграции IoT-контроллера в стенд был выбран протокол MQTT, поскольку он обладает рядом преимуществ, критически важных для эффективного сбора и передачи данных в облако:

1. Минимальный оверхед – передает только необходимые данные, снижая нагрузку на сеть.
2. Эффективность – в 20 раз быстрее и использует в 50 раз меньше трафика, чем HTTP.
3. Постоянное соединение – снижает задержки и энергопотребление.
4. QoS (Quality of Service) – возможность гарантированной доставки данных.
5. Масштабируемость – позволяет легко подключать новые устройства.
6. Безопасность – поддерживает шифрование и аутентификацию.

Эти характеристики делают MQTT оптимальным для мониторинга и управления гидродинамическим стендом в режиме реального времени.

Подключение IoT-контроллера к стенду требует учета электропитания и правильного соединения сетевых интерфейсов. Важно убедиться, что источник питания обеспечивает достаточный ток для обоих контроллеров, суммируя потребление традиционного контроллера и IoT-устройства.

Этапы подключения:

1. Расчет питания – проверяем, выдерживает ли источник суммарный ток обоих устройств.
2. Обжим Ethernet-кабеля – соединяем IoT-контроллер с традиционным контроллером для передачи данных.
3. Подключение питания – обжимаем провода (+ и -), подключаем IoT-контроллер к источнику питания.
4. Загрузка образа – загружаем операционную систему на IoT-контроллер.
5. Проверка работоспособности – тестируем подключение и обмен данными между устройствами.

Этот процесс обеспечивает корректное питание и связь между элементами системы, позволяя IoT-контроллеру выполнять сбор и передачу данных в облако.

Полученный результат модернизации представлен на структурной схеме на рисунке 2.

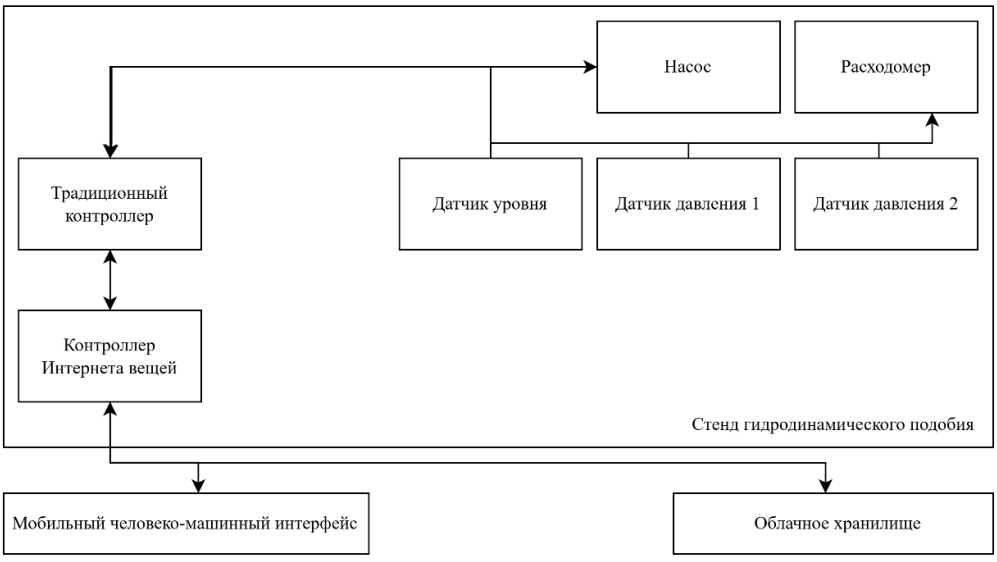


Рис. 2. Структурная схема модернизированного стенда физического подобия гидродинамической системы

Интеграция IoT-контроллера позволила модернизировать стенд физического подобия гидродинамической системы, расширив его функциональные возможности. В таблице 2 представлен сравнительный анализ классического стенда, современных стендов с автоматизацией и модернизированного стенда с IoT-контроллером.

Таблица 2. Сравнительный анализ конфигураций стенда физического подобия гидродинамической системы

Параметр	Классический стенд без IoT	Современные стенды с автоматизацией	Модернизированный стенд с IoT-контроллером
Метод сбора данных	Ручной, через датчики и визуальные показания	Автоматический, с использованием ПЛК	IoT-контроллер с автоматизированным сбором и облачным хранением
Удаленный мониторинг	Отсутствует	Возможен в локальной сети	Доступен в реальном времени через интернет
Протокол передачи данных	Отсутствует или проводные интерфейсы (RS-485, Modbus)	Modbus, OPC UA	MQTT, HTTP, Modbus
Гибкость и расширяемость	Ограниченная, требуется переделка оборудования	Возможна, но сложна для интеграции новых устройств	Высокая, подключение дополнительных датчиков и облачных сервисов
Учебные возможности	Ограничены ручным сбором данных	Доступны базовые функции автоматизации	Гибкость в обучении IoT, облачным технологиям, анализу данных

Сравнительный анализ показал, что модернизация стенда с интеграцией IoT-контроллера значительно расширила его функциональные возможности. Автоматизированный сбор данных и их передача в облако повысили точность измерений и упростили анализ информации. Внедрение удаленного мониторинга позволило отслеживать параметры системы в реальном времени, что ранее было невозможно. Использование современных протоколов передачи данных обеспечило надежную и быструю коммуникацию, а гибкость системы теперь позволяет легко подключать дополнительные датчики и модули.

В учебном процессе модернизированный стенд предоставляет студентам возможность изучать передовые технологии IoT и анализ данных, что соответствует современным требованиям цифровизации.

Заключение

Модернизация стенда физического подобия гидродинамической системы за счет интеграции IoT-контроллера привела к значительному расширению его функциональных возможностей. Проведенное сравнение традиционного стенда и обновленной системы показало, что внедрение современных технологий Интернета вещей позволило автоматизировать процессы сбора, передачи и обработки данных.

В отличие от классического варианта, в котором данные фиксировались вручную или локально, обновленный стенд обеспечивает передачу информации в режиме реального времени, что повышает точность и оперативность мониторинга. Добавленная возможность удаленного доступа позволяет контролировать параметры системы и анализировать их без непосредственного присутствия оператора.

Кроме того, использование IoT-контроллера позволило расширить масштабируемость стенда, облегчая интеграцию дополнительных датчиков и новых функциональных модулей. Реализация связи через современные протоколы передачи данных улучшила надежность обмена информацией, снизила задержки и повысила устойчивость системы.

Таким образом, модернизированная система не только сохранила все возможности традиционного стенда, но и получила дополнительные преимущества, обеспечивающие более эффективное управление и анализ гидродинамических процессов.

Список использованной литературы

1. Протоколы передачи данных IoT // iot.ru. [Электронный ресурс]. – URL: iot.ru/wiki/protokoly-peredachi-dannykh-iot (дата обращения: 01.03.2025)

2. Какие протоколы используются для обмена телеметрическими данными в IoT? // sofiot.ru. [Электронный ресурс]. – URL: sofiot.ru/blog/telemetriya/kakie-protokoly-ispolzuyutsya-dlya-obmena-telemetricheskimi-dannymi-v-iot/ (дата обращения: 10.03.2025)

3. Протоколы передачи данных Интернета вещей // scilead.ru. [Электронный ресурс]. – URL: scilead.ru/article/4048-protokoli-peredachi-dannikh-interneta-veshch (дата обращения: 10.03.2025)

4. Росстандарт утвердил в качестве ГОСТа протокол Интернета вещей NB-IoT // servernews.ru. [Электронный ресурс]. – URL: servernews.ru/1112127 (дата обращения: 13.03.2025)

5. Подковыров А.В. Интеграция Интернета вещей в систему мониторинга промышленных объектов : дис. … магистра. – Томск: ТПУ, 2020. – 110 с. – [Электронный ресурс]. – URL: earchive.tpu.ru/bitstream/11683/61085/1/TPU934780.pdf (дата обращения: 15.03.2025)

ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ СОТРУДНИКОВ АО «ТОМСКНИПИНЕФТЬ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Байделюк Е.А. [1], *Аксёнов С.В.* [2]
[1] *НИ ТПУ, г. Томск (студентка гр. 8ПМ31 ОИТ, ИШИТР), e-mail: eab69@tpu.ru*
[2] *НИ ТПУ, г. Томск (доцент ОИТ, ИШИТР), e-mail: axyonov@tpu.ru*

Аннотация
В докладе рассматривается способ преобразования существующей системы обеспечения технической поддержки для сотрудников АО «ТомскНИПИнефть» с использованием системы обработки естественного языка для анализа текста пользовательских заявок.
Ключевые слова: техническая поддержка, программное обеспечение, машинное обучение.

Введение

Работа любого предприятия предусматривает использование специализированного программного обеспечения. У сотрудников возникает необходимость в установке и обновлении этого ПО. Не редки и ситуации возникновения каких-то технических неполадок при работе как с различными программами, так и в целом при работе компьютера. Для организации этого аспекта работы предприятия в ТомскНИПИнефть существует техническая поддержка. Однако на данный момент техническая поддержка в НИПИ организована не самым удобным образом как для пользователей, так и для сотрудников техподдержки. Заявки поступают из различных источников – по телефону, по почте, через корпоративный портал. Это затрудняет процесс отслеживания и структурирования заявок. Для пользователей также не всегда ясно, куда именно отправлять свою заявку. Не редки случаи, когда сотрудники тех. поддержки получают заявки не по своей специализации и вынуждены самостоятельно перенаправлять их на знающих коллег. Это замедляет процесс выполнения заявки.

Целью работы является создание системы, которая сократит трудозатраты сотрудников технической поддержки на анализ поступающих к ним заявок.

Разработка

Для выполнения поставленной задачи было решено использовать модель обработки естественного языка, на вход которой будет подаваться текст заявки пользователя, а на выходе предсказываться две категории. Первая категория – это программное обеспечение, по которому требуется выполнить какие-либо работы. На данный момент техническое обслуживание проводится по 24 категориям ПО. Вторая категория – тип действия с ПО. Этот параметр содержит 4 уникальных значения: установка, обновление, исправление, предоставление доступа.

Предобработка данных

Для обучения модели использовались данные о пользовательских заявках за 2024 год в количестве 3847 заявок. После удаления всех незначимых для обучения данных остались только основные столбцы – текст заявки, программное обеспечение, тип действия. Далее все данные были случайным образом разделены на обучающую (80 %), валидационную (10 %) и тестовую (10 %) выборки. Таким образом, непосредственно для обучения использовались данные 3077 заявок. Далее тексты заявок необходимо было дополнительно обработать, а именно привести к нижнему регистру и удалить стоп-слова. Список стоп-слов был определен самостоятельно и включает в себя слова приветствий (примеры: «Добрый день», «Здравствуйте» и др.), вежливые слова (примеры: «Пожалуйста», «Спасибо» и др.), а также некоторые другие шумовые слова (примеры: «Прошу», «Необходимо» и др.).

Архитектура модели

Необходимость предсказывать сразу две величины ставит перед нами задачу многозадачной классификации. В виду небольшого количества данных для обучения требуется предобученная модель с возможностью использовать fine-tuning. В качестве используемой языковой модели была выбрана BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers). Помимо того, что она отвечает выдвинутым условиям, она также обладает глубоким пониманием контекста за счет двунаправленности, что немаловажно, так как одни и те же слова могут иметь разные значения в ряде случаев.

Библиотека transformers предоставляет два вида моделей – bert-base-uncased и bert-large-uncased. Основное различие состоит в том, что bert-large-uncased имеет больший размер: в три раза больше параметров, в два раза больше слоев, больший размер скрытого слоя и большее число голов. Потенциально такая модель будет более точная, однако потребует больше ресурсов. Мы рассмотрим модели, параметры которых указаны в таблице 1.

Таблица 1. Параметры моделей

Параметр	**Модель 1**	**Модель 2**
BERT	BERT Base Uncased	BERT Large Uncased
Количество эпох	5	5
Размер батча	16	8

Для каждой из моделей были рассчитаны основные метрики по обеим предсказываемым величинам. Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2. Метрики моделей

Метрика	**Модель 1**	**Модель 2**
Program accuracy	0.814	**0.840**
Program precision	0.751	**0.812**
Program recall	0.814	**0.840**
Program F1-score	0.777	**0.821**
Action accuracy	**0.936**	0.929
Action precision	**0.939**	0.928
Action recall	**0.936**	0.929
Action F1-score	**0.935**	0.928

Судя по представленным метрикам, с предсказанием ПО лучше справляется модель 2, а с предсказанием действия – модель 1. Однако только лишь метрик недостаточно для того, чтобы делать вывод об успешности моделей. Рассмотрим более подробно графики точностей обучения по выходным параметрам моделей (рисунок 1).

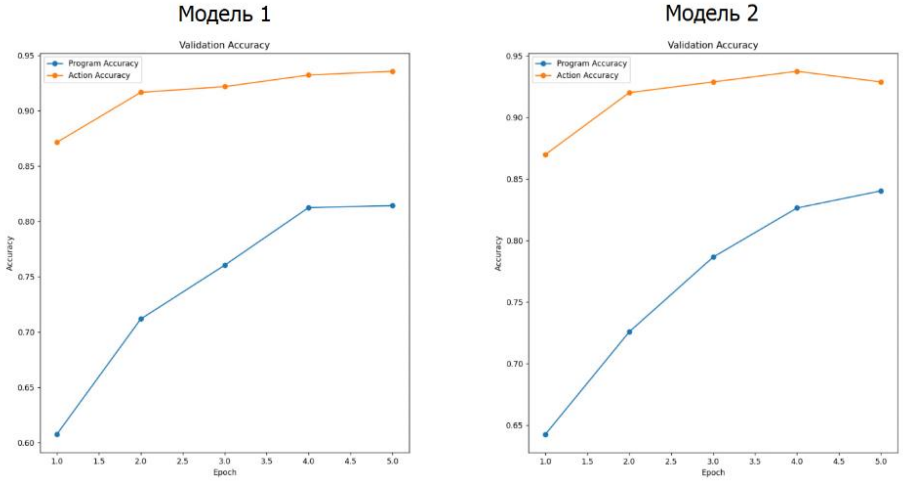


Рис. 1. Графики точностей обучения

Модель 2 демонстрирует переобучение по параметру Action. Возможно, она плохо подходит для единовременного предсказания обеих величин, так как точность предсказаний по параметру Program продолжает расти, в то время как по параметру Action точность падает (модель переобучается). Для повышения точности первой модели добавим следующие изменения:

1. Увеличим количество эпох до 10
2. Добавим два скрытых слоя, которые сожмут модель с 768 до 256
3. Откажемся от использования pooler_output и будем использовать вектор [CLS] напрямую, для предотвращения возможных потерь информации
4. Добавим нормализацию батчей
5. Добавим dropout для предотвращения переобучения

Графики потерь и точностей для полученной модели представлены на рисунке 2.

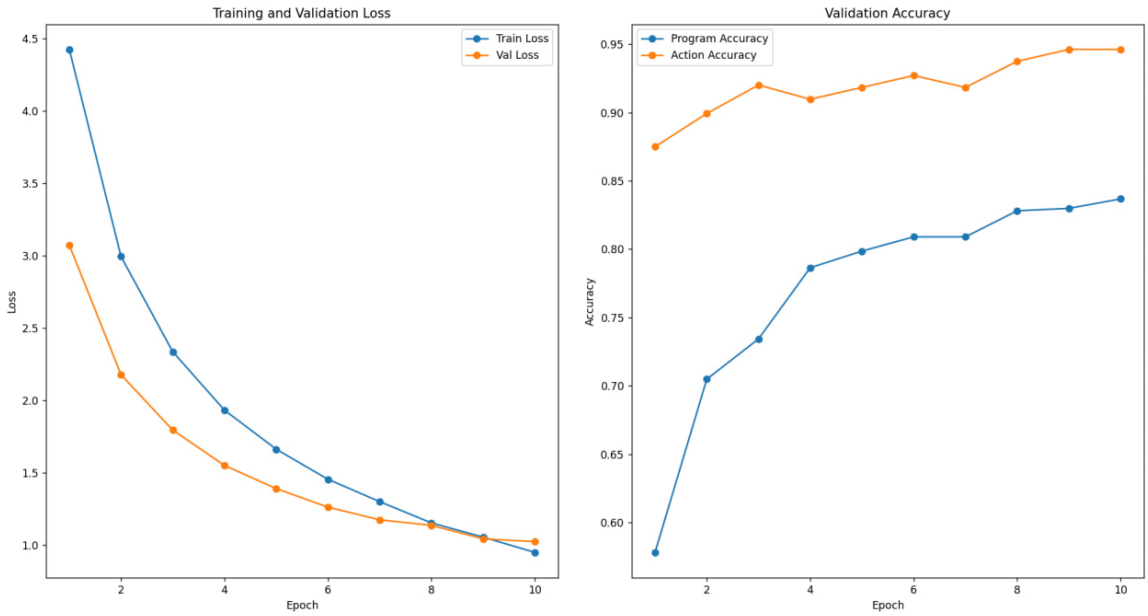


Рис. 2. Графики потерь и точностей для улучшенной модели 1

Для полученной модели были рассчитаны метрики, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3. Метрики улучшенной модели 1

Метрика	Значение
Program accuracy	0.847
Program precision	0.808
Program recall	0.847
Program F1-score	0.824
Action accuracy	0.936
Action precision	0.935
Action recall	0.936
Action F1-score	0.935

Показатели, превышающие значение 0.8, можно считать достаточно успешными для поставленной задачи.

Результаты

В результате работы была получена модель с точностью по показателям действия и ПО свыше 80 %. Для демонстрации работы модели было разработано консольное приложение. Примеры некоторых успешных предсказаний представлены на рисунке 3.

```
Введите ваш текст: прошу установить AutoCAD
Категория действия: Установка; Программа: Autodesk
Введите ваш текст: Не работают макросы в экселе
Категория действия: Исправление; Программа: Макросы (MS Office)
Введите ваш текст: Необходимо добавить сотрудника Иванова Ивана Ивановича в Шаблон+ на роль эксперта
Категория действия: Предоставление доступа; Программа: Шаблон+
```

Рис. 3. Демонстрация работы модели

Тем не менее в некоторых случаях модель все же допускает ошибки. Одни из таких случаев представлен на рисунке 4.

```
Введите ваш текст: Прошу переустановить Трубопровод, так как при открытии появляется
 ошибка "закончилась лицензия"
Категория действия: Установка; Программа: Трубопровод
```

Рис. 4. Пример ошибочного предсказания

Модель верно определила категорию ПО, однако исходя из текста заявки возникает проблема с лицензиями, поэтому правильнее было бы определить категорию действия «Предоставление доступа». Тем не менее пользователь не знает об этом и просит именно переустановить программу, поэтому такая ошибка не является критической и соответствует тексту заявки.

Заключение

В работе был проведен анализ двух моделей с разными архитектурами, предоставляемыми библиотекой transformers. Модели были обучены на 3077 пользовательских заявках сотрудников АО «ТомскНИПИнефть» за 2024 год. Была выбрана лучшая модель, которая впоследствии была модифицирована для достижения максимальной точности по предсказываемым величинам. Уже сейчас модель успешно справляется с предсказанием более чем в 80 % процентов случаев. Тем не менее в дальнейшем возможно расширение обучающего датасета за счет добавления заявок за предыдущие года, а также новых заявок. Разработанную модель можно использовать в качестве модуля в информационной системе, с помощью которой пользователи обращаются за технической поддержкой.

Список использованных источников

6. BERT – transformers 3.0.2 documentation [Электронный ресурс]. – URL: huggingface.co/transformers/v3.0.2/model_doc/bert.html (дата обращения: 01.03.2025)

7. Joblib – Read the Docs [Электронный ресурс]. – URL: joblib.readthedocs.io/en/stable/ (дата обращения: 01.03.2024)

8. Matplotlib 3.10.1 documentation [Электронный ресурс]. – URL: matplotlib.org/stable/index.html (дата обращения: 01.03.2024)

9. Pandas documentation – pandas 2.2.3 documentation [Электронный ресурс]. – URL: pandas.pydata.org/docs/ (дата обращения: 01.03.2024)

10. PyTorch 2.6 documentation [Электронный ресурс]. – URL: pytorch.org/docs/stable/index.html (дата обращения: 01.03.2024)

11. scikit-learn: machine learning in Python – Documentation [Электронный ресурс]. – URL: scikit-learn.org/0.21/documentation.html (дата обращения: 01.03.2024)

СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ «АНАЛИЗАТОР ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ЭМУЛЬСИЙ»

Ясинский Д.Д.[1], Кучман А.В.[2]
[1]Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники 8Т11, e-mail: ddy2@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, старший преподаватель, e-mail: avm82@tpu.ru

Аннотация

Основная цель исследования заключается в разработке программного обеспечения и настройке стенда физического подобия для автоматизированного анализа дисперсного состава. Стенд является частью комплексной системы, предназначенной для разрушения или синтеза водомасляных эмульсий с заданным дисперсным составом. Работа системы базируется на методе оптической микроскопии. В исследовании подробно описаны конструкция стенда, его функциональные возможности и режимы работы.

Ключевые слова: нефтяная эмульсия, оптическая микроскопия, дисперсный состав, автоматизация, программное управление.

Введение

Водомасляная эмульсия – это дисперсная система, состоящая из несмешивающихся жидкостей, в которой одна дисперсная фаза распределена в виде сферических капель в другой дисперсионной среде. Анализ дисперсного состава эмульсий имеет большое значение для оценки их устойчивости, что, в свою очередь, способствует оптимизации технологических процессов при переработке нефти. На сегодняшний день распространены анализаторы дисперсного состава, работа которых основана на методе лазерной дифракции. Результаты, получаемые с помощью этого метода, чувствительны к изменению состава эмульсии и требуют сложной математической обработки, что приводит к тому, что итоговые результаты могут существенно расходиться с реальными. Оптическая микроскопия остается наиболее наглядным методом исследования дисперсного состава эмульсий. В отличие от косвенных методов, основанных на математических расчетах, этот подход позволяет непосредственно наблюдать и измерять размеры глобул, обеспечивая точные данные. Главным ограничением метода является трудоемкость обработки данных, так как анализ требует ручного измерения большого количества капель, что существенно снижает производительность исследований.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения и наладка стенда физического подобия для автоматизации анализа дисперсного состава нефтяных эмульсий. Это позволит повысить точность измерений, сократить время анализа и обеспечить контроль за процессами разрушения или синтеза эмульсий с заданными характеристиками.

Наладка работы стенда

Система стенда для включает несколько ключевых компонентов, обеспечивающих процесс приготовления, транспортировки и оптического исследования дисперсного состава. Основным элементом является верхнеприводная мешалка, которая используется для создания однородной эмульсии путем интенсивного перемешивания двух несмешивающихся жидкостей. Контроль скорости и интенсивности перемешивания позволяет влиять на размер и распределение частиц дисперсной фазы. Приготовленная эмульсия хранится в специальной емкости, откуда с помощью насоса транспортируется на предметный столик микроскопа для анализа. Работа всей системы управляется платой с микроконтроллером, которая координирует работу мешалки, насоса и клапанов, регулирующих подачу воды и пробы на предметный столик. Ключевым элементом анализа является микроскоп с камерой, который

визуализирует частицы эмульсии, фиксируя изображения для последующей обработки программным обеспечением. Это позволяет определить размер и форму частиц, что критично для оценки качества эмульсии. Дополнительно в системе используется техническая емкость, предназначенная для сбора отработанных проб, что обеспечивает удобство работы и предотвращает загрязнение [1]. Структурная схема стенда представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Структурная схема стенда

На первом этапе испытаний стенда физического подобия была проведена проверка его работы с использованием. В ходе тестирования удалось подтвердить функциональность основных компонентов устройства. Все элементы гидравлической системы, включая насос, клапаны и соединительные шланги, работали корректно. Протечек или утечек воды зафиксировано не было, что свидетельствует о надежности герметичности системы.

Основная часть стенда – верхнеприводная мешалка – показала способность эффективно перемешивать жидкость. Однако был выявлен недостаток в конструкции: соединительная муфта (цанга) не обеспечивает достаточно жесткого закрепления лопастей на валу двигателя, что вызывает шатание пропеллера во время работы. Это может снизить стабильность перемешивания и требует доработки для устранения люфта.

Таким образом, первый опыт работы стенда продемонстрировал его общую работоспособность. В дальнейшем планируется устранить недостаток конструкции цанги для обеспечения более стабильной работы мешалки, а также провести дополнительные испытания с эмульсией для проверки влияния параметров перемешивания и подачи на дисперсность эмульсии.

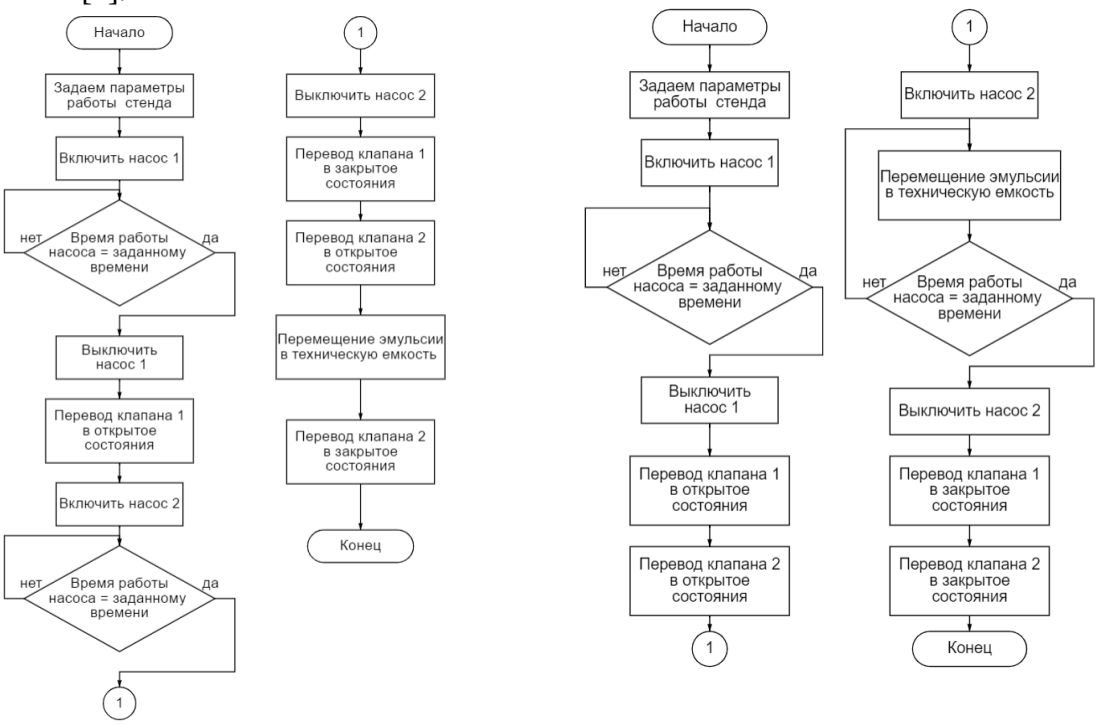
Разработка алгоритмов работы для получения эмульсии разной степени дисперсности

Для разработки алгоритмов работы системы, предназначенной для получения эмульсии с разной степенью дисперсности, качестве был выбран язык программирования C, для реализации интерфейса использовался язык программирования Python.

Система реализует два основных режима работы: статический и динамический, с возможностью гибкой настройки параметров через последовательный интерфейс или через интерфейс, разработанный на Python.

В статическом режиме мешалка работает в течение заданного пользователем времени, после чего останавливается, и система открывает клапаны. Затем включается насос, который работает в течение фиксированного времени. После завершения работы насоса клапаны закрываются, и система переходит к завершающему этапу – открытию одного из клапанов для перемещения эмульсии в техническую емкость. По завершении всех этапов система выводит сообщение о завершении работы в статическом режиме.

В динамическом режиме алгоритм начинается с запуска мешалки, которая работает в течение установленного времени. После остановки мешалки система открывает клапаны и включает насос. Время работы насоса в этом режиме задается пользователем, что позволяет адаптировать процесс под конкретное время проведения эксперимента. По истечении заданного времени насос останавливается, клапаны закрываются, и система выводит сообщение о завершении работы в динамическом режиме. Блок схема алгоритма, указаны на рисунке 2 [2].



а) б)

Рис. 2. Алгоритмы работы стенда: а – статический режим; б – динамический режим.

Для простоты проведения опытов разработан интерфейс, представленный на рисунке 3.

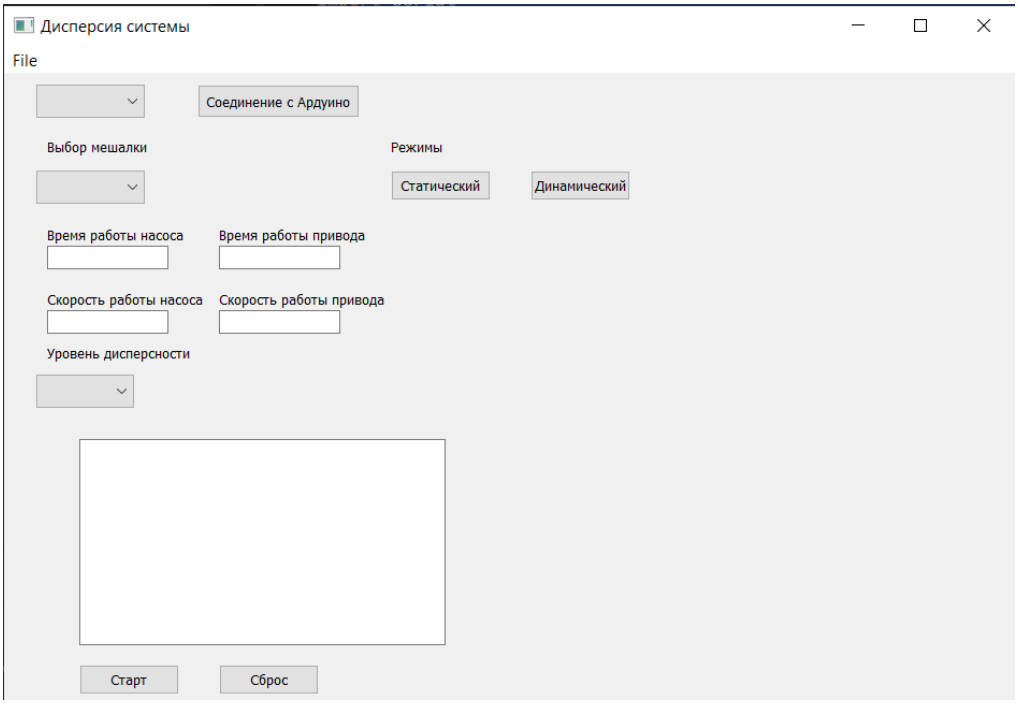
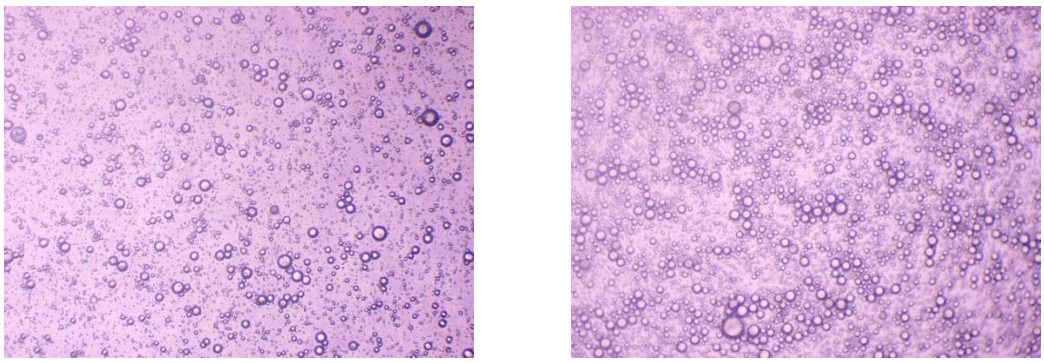


Рис. 3. Интерфейс программы

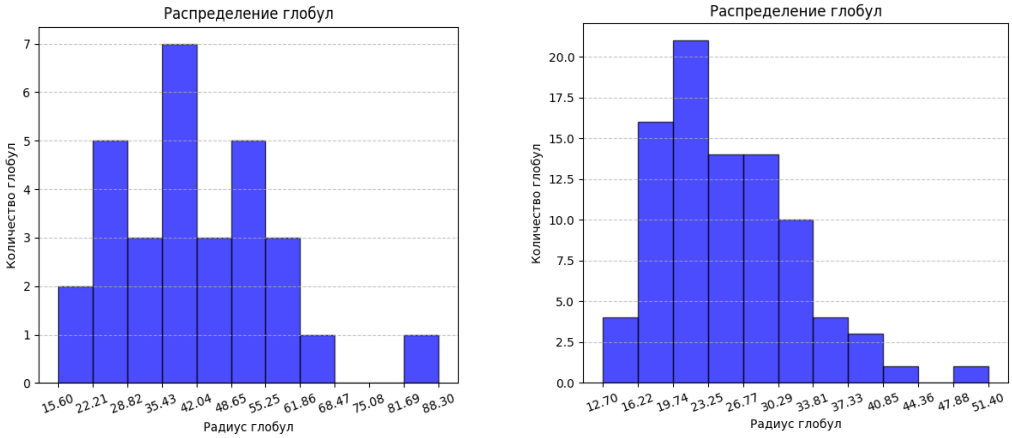
В ходе тестов были получены следующие фотографии:



а) *б)*

Рис. 4. Фотографии опыта: а – 1 фотография, б – 2 фотография.

Из полученных данных составили распределени мм е диаметров глобул в данной среде:



а) *б)*

Рис. 5. Гистограммы: а – 1 фотография, б – 2 фотография

Заключение

В ходе проведенной работы были разработаны алгоритмы работы стенда, подобраны элементы для сборки стенда, разработана программа для реализации алгоритмов и собран стенд физического подобия. Также были проведены тесты, получены фотографии с микроскопа и построены гистограммы, которые показали работоспособность стенда и программы. Практическая ценность работы заключается в сокращении временных и денежных на анализ дисперсного состава эмульсии, и приготовления проб для этого анализа, а также увеличении качество анализа.

Список использованных источников

1. Автоматизированная система для проведения экспресс-анализа дисперсного состава скважинной жидкости / Филипас А.А., Мигель А.В., Исаев Ю.Н., Курганов В.В. // Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – Томск : Изд-во ТПУ, 2021. – С. 469-470

2. Стенд физического подообия «анализатор дисперсного состава эмульсии» / А. В. Кучман, Д. Д. Ясинский // Сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – Томск : Изд-во ТПУ, 2024. – С. 792-794

3. Альтернативный метод получения квазимонодсперсной водомасляной эмульсии / Филипас А.А., Мигель А.В., Исаев Ю. Н. // Известия ТПУ – Томск : Изд-во ТПУ – 2024. – С. 219-232

РАЗРАБОТКА L2 КОНЦЕНТРАТОРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА SPD НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ NICA[1]

Бернгардт А. Е[1], Ерофеев Д. В.[2],
Научный руководитель: Борщь В. Н.[3]
[1]НИ ТГУ, ФФ, лаборант, e-mail: lemillberni@mail.ru
[2]НИ ТГУ, ФФ, лаборант, e-mail: dima.dzenov@gmail.com
[3]НИ ТГУ, ФФ, м.н.с., e-mail: borchsh.vn@gmail.com

Аннотация

В рамках развития детекторной установки SPD ускорительного комплекса NICA разработан прототип концентратора второго уровня. Концентратор второго уровня или концентратор L2 представляет собой устройство на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Концентратор L2 предназначен для сбора данных с нескольких концентраторов первого уровня (концентратор L1) по интерфейсам 10G Ethernet и передачи на сервер обработки данных через PCIe интерфейс. В данной статье представлена идея проекта, разработанная архитектура концентратора, описание и пояснения к принципам работы устройства.

Ключевые слова: fpga, nica, spd, физика высоких энергий, алгоритмы сбора данных, детекторная электроника.

Введение

Установка Spin Physics Detector (SPD) на ускорительном комплексе Nucotron base Ion Collider fAcillity (NICA) предназначена для проведения экспериментов по спиновой физике, определения границ существования ядерной материи и полного понимания структуры протона. В ходе проведения экспериментов при регистрации детекторами характеристик частиц после столкновения будет генерировать поток данных, скорость которого по приблизительным оценкам составляет около 20 Гбайт/с [1]. Этот поток включает в себя как физические данные, так и сервисные команды.

Для обеспечения такой пропускной способности для систем DAQ необходима специальная электроника, осуществляющая прием и многоуровневую обработку данных с последовательной агрегацией потоков данных в один, для передачи на сервер сбора данных. Далее, программное обеспечение сбора и обработки данных осуществляет сборку событий и обработку данных. Общая схема сбора и обработки данных SPD представлена на рисунке 1. В данной статье описывается программное обеспечение и аппаратная платформа блока L2 Concentrator (концентратор второго уровня, L2 концентратор).

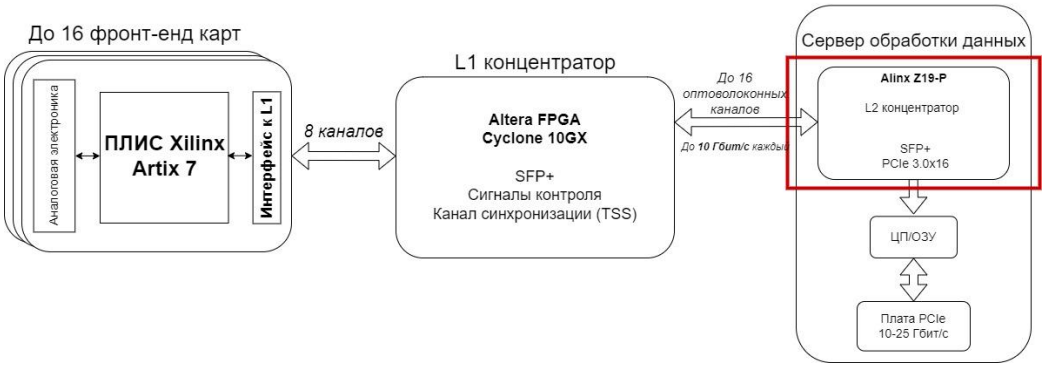


Рис. 1. Схема Readout цепочки эксперимента

[1] Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2025-0023)

Мотивация

Архитектура L2 концентратора основана на использовании программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). ПЛИС предлагает ряд преимуществ перед традиционными сетевыми картами в задачах предобработки и анализа данных [2,3]. В отличие от сетевых карт, ПЛИС предоставляет разработчику возможности по созданию специализированного дизайна для обработки данных. Этим обеспечивается гибкость в реализации различных алгоритмов, возможность итерационной доработки и проверки разработок. В свою очередь, доступные сетевые карты имеют мало портов для оптических кабелей, алгоритмы обработки данных внутри сетевой карты нельзя модифицировать. Использование видеокарты для обработки данных также не желательно из-за необходимости передачи трафика по пути сетевой интерфейс−ОЗУ процессора−видеокарта. В этой цепочке данные будут проходить «бутылочное горлышко» интерфейса к памяти процессора дважды. Доступная коммерческая отладочная плата на ПЛИС, как будет показано далее, поддерживает до 8 оптических портов, что значительно превосходит возможности стандартных сетевых карт. Таким образом, использование ПЛИС позволяет заменить несколько сетевых карт одной платой и снизить общую нагрузку на вычислительную систему.

Обзор аналогов

Одним из аналогов L2 концентратора является система Felix (FLX) из эксперимента ATLAS на Большом адронном коллайдере [4,5]. Felix представляет собой универсальный интерфейс сбора данных на ПЛИС, разработанный для замены специализированных интерфейсов оптической передачи в системе DAQ ATLAS. На рисунке 2 представлена аппаратная платформа системы Felix. Основная функция Felix заключается в приеме данных от фронтэнд-электроники через протокол GBT (GigaBit Transceiver), их обработке и передаче на сервер сбора данных через интерфейс PCIe (Рис. 3).

Рис. 2. Аппаратная платформа FLX-182

Архитектурно Felix выполняет роль концентратора данных, аналогично L2 концентратору для SPD. Данные от детекторов поступают в плату Felix через оптические GBT-линки, где затем разбиваются на E-links и группируются в блоки данных. Эти блоки передаются в хост-систему через PCIe, где уже программное обеспечение хоста формирует Ethernet-пакеты и отправляет их в сеть. Таким образом, Felix можно рассматривать как промежуточный уровень между детекторной электроникой и вычислительной системой, обеспечивающий агрегацию и буферизацию потоков данных.

С функциональной точки зрения Felix выполняет роль L2 концентратора, так как агрегирует потоки данных от детектора и передает их в центральную систему обработки. Как и L2 концентратор, Felix позволяет масштабировать систему считывания данных за счет гибкости интерфейсов и возможности обработки пакетов в FPGA перед их отправкой в серверную часть системы. Отличие состоит в используемых протоколах передачи: в системе SPD применяется 10G Ethernet, тогда как Felix использует GBT и E-links. Кроме того, L2 концентратор встроен в принципиально другую систему сбора данных, где агрегация потоков происходит поэтапно.

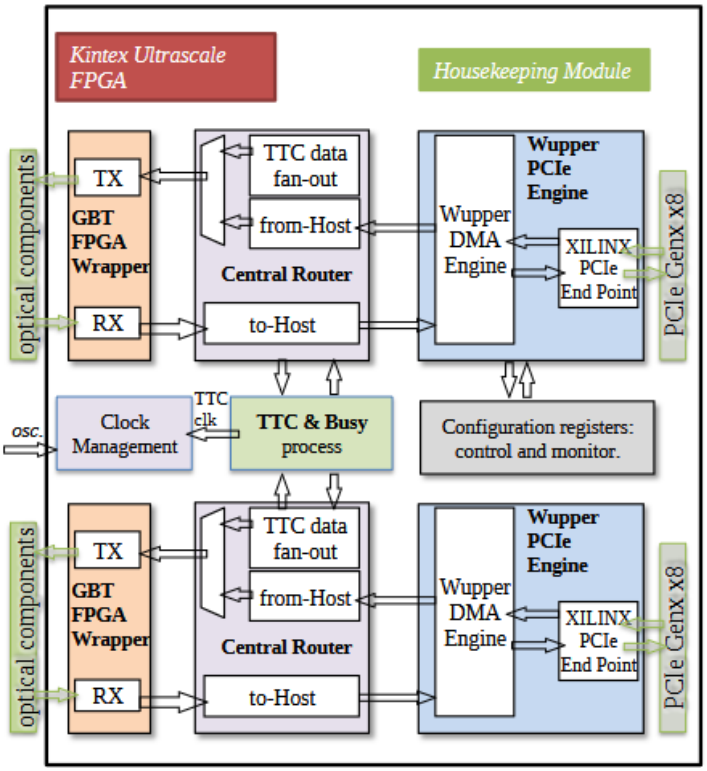


Рис. 3. Архитектура FELIX

Аппаратная платформа

Концентратор второго уровня обеспечивает связь концентраторов первого (L1) уровня с сервером обработки данных и передачу данных от L1 к L2. Соединение между концентраторами L1 и L2 осуществляется с использованием одномодового оптического кабеля. Для обмена данными между концентраторами L1 и L2 используется стандарт Ethernet II 802.3, стандарт физического уровня 10GBASE-LR. В качестве аппаратной платформы используется коммерческая отладочная плата Z19-P от компании Alinx (Рис. 4).

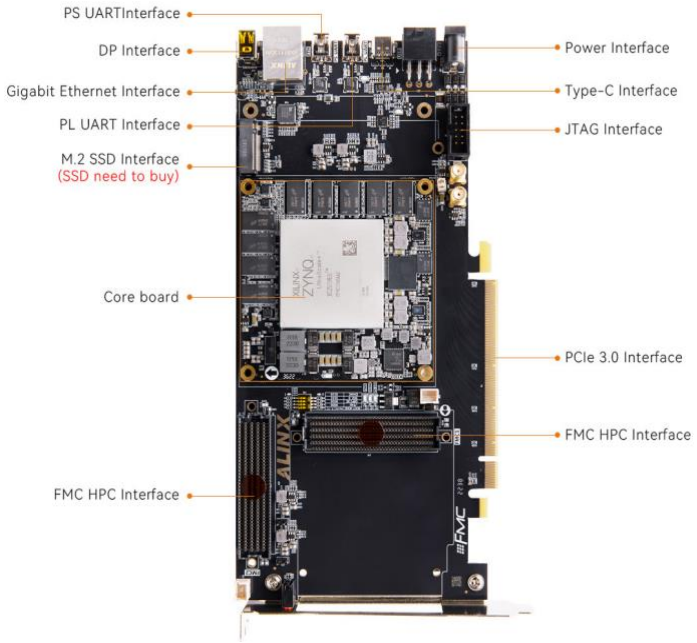


Рис. 4. Общий вид аппаратной платформы концентратора второго уровня

Плата оснащена двумя разъемами FMC (FPGA Mezzanine Card) HPC, каждый из которых поддерживает до четырех 10G SFP трансиверов [6,7]. Это позволяет использовать один концентратор второго уровня для агрегации до 8 концентраторов первого уровня, с суммарной пропускной способностью до 80 Гбит/с. После приема пакетов из концентратора L1, данные передаются в сервер обработки данных через интерфейс PCIe 3.0 x16. Детали процесса обработки информации L2 концентратором представлены далее.

Ограничения по количеству портов L2 обусловлены аппаратной платформой и коммерчески доступными платами расширения.

Архитектура концентратора второго уровня и алгоритмы обработки данных

Высокоуровневая схема ПО концентратора L2 представлена на рисунке 5.

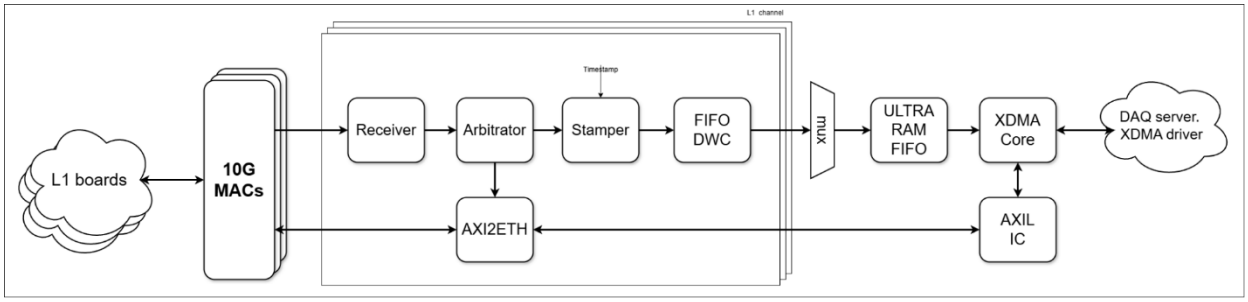


Рис. 5. Архитектура L2 концентратора

Путь следования и обработки данных в концентраторе L2 проходит слева направо на рисунке 3. Детали обработки и передачи данных представлены ниже. Данные с набора концентраторов L1 по оптическим кабелям, проходя через SFP трансиверы на плате, передаются на модули 10G MAC [8]. Эти модули принимают пакеты и выполняют проверку их контрольной суммы, после чего данные передаются в модули канальной обработки. Для обмена информацией между концентраторами L1 и L2 используется два типа пакетов. Пакеты «Данные» содержат информацию, полезную нагрузку, полученную от детекторов, и передаются на сервер сбора данных. Пакеты «Команды» обеспечивают взаимодействие между концентраторами L2 и L1, передают сервисную информацию, настройки и обновления программного обеспечения концентратора L1 и подключенных к нему front-end карт.

Модуль «Receiver» проверяет корректность MAC-адресации и размеров пакета, а также определяет тип пакета (команда или данные). После выполнения проверки соответствующие поля пакета удаляются, а результаты сохраняются и передаются для дальнейшей обработки.

Модуль «Arbitrator» выполняет арбитраж потока данных и направляет их: если пакет содержит команду, он направляется в модуль «Axi-to-Eth», а данные передаются дальше, в модуль «Stamper».

Модуль «Stamper» дополняет пакет результатами проверок внутри «Receiver» и временным штампом. Эта информация используется на следующем уровне обработки данных на сервере обработки данных. Форматирование пакета после обработки канальными модулями представлено на рисунке 6.

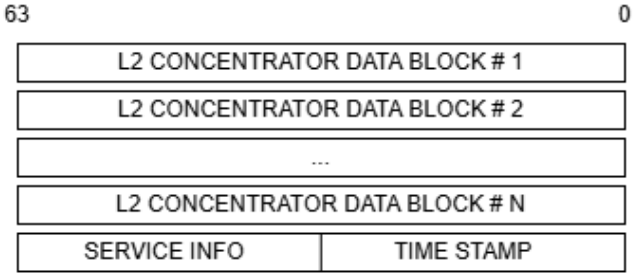


Рис. 6. Формат пакета данных

После предварительной обработки, пакеты передаются в модуль FIFO DWC (First-In-First-Out Data Width Converter). Данный модуль буферизирует пакеты для предотвращения их потерь при возможных задержка и осуществляет изменение ширины шины данных с целью синхронизирования скоростей передачи данных в нескольких каналах и интерфейса передачи в сервер (PCI).

Модуль «mux» последовательно мультиплексирует пакеты нескольких каналов в PCI буфер («ULTRA RAM FIFO»). В качестве буфера используются специфичные для данной архитектуры ПЛИС блоки памяти UltraRAM, каждый вместимостью 288 Кб, обладающие двухпортовой архитектурой и поддержкой кода коррекции ошибок (ECC) (Error Correction Code) [10].

С помощью модуля XDMA [8] осуществляется сопряжение с сервером сбора и обработки данных через интерфейс PCIe. Так же, через это ядро производится обмен транзакциями по шине AXI Lite как с концентратором L2, так и с нижестоящими устройствами – концентратор L1 и front-end платами.

Передача данных в память сервера обработки данных (ОЗУ) происходит со скоростью до 16 ГБ/с, что соответствует максимальной пропускной способности интерфейса PCIe 3.0 x16. С учетом приведенных выше расчетов пропускной способности, для обработки данных одного детектора будет достаточно двух концентраторов L2 при условии достаточного количества портов для подключения концентраторов L1.

Взаимодействие между концентратором L2 и сервером обработки данных осуществляется через API (Application programming interface). API представляет собой набор функций, описанных на языке C. Эти функции, предоставляют пользовательский интерфейс для взаимодействия с L2 концентратором через драйвер XDMA.

Полученные результаты

Разработанное ПО для концентратора L2 представляет собой микрокод, реализованный на языке описания аппаратуры System Verilog. Часть модулей представляет собой стандартные IP ядра, часть оригинальная разработка.

Занимаемое дизайном количество ресурсов на текущей аппаратной платформе представлено в таблице 1.

Таблица 1. Занимаемые ресурсы аппаратной платформы

Ресурс	Занято/доступно	Занято, %
LUT	55510/522720	10.62
LUTRAM	3254/161280	2.02
FF	61624/1045440	5.89
BRAM	324.5/984	32.98
IO	6/512	1.17
GT	18/48	37.50
BUFG	31/940	3.30
PCIE	1/5	20.00

Для проверки работоспособности разработанного дизайна был проведен эксперимент по сопряжению концентратора L2, концентратора L1 и сервера сбора и обработки данных. Схема и фото эксперимента представлены на рисунке 7.

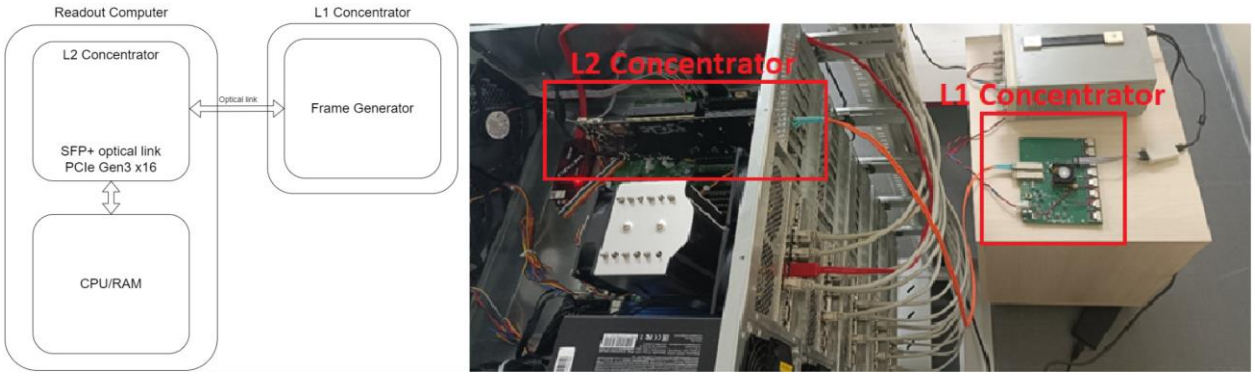


Рис. 7. Схема (слева) и фото (справа)
эксперимента по сопряжению концентратора L2 с конечным оборудованием

Проведенный эксперимент демонстрирует работоспособность разработанного программного обеспечения и полный путь прохождения пакета от front-end эмулятора до сервера сбора данных.

Заключение

В статье представлена разработанная архитектура и прототип программного обеспечения L2 концентратора для детектора SPD ускорителя NICA.

С помощью разработанного прототипа проведены проверки пропускной способности используемых интерфейсов аппаратной платформы. Была проведена проверка сопряжения с концентратором L1. В результате проверки, сгенерированные на концентраторе L1 тестовые данные по оптическому кабелю переданы на концентратор L2. После проверки на корректность данных и добавления сервисной информации пакет был передан на сервер обработки данных. Таким образом, проверен полный путь прохождения данных эксперимента.

Разработанная архитектура и программное обеспечение будут доработаны и интегрированы в аппаратуру детектора SPD ускорительной установки NICA.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2025-0023)

Список литературы

1. Abazov V et al. [SPD Collaboration] Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA. – 2024. – 4. – arXiv:2404.08317. – 282 с.

2. Huang X., Guo Z., Song M., Guo Y. A Reconfigurable Accelerator for Software Data Plane Based on FPGA SmartNIC // Electronics. – 2021. – Vol. 10, no. 16. P. 1-26.

3. Pan Y., Guo Z. Design of a Fast and Scalable FPGA-Based Bitmap for RDMA Networks // Electronics. – 2024. – Vol. 13, no. 24. P. 1-22.

4. Anderson J., Borga A., Boterenbrood H., et al. A new approach to front-end electronics interfacing in the ATLAS experiment // Journal of Instrumentation. – 2016. – Vol 11. P. 1-9.

5. Anderson J., Borga A., Boterenbrood H., et al. FELIX: a High-Throughput Network Approach for Interfacing to Front End Electronics for ATLAS Upgrades. – [Электронный ресурс]. – URL: cds.cern.ch/record/2016626/files/pdf.pdf (дата обращения: 01.04.2025).

6. ZYNQ UltraScale+ FPGA Development Board Z19-P User Manual // Alinx Electronic Limited. – 2022. – [Электронный ресурс] – URL: alinx.com/public/upload/file/Z19-P_User_Manual.pdf (дата обращения: 01.04.2025)

7. FMC to 4x SFP Module FH1223 User Manual. // Alinx Electronic Limited. – 2022. – [Электронный ресурс] – URL: en.alinx.com/Product/FMC-Cards/Communication/FH1223.html (дата обращения: 01.04.2025)

8. 10G/25G High Speed Ethernet Subsystem v4.1 [Электронный ресурс] – URL: docs.amd.com/viewer/book-attachment/~wx6OG2uaH~yEHyW1Ogzew/2w60s_1zc12M3z4g4YYpqg-~wx6OG2uaH~yEHyW1Ogzew (дата обращения: 01.04.2025).

9. Vivado Design Suite User Guide: Synthesis [Электронный ресурс]. – URL: xilinx.com/support/documents/sw_manuals/xilinx2022_2/ug901-vivado-synthesis.pdf (дата обращения: 01.04.2025).

10. DMA/Bridge Subsystem for PCI Express Product Guide [Электронный ресурс]. – URL: docs.amd.com/viewer/book-attachment/Amxex287WoAaBahiV1hh6w/8tW~N1B_U0~jtyJNZb8T0Q-Amxex287WoAaBahiV1hh6w (дата обращения: 01.04.2025).

DEVELOPMENT OF A DYNAMIC USER INTERFACE FOR AN ELECTRONIC DEVICE DESCRIPTIONS INTERPRETER FOR INTELLIGENT SENSORS

Pushkarskiy R.V.[1,2], Belski V.A. [1,2]
[1]Tomsk Polytechnic University,
30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia, group: A2-43, A3-38,
e-mail: rvp6@tpu.ru, vab59@tpu.ru
[2]ASPECT LLC,
37 Saltykova-Shchedrin str., office 18, Tomsk, 634021, Russia, software developer

Abstract

To solve the problem of supporting intelligent sensors manufactured in the Russian Federation by foreign software, ASPECT LLC has developed the Colibri Field Data Bus Server. This software allows to work with HART- and Colibri-based devices with support of their electronic descriptions (CDD/EDD). The software facilitates dynamic GUI based on CDD/EDD, offering advanced control and diagnostic capabilities for field equipment.

Keywords: HART, Colibri protocol, CDD/EDD, Qt Framework, dynamic GUI, industrial automation.

Introduction

The Colibri Field Data Bus Server (Colibri software) provides a unified interface for interaction with intelligent field devices, including both domestic (Colibri or HART protocol) and international (HART protocol) equipment [1, 2]. The software has undergone compatibility testing with most popular industrial software and hardware such as Kaspersky Industrial Cybersecurity, protected virtualization environment zVirt, backup software Cyberbackup, R7 Office and R7 Graphics, ABAK PLC, Regul PLC and others [3].

The development of Colibri software graphical user interface (GUI) posed two critical challenges:

- Developing a universal dynamic interface adaptable to diverse industrial devices.
- Developing a scalable enterprise structure visualization capable of managing thousands of field devices.

Dynamic GUI creation

Colibri software utilizes colibri device descriptions (CDDs), which are unique to each device model and define device-specific parameters and menu structures [2]. To provide universal device configuration, a dynamic GUI creation engine was developed, that interprets CDDs at real time, so UI is automatically generated at that exact moment. As shown in Figure 1, this engine parses CDD elements and maps them to interactive components:

- Variables → Input fields
- Methods → Command-invoking buttons
- Built-in functions → Context-aware dialog windows

This approach eliminates the need for static interface designs, ensuring compatibility with any CDD-compliant device. Engine also provides a CDD developer and Colibri software administrator extended interface customization capabilities. Key configurable parameters include:

- Access control: Variables can be set as read-only or writable based on user roles
- Validation rules: Value ranges (min/max), data types, and input masks
- Contextual guidance: Tooltips, pop-up explanations (QToolTip), and hierarchical help menus
- Function metadata: Descriptions for built-in methods visible during runtime execution

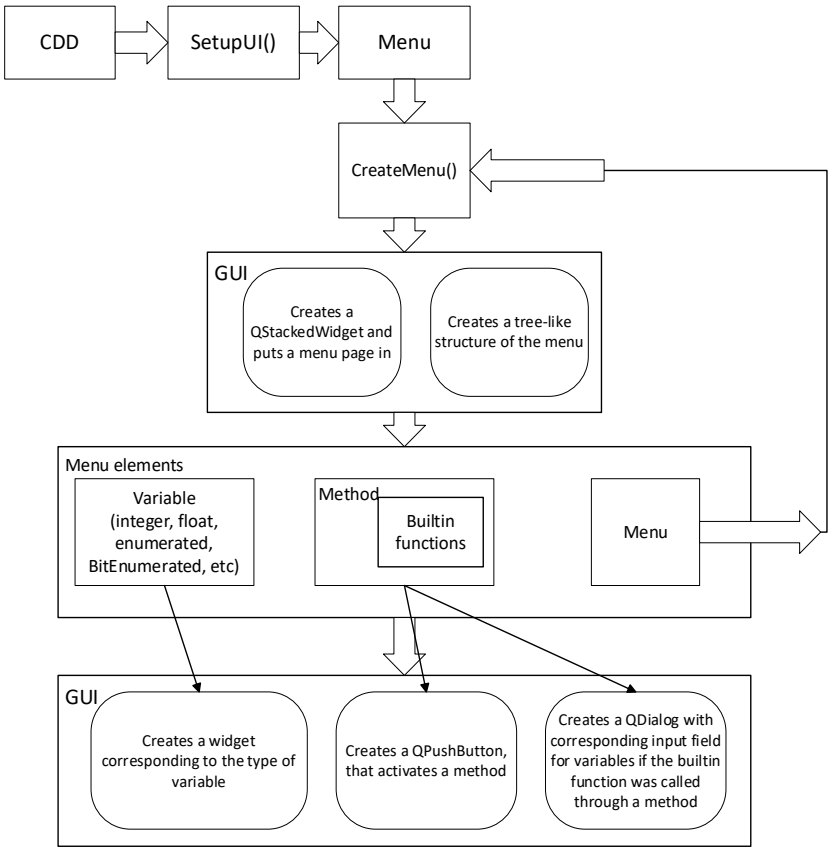


Fig. 1. A diagram of GUI creation in Colibri Software

Enterprise Structure Customization

To manage large-scale facility, the Colibri software integrates a hierarchical device tree (Figure 2) using Qt's QTreeWidget and JSON-based configurations. Key features include:

- Unlimited nested folder structures (e.g., "ABAK PLC," "New Devices" and others in the Figure 2)
- Drag-and-drop device organization
- User-defined grouping/sorting rules
- Multi-profile support for customized layouts

Current efforts focus on optimizing performance for facilities with 10,000+ devices, including load balancing and asynchronous data handling.

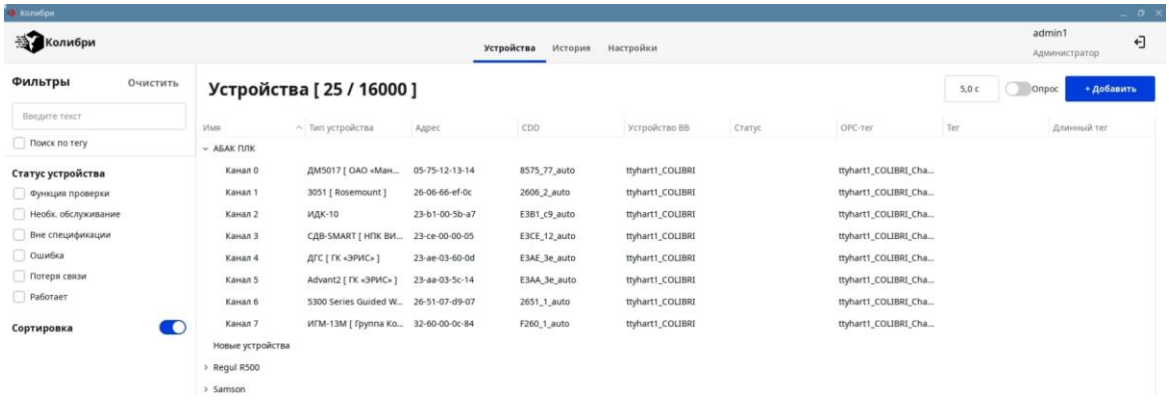


Fig. 2. Enterprise structure

Scalability Validation via Virtual Unit Software

A HART/Colibri Virtual Emulator (Figure 3) was developed to stress-test the device tree of Colibri software under heavy loads. The emulator:

- Simulates configurable response delays (0-5000 ms)
- Generates up to 64 devices per emulated I/O module
- Operates as a distributed server cluster with HART-IP support
- Leverages multi-core CPU processing for parallel task execution, which allowed to use a single OS machine for testing

In a 72-hour stress test, the Colibri software successfully managed 8,192 concurrent devices without performance degradation. Planned upgrades aim to validate scalability for 16,000+ devices.

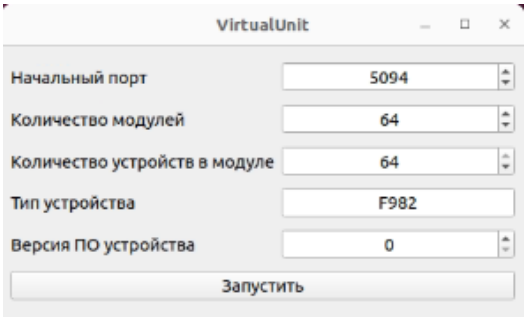


Fig 3. Virtual Unit UI

Conclusion

Colibri software is a field device monitoring and diagnostics system, that was developed by ASPECT LLC. In the scope of this research, as a part of Colibri software development, three key aspects were developed:

1. A dynamic GUI engine for CDD interpretation was created, enabling automatic interface adaptation for any type of field device.
2. A customizable facility structure visualization system, allowing for convenient visualization, grouping and sorting of field device assets.
3. A virtual emulation framework for hardware-free load testing, which allows to conduct stress tests without need to connect large amounts of field devices.

References

1. Продукты и решения // ООО "Аспект": Разработка цифровых измерительных систем – URL: https://digitalmetrolog.com/ru/products (accessed: 20.02.2025).

2. ОТЗ-06.01.15.2024 Полевая шина передачи данных Колибри // ИНТИ. – URL: inti.expert/docs/industrial%20automation/otz-06-01-15-2024/ (accessed: 20.02.2025)

3. Продукты и решения // ООО "Аспект": Разработка цифровых измерительных систем – URL: digitalmetrolog.com/documents (accessed: 20.02.2025)

4. Будников А.И. Сравнительный анализ производительности реализаций инструментария Qt для языков C++ и Python // Стратегия устойчивого развития регионов России. – 2014. – № 21. – URL: cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-proizvoditelnosti-realizatsiy-instrumentariya-qt-dlya-yazykov-c-i-python (accessed: 10.03.2025).

5. Qt Documentation | Home // Qt Documentation. – URL: doc.qt.io (accessed: 10.03.2024).

6. Будников А.И. Сравнительный анализ производительности реализаций инструментария Qt для языков C++ и Python // Стратегия устойчивого развития регионов России. – 2014. – № 21. – URL: cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-proizvoditelnosti-realizatsiy-instrumentariya-qt-dlya-yazykov-c-i-python (accessed: 10.03.2025).

7. FCG_TS61804-4 Edition 2.1 EDD Interpretation // FieldComm Group Library. (n.d.). library.fieldcommgroup.org/61804/TS61804-4/2.1/#page=1 (accessed: 20.02.2025)

Секция 2. Игровой дизайн и виртуальная реальность

РАЗРАБОТКА ИГРОВОГО ДИЗАЙНА ОБУЧАЮЩЕЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ

Хомченков Л.Г.[1], Искаков В.М.[1], Кузенный Р.Е.[1]
Научный руководитель: Перемитина Т.О.[2]
[1] *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, группа 422-1, e-mail: roma.kuzyony@yandex.ru*
[2] *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, доцент, e-mail: tatiana.o.peremitina@tusur.ru*

Аннотация

В статье рассматривается разработка игрового дизайна обучающей компьютерной игры, направленной на обучение программированию. Проект включает геймификацию и интерактивные задания для эффективного усвоения навыков программирования в увлекательной форме.

Ключевые слова: игровой дизайн, обучение программированию, геймификация, интерактивные задания.

Введение

С учетом стремительного роста интереса к обучению программированию и использованию интерактивных технологий, разработка игр, которые обучают и развлекают одновременно, становится особенно актуальной. В 2024 году рынок образовательных игр значительно увеличился, и ожидается, что этот тренд продолжится, так как все больше людей обращаются к цифровым решениям для получения знаний и навыков [1]. На основе долгосрочного прогнозирования, интерес к интерактивным и образовательным проектам, связанных с программированием, продолжает расти. Обучающая игра по программированию будет ориентирована на развитие навыков кодирования через увлекательные игровые механики. Ключевую роль в игре будет играть процесс решения логических задач и написание кода для достижения целей. Игроки будут сталкиваться с различными сценариями, требующими применения языка виртуального программирования и алгоритмических подходов. Таким образом, игра не только обучит основам программирования, но и поможет развить критическое мышление и навыки решения проблем в увлекательной игровой форме.

Цель работы: разработка игрового дизайна для обучающей игры по программированию.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: анализ существующих образовательных игр, разработать концепцию и сюжет игры, создать дизайн-документ.

Основная часть

В начале работы были проанализированы существующие аналоги. К аналогам можно отнести «Craftomation 101: Programming & Craft» и «Codecombat», которые напрямую обучают игрока основам программирования. Во время анализа были выявлены основные недостатки данных проектов. Основными недостатками «Craftomation 101: Programming & Craft» являются отсутствие возможности получить глубокий теоретический материал и проблема с неравномерной сложностью заданий. Основными недостатками «Codecombat» являются отсутствие разнообразных задач и трудности с вхождением для новичка. По результатам обзора аналогов были выведены основные отличительные черты данного проекта.

Отличительными особенностями игры будут являться:

– Нелинейность прохождения.
– Сеттинг озеленения необитаемой планеты.
– Low-poly 3D графика.
– Наличие мануала с теоретическим материалом.
– Легкость вхождения в игры для новичков и постепенное увеличение сложности.
– Разнообразные задания.

Данный проект представляет собой игру в жанре симулятора строительства базы, которая сочетает в себе элементы автоматизации и программирования. В играх этого жанра игроки занимаются созданием и управлением базами, строя различные сооружения, собирая ресурсы и развивая инфраструктуру. Основная цель заключается в том, чтобы создать эффективную и функциональную базу, способную справляться с разнообразными задачами.

В игре акцент сделан на автоматизацию процессов с помощью программирования. Игроки получают возможность управлять роботами, которые могут выполнять различные действия, такие как сбор ресурсов, строительство, транспортировка и многое другое. Для этого игрокам необходимо написать программы, которые определяют поведение роботов. Это делает игру не только развлекательной, но и обучающей, так как игроки могут изучать основы программирования и логического мышления в процессе игры.

Прогрессия в игре будет происходить за счет выполнения заданий, которые игроки могут получать в ходе игры. За успешное выполнение этих заданий игроки будут награждаться различными призами, что позволит им открывать новые постройки и ресурсы. Кроме того, выполнение заданий будет расширять возможности в плане программирования, добавляя новые блоки и инструменты для улучшения автоматизации. Это создаст дополнительный стимул для игроков, побуждая их исследовать новые механики и оптимизировать свои базы.

Жанр симуляторов строительства базы существует уже достаточно долго и продолжает оставаться популярным среди игроков. Он предлагает возможность проявить креативность, стратегически планировать действия и решать задачи, что делает его привлекательным для широкой аудитории. В таких играх часто присутствует элемент управления ресурсами, где игроки должны эффективно распределять свои ресурсы для достижения поставленных целей. В отличие от традиционных симуляторов, где игроки могут сталкиваться с ограничениями в управлении, в данной игре предлагает более глубокий уровень взаимодействия благодаря программированию. Игроки могут настраивать поведение своих роботов, создавая уникальные алгоритмы, что добавляет элемент творчества и позволяет каждому игроку находить собственные решения для достижения успеха. Интерес игрока будет удерживаться за счет множества факторов. Во-первых, игра предлагает постоянное развитие и прогрессию: каждый новый уровень или задача открывает новые возможности и механики, что создает ощущение достижения и мотивацию продолжать игру. Во-вторых, элементы конкуренции и сотрудничества с другими игроками могут добавить дополнительный стимул. Игроки могут делиться своими алгоритмами и стратегиями, способствуя созданию сообщества и обмену опытом.

Кроме того, процесс развития базы и автоматизации также напоминает программирование и разработку в целом: игрок начинает с простых задач и постепенно усложняет свои алгоритмы, создавая более сложные и эффективные системы. Это позволяет игрокам не только видеть результаты своих усилий, но и испытывать удовлетворение от решения сложных задач. Как и в программировании, где каждая новая строка кода может изменить поведение программы, в игре каждая новая команда или блок кода могут значительно повлиять на эффективность работы базы.

Таким образом, игра сочетает в себе элементы стратегии, творчества и обучения, что делает её интересной как для опытных игроков, так и для новичков, желающих познакомиться с основами программирования и автоматизации. Введение системы выполнения заданий и наград добавляет дополнительную мотивацию для игроков, что делает игровой процесс более увлекательным и разнообразным.

Геймификация, или внедрение игровых элементов в процесс обучения, имеет множество преимуществ, которые способствуют повышению интереса и вовлеченности учащихся.

Из перечисленных аспектов игры выделим следующие преимущества игровой формы обучения:

1. Повышение мотивации: геймификация делает обучение более увлекательным, что повышает мотивацию учащихся. Игровые элементы, такие как баллы, уровни и достижения, создают ощущение прогресса и успеха, что стимулирует игроков продолжать обучение.

2. Улучшение вовлеченности: использование игровых механик позволяет учащимся активнее участвовать в процессе обучения. Это снижает уровень стресса перед неудачами, так как игроки воспринимают задания как часть игры, а не как обязательные учебные задачи.

3. Развитие критического мышления и навыков решения проблем: геймификация включает в себя решение головоломок и задач, что помогает развивать аналитические способности и критическое мышление. Игроки учатся применять свои знания на практике, сталкиваясь с реальными проблемами в игровом контексте.

4. Создание эмоциональной связи: игровые элементы помогают создать эмоциональную связь между учащимися и учебным материалом. Учащиеся могут идентифицировать себя с персонажами или сюжетами игры, что делает процесс обучения более личным и значимым.

5. Быстрая обратная связь: внедрение игровых элементов способствует быстрому получению обратной связи о результатах обучения. Учащиеся могут сразу видеть свои достижения и области, требующие улучшения, что помогает им корректировать свои действия в процессе обучения.

6. Стимулирование сотрудничества: геймификация часто включает командные задания и соревнования, что способствует развитию навыков работы в команде и коммуникации.

В целом, геймификация представляет собой мощный инструмент для повышения эффективности образовательного процесса, делая его более интерактивным и интересным для учащихся всех возрастов. Для разработки обучающей видеоигры по программированию мы выбрали игровой движок. Это решение основано на нескольких ключевых факторах:

1. Широкое сообщество и ресурсы: игровой движок имеет одно из крупнейших сообществ, что облегчает поиск помощи и обучающих материалов, включая курсы и форумы.

2. Удобство использования: интуитивно понятный интерфейс и мощные инструменты позволяют быстро создавать прототипы и управлять игровыми объектами, что особенно полезно для студентов с разным уровнем подготовки.

3. Поддержка C#: игровой движок использует язык C#, что позволяет команде применять уже имеющиеся знания и облегчает изучение новых концепций.

4. Кроссплатформенность: игровой движок поддерживает множество платформ, что дает возможность расширить аудиторию игры в будущем.

Сравнение с другими игровыми движками:

● Аналог игрового движка №1: Бесплатный и открытый, но имеет меньшее сообщество и обучающих материалов, что может затруднить решение сложных задач.

● Аналог игрового движка №2: Мощный, но требует высокой производительности и глубоких знаний программирования, что может быть сложным для новичков.

Таким образом, выбор игрового движка обусловлен его сообществом, доступностью ресурсов, удобством и поддержкой C#, что делает его оптимальным для данного проекта.

Есть много различных 3D редакторов, вот наиболее популярные из них:

● 3D редактор № 1: позволяет создавать модели и имеет продвинутый функционал в области анимации и риггинга, доступ по подписке (есть бесплатная версия для студентов).

● 3D редактор № 2: также 3D редактор, однако он не позволяет создавать модели в классическом смысле, основное направление его использование это скульптинг, что идеально подходит для моделирования людей, животных и прочих сложных моделей, где классическое моделирование не так эффективно, продается по лицензии.

● 3D редактор № 3: редактор с наиболее интуитивно понятным интерфейсом, имеет обширные возможности для моделирования и анимации, часто используют для архитектурной визуализации из-за своего богатого для этого функционала, доступ по подписке (есть бесплатная версия для студентов).

● 3D редактор № 4: как и 3D редактор № 1 является полнофункциональный инструмент (поддерживает классическое моделирование, скульптинг, набор инструментов для текстурирования и анимирования объектов), распространяется на бесплатной основе.

После анализа инструментов, для работы был выбран 3D редактор № 4, в первую очередь из-за бесплатной модели распространения. Также обширный функционал позволяет в одной программе смоделировать, анимировать и раскрасить 3D модель. Важным аргументом также стало наличие большого комьюнити разработчиков, использующих 3D редактор № 4, благодаря чему в интернете можно найти множество обучающих материалов.

Таким образом, для создания обучающей игры по программированию будут использованы:

● Git – наиболее популярная система управления версиями, позволяющая сохранять изменения файлов программного продукта в виде различных версий разработки. Это дает возможность в любой момент вернуться к определённой версии. В качестве альтернативы можно рассмотреть систему управления версиями, интегрированную непосредственно в избранный игровой движок, однако он уступает Git по производительности и удобству, а также накладывает ограничения на количество разработчиков, работающих одновременно [2].

● Избранный игровой движок – межплатформенная среда для разработки компьютерных игр, которая оказалась наиболее подходящей благодаря поддержке языка C# и наличию визуальной среды разработки. У команды есть опыт работы с этим движком, и на избранном игровом движке создано множество игр, приложений и визуализаций математических моделей. Данный движок используется как крупными разработчиками, так и независимыми студиями, что обеспечивает наличие обширной документации и обучающих ресурсов [3].

● Существует бесплатный облачный сервис для управления проектами, предоставляющий удобные визуальные инструменты и организующий работу команды по методологии «Канбан». В данный облачный сервис была настроена рабочая среда и добавлены задачи с установленными сроками [4].

● Кроссплатформенная интегрированная среда разработки для платформы .NET. была выбран благодаря встроенной поддержке избранном игровом движке, что позволяет более эффективно писать код. Удобные инструменты отладки значительно ускоряют процесс поиска и исправления ошибок, а встроенная документация избранного игрового движка в IDE помогает быстро решать возникающие проблемы [5].

● Был так же выбран многофункциональный графический редактор, в котором разрабатываются логотип будущей игры и цветовые палитры для окрашивания моделей [6].

● 3D редактор № 4 – профессиональное свободное программное обеспечение для создания трёхмерной графики, включающее инструменты для моделирования, скульптинга, анимации, рендеринга и постобработки. Все игровые модели разрабатываются в 3D редакторе № 4 и экспортируются в избранный игровой движок [7].

● Midjourney 5 – нейросеть, использованная для создания референсов, которая позволяет генерировать визуальные концепты и идеи для игровых элементов. Это значительно ускоряет процесс разработки визуального стиля и помогает команде лучше представлять конечный результат [8].

В данной игре, посвященной озеленению планеты, основным цветом был выбран зеленый. Стремление использовать преимущественно слабо насыщенные оттенки обусловленно двумя причинам:

1. Комфорт для игрока: слабо насыщенные цвета не раздражают глаз и создают более приятную атмосферу.

2. Подчеркивание окружающей среды: Игра разворачивается на пустынной, безжизненной планете, которую игрок стремимся наполнить жизнью и озеленить, и выбранная палитра помогает акцентировать внимание на этом контрасте.

Постройки в игре выполнены в сочетании индустриального и футуристического стилей и раскрашены в соответствии с выбранной палитрой. Это создает гармоничное сочетание с окружающей средой и подчеркивает тему озеленения. Однако некоторые объекты были выделены яркими цветами, чтобы акцентировать на них внимание и сделать их заметными на фоне остальных построек и ландшафта.

Для создания уникальных 3D моделей использовали приложение для 3D моделирования Blender. В процессе работы были разработаны как статические модели, так и анимации, которые добавляют динамики в игровую среду. Кроме того, к некоторым 3D моделям были добавлены специальные эффекты, что усиливает визуальное восприятие. Ниже для демонстрации приведены несколько 3D моделей: склад (рис. 1, а), разделитель газов (рис. 1, б), насосная станция (рис. 1, в).

а *б* *в*

Рис. 1. Созданные 3D модели
а − склад, б – разделитель газов, в − насосная станция

Заключение

В рамках данной работы была достигнута цель, которая заключалась в разработке игрового дизайна для обучающей игры по программированию. Сравнительный анализ популярных образовательных игр по программированию, таких как «Craftomation 101: Programming & Craft» и «Codecombat» позволил определить области для улучшения и создания более эффективной игры.

На основе результатов анализа была разработана концепция и сюжет новой игры, которые включают в себя увлекательные элементы геймификации и интерактивные задания для обучения программированию.

Создан дизайн-документ, который описывает все аспекты игры, включая игровую механику, интерфейс и технические требования.

Проведение подобных научно-исследовательских работ перед началом разработки программного продукта позволяет учесть плюсы и минусы аналогов и предоставить пользователю программный продукт, который оправдывает ожидания пользователя.

Список использованных источников

1. Рынок образовательно–развлекательных онлайн-игр [Электронный ресурс]. – URL: researchnester.com/ru/reports/online-gaming-edutainment-market/4306 (дата обращения: 01.04.2025).

2. Git. Коротко о главном [Электронный ресурс] – URL: habr.com/ru/articles/588801/ (дата обращения: 01.04.2025).

3. Unity: что это за движок, для чего нужен и почему так популярен [Электронный ресурс]. – URL: skillbox.ru/media/gamedev/unity-chto-eto-za-dvizhok-dlya-chego-nuzhen-i-pochemu-tak-populyaren/ (дата обращения: 01.04.2025).

4. Trello – начало работы и скрытые фишки [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/511446/ (дата обращения: 01.04.2025).

5. JetBrains Rider – теперь для Unreal Engine [Электронный доступ]. – URL: habr.com/ru/companies/JetBrains/articles/500046/ (дата обращения: 01.04.2025).

6. История визуального редактирования: как Photoshop изменил восприятие изображений [Электронный доступ]. –URL: habr.com/ru/companies/first/articles/794696/ (дата обращения: 01.04.2025).

7. Blender [Электронный доступ].–URL: ru.wikipedia.org/wiki/Blender (дата обращения: 01.04.2025).

8. Midjourney [Электронный доступ]. – URL: clck.ru/3LRArB (дата обращения: 01.04.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ VR-ГАРНИТУР

Куртуков Д.А. [1], *Лоскутов В.В.* [2]
[1] *НИ ТПУ, г. Томск (студент гр. 8ИМ31 ОИТ, ИШИТР), e-mail: dak87@tpu.ru*
[2] *НИ ТПУ, г. Томск (старший преподаватель ОИТ, ИШИТР), e-mail: rewenger@tpu.ru*

Аннотация

В докладе рассматривается способ удаленного администрирования автономных гарнитур виртуальной реальности. Был проведен анализ существующих решений, поддерживающих устройства нескольких производителей. Проведены анализы подходящих сетевых протоколов для передачи данных и возможности прав Device Owner для контроля системы Android. Анализы сопровождались практическим тестированием на реальных устройствах.

Ключевые слова: виртуальная реальность (VR).

Введение

С каждым годом технологии виртуальной реальности становятся всё более распространёнными и востребованными в образовании. Актуальность их применения в этой сфере обусловлена множеством факторов. Прежде всего, виртуальная реальность создаёт уникальную возможность для создания интерактивных образовательных сред с глубоким погружением, которые могут значительно повысить интерес студентов к обучению [1]. Виртуальные учебные классы позволяют моделировать различные сценарии и ситуации, которые могут быть либо труднодоступными, либо опасными в реальной жизни. Например, обучение медицинским профессиям или техническим специальностям может быть существенно облегчено за счет симуляций, предлагаемых VR.

Рост использования виртуальной реальности в образовании также связывается с глобальными трендами цифровизации и дистанционного обучения. В условиях пандемии COVID-19 многие образовательные учреждения столкнулись с необходимостью перейти на удалённые форматы обучения, что привело к ускоренному внедрению технологий VR и смешанного обучения [2]. Это расширило доступ к качественным образовательным ресурсам и дало возможность студентам получать знания из любой точки мира.

Однако растущее количество пользователей виртуальных технологий ставит перед образовательными учреждениями новые вызовы [3]. Необходимость эффективного управления и контроля над VR-технологиями в учебном процессе становится критически важной. Системы автоматизированного контроля играют ключевую роль в обеспечении как безопасности, так и эффективности образовательного процесса. Без должного управления возможности VR могут быть использованы не по назначению или неэффективно, что может негативно повлиять на обучение и участие студентов [4].

Эффективное управление включает в себя мониторинг взаимодействия студентов с виртуальными ресурсами, оценку их прогресса и предоставление обратной связи. Это также связано с обеспечением соблюдения норм безопасности, защиты данных и поддержания академической честности. Система автоматизированного контроля может помочь преподавателям отслеживать достижения студентов в реальном времени, выявлять пробелы в знаниях и адаптировать учебные материалы под потребности конкретного класса или отдельного студента.

Обзор существующих решений

В таблице 1-2 приведено описание двух систем – ManageXR и ArborXR, которые работают на устройствах от разных производителей [5-6].

Таблица 1. Анализ разделов ManageXR

Раздел	Функция	Возможность реализации
Dashboard	Вывод информации по аккаунту	+
Analytics	Отслеживание времени использования гарнитур	+
	Отслеживание времени использования приложений	Можно лучше (получение информации по использованию приложений на конкретной гарнитуре)
	Отслеживание времени использования устрйств по конфигурации (парку)	+
	Создание собственных диаграмм	Web
	Выгрузка данных в csv формате	Web
Devices	Вывод информации по гарнитурам:	+
	Управление установленными приложениями	Нуждается в дополнительном исследовании
	Просмотр файловой системы	+
	Просмотр логов	+
	Запуск VR контента, загруженного с помощью ManageXR	Возможно реализовать запуск любого контента
	Перезагрузка гарнитуры	+
	Синхронизация данных	+
	On/Off режима Kiosk	+
	On/Off режима Tutorial	Легкий Kiosk
	Сброс до заводских настроек	+
	Удалить гарнитуру из системы	+
Configuration	Управление VR контентом, который доступен гарнитурам с данной конфигурацией	+
	Настройка параметров пользовательского окружения	Собственный пользовательский интерфейс - нуждается в дополнительном исследовании
	Управление режимом отладки по USB (режим разработчика)	-
	Управление возможностью обмена данных по USB	-
	Нстройка как и когда пользователь будет получать уведомление о предоставлении разрешений приложению	-
	Настройка приложения для обучающего режима	Легкий Kiosk
	Oculus: on/off режим сна	Возможно даже для Pico
	Pico: смена языка системы	Не работает +
	Pico: off возможность сброса настроек	+
	Pico: настройка режима производительности	Не работает -
	Pico: отслеживание перемещений	-
	Pico: управление временем перехода в режим ожидания/выключения экрана	+
	Pico: быстрая настройка границ	не работает -
	Pico: режим защиты глаз	не работает -
	Pico: режим защиты от рассеивания	-
	Задержка/отмена обновлений	+

Таблица 2. Дополнительные функции ArborXR

Раздел	Доп функционал ArborXR	Возможность реализации
Dashboard	Вывод данных по батареи: температура + состояние	+
Configuration	Возможность задать режим авторизации в системе при включении гарнитуры	+
	Возможность ввода заданного пин кода для выхода из Kiosk	+
	Изменение времени нажатия кнопки "Домой" на контроллере для его отключения	+
	Pico: Автоматическая настройка IPD (on/off)	-
Analytics	Есть статистика по отдельной гарнитуре	+

Выбор протокола передачи данных

Для контроля над VR-гарнитурами, работающих на мобильной ОС важно выбрать подходящий протокол обмена данными, который позволить отправлять запросы в обе стороны. WebSocket [7] легко интегрируется в Android с помощью библиотеки OkHttp. Соединение устанавливается один раз и поддерживается на протяжении всей сессии. Сообщения отправляются и принимаются в реальном времени, что делает этот протокол удобным для чатоподобных или событийных интерфейсов. Однако WebSocket не обеспечивает строгой структуры данных, требует ручной сериализации и десериализации, а также не всегда стабильно восстанавливает соединение при сетевых сбоях.

MQTT [8] используется через библиотеку Eclipse Paho. Клиент подключается к брокеру, подписывается на нужные топики и получает сообщения. Этот протокол отличается высокой устойчивостью и минимальным потреблением ресурсов, что особенно ценно для фоновых задач и нестабильных сетей. Тем не менее, MQTT ориентирован на простые сообщения и не предоставляет широких возможностей для формализации структур данных.

gRPC [9] – это современный высокопроизводительный RPC-протокол, использующий Protobuf для описания контрактов между клиентом и сервером. В Android gRPC интегрируется через автоматическую генерацию клиентского кода на Kotlin на основе .proto-файлов. Он поддерживает как обычные вызовы, так и потоковую передачу данных в обе стороны. Отлично сочетается с Kotlin Coroutines. gRPC обеспечивает строгость, контроль типов, масштабируемость, безопасность (встроенная поддержка TLS) и полную совместимость с микросервисной архитектурой. При росте требований к производительности и архитектурной строгости он становится оптимальным выбором.

AMQP [10], чаще всего представленный через RabbitMQ, используется в мобильной ОС через промежуточные REST или gRPC-сервисы, так как прямое подключение к AMQP с мобильного клиента не является рекомендуемой практикой. Такой подход добавляет надёжность и очередь доставки, но увеличивает архитектурную сложность и задержки.

XMPP [11] применяется только в специфических случаях, например, если в инфраструктуре уже присутствует XMPP-сервер. В мобильной ОС реализуется через библиотеки вроде Smack, позволяющие устанавливать соединение и обмениваться сообщениями. Протокол поддерживает множество функций – присутствие, статусы, подписки – но имеет высокий порог входа и избыточен для большинства мобильных задач.

По совокупности характеристик, gRPC демонстрирует наилучший баланс между строгостью, производительностью и масштабируемостью. Он особенно эффективен при разработке мобильных клиентов для микросервисной архитектуры, обеспечивая безопасность, четкость интерфейсов и удобство поддержки. WebSocket и MQTT остаются хорошими альтернативами для более простых и лёгких решений, но в контексте полноценных корпоративных систем именно gRPC обеспечивает уровень качества и контроля.

Права Device Owner в Android

Для создания полноценной системы администрирования VR-гарнитур, приложение должно быть назначено как Device Owner [12]. Это специальный режим, при котором приложение получает расширенные права на управление устройством. В отличие от обычных приложений или даже старого режима Device Admin, Device Owner предоставляет полный контроль над системой. Для его использования приложение должно иметь компонент класса DeviceAdminReceiver (листинг 1), быть объявлен в манифесте (листинг 2) и содержать набор политик (листинг 3).

Листинг 1. Компонент MyDeviceAdminReceiver

```
class MyDeviceAdminReceiver : DeviceAdminReceiver() {
    override fun onEnabled(context: Context, intent: Intent) {
        super.onEnabled(context, intent)
        Log.d("log", "Device Admin enabled")
    }
    override fun onDisabled(context: Context, intent: Intent) {
        super.onDisabled(context, intent)
        Log.d("log", "Device Admin disabled")
    }
}
```

Листинг 2. Регистрация в манифесте приложения

```
<receiver
    android:name=".MyDeviceAdminReceiver"
    android:permission="android.permission.BIND_DEVICE_ADMIN">
    <meta-data
        android:name="android.app.device_admin"
        android:resource="@xml/device_admin_policies" />
    <intent-filter>
        <action android:name="android.app.action.DEVICE_ADMIN_ENABLED" />
    </intent-filter>
</receiver>
```

Листинг 3. Набор политик

```
<device-admin xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android">
    <uses-policies>
        <force-lock />
        <wipe-data />
        <disable-camera />
        <limit-password />
        <set-global-proxy />
    </uses-policies>
</device-admin>
```

Присвоить права Device Owner можно ADB-командой с указанием пакета приложения и компонента DeviceAdminReceiver (adb shell dpm set-device-owner com.example.app/.DeviceAdminReceiver). Предварительно необходимо выйти на устройстве из всех авторизованных аккаунтов. В сравнении с традиционным подходом Device Admin, этот режим предлагает более богатый и безопасный функционал, требуемый для корпоративного использования Android-устройств. В режиме Device Owner доступны критически важные функции управления, которые недоступны обычным приложениям. Примеры продемонстрированы на листингах 4-8.

Лиситинг 4. Тихая установка APK

```
val dpm = getSystemService(DevicePolicyManager::class.java)
val admin = ComponentName(this, MyDeviceAdminReceiver::class.java)
val apkFile = File("/sdcard/Download/app.apk")

dpm.installExistingPackage(admin, "com.example.app")
```

Лиситинг 5. Режим Kiosk - блокировка устройства для одного или более приложений

```
val dpm = context.getSystemService(DEVICE_POLICY_SERVICE) as DevicePolicyManager
```

```
val adminName = ComponentName(context, DeviceAdminReceiver::class.java)
val APP_PACKAGES = kioskApps

val activityManager = context.getSystemService(Context.ACTIVITY_SERVICE) as
ActivityManager

dpm.setLockTaskPackages(adminName, APP_PACKAGES)
dpm.setLockTaskFeatures(adminName, DevicePolicyManager.LOCK_TASK_FEATURE_HOME)

val options = ActivityOptions.makeBasic()
options.setLockTaskEnabled(true)
val packageManager = context.packageManager
val launchIntent = packageManager.getLaunchIntentForPackage(startApp)
if (launchIntent != null) {
    context.startActivity(launchIntent, options.toBundle())
}
```

Листинг 6. Запрет установки приложений пользователем

```
val dpm = getSystemService(DevicePolicyManager::class.java)
val admin = ComponentName(this, MyDeviceAdminReceiver::class.java)
dpm.setUserRestriction(admin, UserManager.DISALLOW_INSTALL_UNKNOWN_SOURCES, true)
```

Листинг 7. Удаленный сброс устройства

```
val dpm = getSystemService(DevicePolicyManager::class.java)
dpm.wipeData(DevicePolicyManager.WIPE_EXTERNAL_STORAGE or
DevicePolicyManager.WIPE_RESET_PROTECTION_DATA)
```

Листинг 8. Блокировка системных функций

```
val dpm = getSystemService(DevicePolicyManager::class.java)
val admin = ComponentName(this, MyDeviceAdminReceiver::class.java)
dpm.addUserRestriction(admin, UserManager.DISALLOW_CAMERA)
dpm.addUserRestriction(admin, UserManager.DISALLOW_USB_FILE_TRANSFER)
```

Заключение

В ходе работы была рассмотрена возможность реализации удалённого администрирования автономных гарнитур виртуальной реальности на базе Android. Проведён анализ существующих решений для VR-гарнитур, таких как ManageXR и ArborXR, с выявлением их функциональных преимуществ и ограничений. Были сопоставлены различные сетевые протоколы передачи данных, из которых gRPC был выделен как наиболее надёжный и масштабируемый вариант для построения систем централизованного управления.

Особое внимание было уделено возможностям системы Android при назначении приложения в статус Device Owner. Продемонстрированы основные административные функции, доступные при таком подходе, включая тихую установку приложений, активацию режима киоска, удалённый сброс и блокировку пользовательских функций. Реализация указанных механизмов была проверена в ходе практических экспериментов на реальных VR-устройствах.

Полученные результаты подтверждают, что использование Device Owner в сочетании с современными протоколами связи позволяет реализовать надёжную, гибкую и безопасную систему удалённого администрирования VR-гарнитур. Это решение может быть эффективно использовано в образовательной и корпоративной среде для управления парком автономных устройств, обеспечивая контроль, безопасность и удобство эксплуатации.

Список ресурсы удаленного доступа

1. Высшая школа экономики. The Impact of Digitalization on the Socio-Economic Development of Russia // HSE Publications. – 2021. [Электронный ресурс]. – URL: publications.hse.ru/pubs/share/direct/464964807.pdf (дата обращения: 15.02.2025).

2. Лазутина Т. Влияние пандемии COVID-19 на процессы цифровизации в мире // CyberLeninka. – 2021. [Электронный ресурс]. – URL: cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pandemii-covid-19-na-protsessy-tsifrovizatsii-v-mire (дата обращения: 15.02.2025).

3. Левичев А. Прошлое и будущее VR-индустрии // DTF. – 2021. [Электронный ресурс]. – URL: dtf.ru/gameindustry/206605-proshloe-i-budushee-vr-industrii#parks (дата обращения: 15.02.2025).

4. Справочник по автоматизации. Системы автоматического контроля // Справочник. [Электронный ресурс]. – URL: spravochnick.ru/avtomatizaciya_tehnologicheskih_processov/sistemy_avtomaticheskogo_kon trolya (дата обращения: 15.02.2025).

5. ManageXR. Управление устройствами виртуальной реальности // ManageXR. [Электронный ресурс]. – URL: managexr.com/ (дата обращения: 15.02.2025).

6. ArborXR. Управление виртуальной реальностью для бизнеса // ArborXR. [Электронный ресурс]. – URL: arborxr.com (дата обращения: 15.02.2025).

7. WebSocket. Официальный сайт // WebSocket. [Электронный ресурс]. – URL: websocket.org (дата обращения: 15.02.2025).

8. MQTT. Официальный сайт // MQTT. [Электронный ресурс]. – URL: mqtt.org (дата обращения: 15.02.2025).

9. gRPC. Официальный сайт // gRPC. [Электронный ресурс]. – URL: grpc.io (дата обращения: 15.02.2025).

10. AMQP. Официальный сайт // AMQP. [Электронный ресурс]. – URL: amqp.org (дата обращения: 15.02.2025).

11. XMPP. Официальный сайт // XMPP. [Электронный ресурс]. – URL: xmpp.org (дата обращения: 15.02.2025).

12. Реализация приложения – device owner-а под Android // Habr. [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/263977 (дата обращения: 15.02.2025).

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ 2D РЕНДЕРИНГА ДЛЯ КРОССПЛАТФОРМЕННОГО ИГРОВОГО ДВИЖКА

Лобанов В.В., Коровкин В. А.
НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8К12, студент, vvl45@tpu.ru
НИ ТПУ, ИШИТР, старший преподаватель ОИТ, alcasar@tpu.ru

Аннотация

Данная статья представляет процесс проектирования и реализации подсистемы 2D рендеринга для кроссплатформенного игрового движка с применением библиотеки SDL3 и графическим API OpenGL на языке программирования C++. В работе описывается процесс выбора подходящих технологий для разработки системы, принцип работы конвейера рендеринга, затрагиваются техники для разработки интерактивных графических кроссоперационных приложений.

Ключевые слова: кроссплатформенные приложения, игровой движок, рендеринг, API рендеринга, SDL, OpenGL.

Введение

Игровой движок – комплексное программное обеспечение, которое масштабируемо и может применяться в качестве основы для множества различных игр без значительных модификаций [1]. Игровые движки включают в себя работу с низкоуровневыми концепциями операционной системы, с обработкой графики, звука, пользовательского ввода и в некоторых случаях работу с сетевыми технологиями. Подсистема рендеринга, в свою очередь, является одним из самых вариативных компонентов для реализации, что является привлекательной чертой для проведения исследования на уровне архитектуры этой системы. В данной статье представлена декомпозиция процессов, происходящих при рендеринге, а также реализация подсистемы 2D рендеринга как одного из компонентов кроссплатформенного игрового движка. Большое внимание уделялось совместимости реализации между двумя популярными операционными системами, что было достигнуто за счёт принципов абстракции и выбора кроссплатформенных средств разработки.

Таким образом, целью работы является проектирование и реализация подсистемы 2D рендеринга для кроссплатформенного игрового движка.

Для достижения поставленной цели были выдвинуты следующие задачи:

1. Определение требований для подсистемы рендеринга игрового движка.
2. Проектирование архитектуры подсистемы рендеринга игрового движка.
3. Выбор технологий для реализации требований подсистемы рендеринга игрового движка.
4. Реализация подсистемы рендеринга игрового движка.

Требования к разрабатываемой системе

Подсистема рендеринга – один из самых комплексных в реализации компонентов игрового движка. Перед тем, как приступить к разработке этой подсистемы, необходимо задать требования. В первую очередь были выявлены функциональные требования:

1. Система должна иметь функционал для отображения двумерных графических примитивов без сглаживания:
    a. квадрат.
    b. треугольник.
    c. круг.
    d. капсула.
    e. линия.

2. Система должна поддерживать рендеринг изображений в виде текстур для отображаемых 2D объектов.

3. Система должна позволять менять оттенок текстур для отображаемых 2D объектов.

4. Система должна поддерживать отображение текстур с компонентом прозрачности alpha.

5. Система рендеринга должна поддерживать работу в нескольких окнах.

Также есть конкретизирующие нефункциональные требования:

1. Система рендеринга должна работать в программном потоке, отличного от основного.

2. Система должна поддерживать формат изображений .png для создания текстур.

3. Система рендеринга не должна использовать сторонние библиотеки для непрямого взаимодействия с API рендеринга.

4. Игровой движок должен реализовывать свой полный функционал на 64-разрядной версии операционной системы операционной системы № 1.

5. Игровой движок должен реализовывать свой полный функционал на 64-разрядной версии операционной системы операционной системы № 2.

Дополнительно стоит прокомментировать нефункциональное требование под номером 3. Это требование было выдвинуто с целью ознакомления работы с самим API рендеринга. В случае, если сторонняя библиотека уже будет реализовывать взаимодействие свою реализацию рендеринга, то для создания подсистемы рендеринга нужно будет лишь взаимодействовать API самой библиотеки. При соответствии приведенным выше требованиям подсистема рендеринга включает в себя необходимый функционал, с помощью которого можно будет развивать другие системы игрового движка.

Выбор технологий для реализации

Существование подсистемы рендеринга невозможно без способа отобразить результаты работы системы. В связи с этим в первую очередь необходимо выбрать библиотеку, которая будет покрывать требования, связанные с управлением окнами.

RayLib, Monogame, SFML и другие высокоуровневые фреймворки, которые уже реализуют собственную систему рендеринга не подходят, так как они противоречат нефункциональному требованию №3. Итак, в качестве основных вариантов рассматривались следующие библиотеки:

1. GLFW – библиотека, содержащая в себе функционал для работы с окнами, вводом пользователя. Изначально создавалась для взаимодействия с API рендеринга OpenGL.

2. SDL – библиотека, которая предоставляет более широкий функционал, чем GLFW. В базовую версию библиотеки входят модули для работы с окнами, вводом пользователя, звуком, файловой системой, а также базовый 2D рендерер.

Несмотря на то, что SDL уже имеет свой собственный 2D рендерер, он чаще всего подходит только для простых проектов и его будет крайне тяжело масштабировать. С другой стороны, SDL также предоставляет возможность пользователю создать свой собственный движок рендерера и использовать его для создаваемых окон.

GLFW лучше подойдет для задачи создания окон и манипуляции ими, так как ее функционал сосредоточен лишь на этом. Однако игровой движок включает в себя другие компоненты, которые также должны быть реализованы кроссплатформенно: управление файловой системой, сетевое взаимодействие и многие другие подсистемы. SDL имеет дополнительные библиотеки-модули для покрытия этих потребностей (например, сетевого взаимодействия при помощи SDL_net [2]). Исходя из этого SDL более безопасен при разработке игрового движка, так как все интересующие разработчика части можно реализовать самостоятельно, а для других использовать встроенное решение этой библиотеки.

К тому же при более детальном сравнении SDL и GLFW в области управления окнами было замечено, что в GLFW нет встроенной возможности сохранять контекст движка рендеринга при работе с несколькими окнами [3]. Необходимо копировать существующий

контекст и использовать именно его копию при создании нового окна, это добавляет дополнительные сложности в управление контекстом в том случае, если его необходимо будет изменить. В SDL для контекста есть отдельный класс, который можно передать в конструктор окна, чтобы между окнами контекст сохранялся. Таким образом, было принято решение выбрать SDL в качестве средства для создания окон и манипуляции ими.

Перейдем к выбору API рендеринга. Среди кроссплатформенных графических API наиболее распространенными считаются OpenGL и Vulkan. OpenGL предоставляет не самые лучшие показатели по производительности [4], однако именно за счет кроссплатформенности и относительной простоты использования имеется склонность использовать его в качестве начального инструмента для создания движка рендеринга.

Vulkan представляет собой более современный графический API, который дает больше свободы при работе с графикой [4], что делает его более комплексным инструментом по сравнению с OpenGL. На данный момент Vulkan находится в активном развитии и является перспективным API для изучения в будущем. Для создания базового движка рендеринга нет необходимости использовать продвинутые возможности Vulkan, поэтому в качестве API рендеринга будет использоваться OpenGL. Однако с применением принципа абстракции Vulkan планируется внедрить в игровой движок в качестве второго варианта API, который может использовать движок рендеринга.

Таким образом, перечень используемых технологий включает в себя SDL для создания манипуляциями окнами и API рендеринга OpenGL.

Описание подсистемы рендеринга

Для реализации системы рендеринга, необходимо понимать ее внутренние процессы. В качестве примера рассмотрены те действия, которые должны произойти, чтобы отобразить простую текстуру на окне. Этапы существенно упрощены, так как система создается только для двухмерного пространства.

1. Подготовка необходимых данных, текстур и шейдеров. На этом этапе необходимо подготовить всю геометрию для API рендеринга. В нашем случае будет достаточно простого квадрата, поверх которого будет отображена соответствующая текстура. Текстуры и шейдеры будут загружаться из файлов в режиме реального времени.

2. Загрузка в API рендеринга информации и создание контекста. Здесь происходит перенос всей информации из первого этапа в API рендеринга. Эту часть необходимо будет занести в слой абстракции от API рендеринга.

3. Подключение шейдеров. Шейдеры представляют собой программы, которые исполняются на графическом процессоре. Для отображения текстуры необходимо будет использовать вершинный и фрагментный шейдеры. Вершинные шейдеры выполняются для каждой вершины отображаемого объекта, а фрагментные шейдеры – для каждого пикселя выходного изображения. В связи с этим, большую часть вычислений более эффективно проводить в вершинном шейдере и затем передавать информацию в фрагментный шейдер, чтобы на этом этапе происходили только необходимые действия, такие как покраска пикселей в нужный цвет и отображение текстур.

4. Камера. Камера представляет собой объект в пространстве, с позиции которого в окно выводится проекция объектов. В целях 2D рендеринга используют ортогональную проекцию, которая не учитывает расстояние объектов до точки обзора. В контексте системы рендеринга камера будет представляться матрицей проекции, которая будет загружаться в шейдер для модификации отображаемого результата.

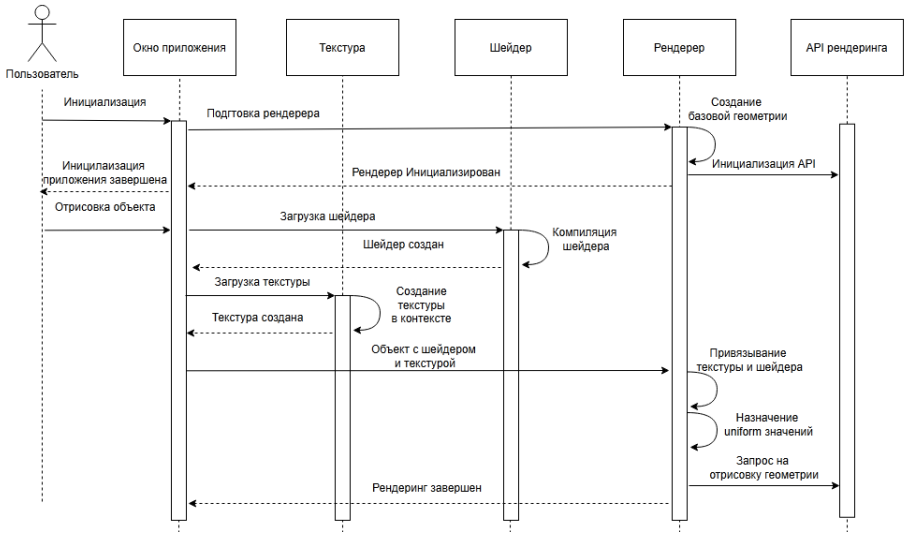


Рис. 1. Диаграмма последовательностей для описания работы подсистемы рендеринга

Так как реализация отображения элементов в окне зависит от API рендеринга, необходимо использовать принцип абстракции. Классы, с обозначением «(virtual)» являются абстракцией и нуждаются дополнительном классе-реализации, использующем конкретный API рендеринга. В результате анализа необходимых компонентов были выделены следующие компоненты движка рендеринга:

1. VertexBuffer (virtual) – массив, который содержит информацию о вершинах. Чаще всего это координаты, но также сюда могут входить цвета, нормали и другие свойства вершин.

2. BufferLayout (virtual) – принцип расположения элементов в массиве вершин. В нем определяется, как движок рендеринга будет считывать данные, предоставляемые ему для рендеринга.

3. IndexBuffer (virtual) –массив с индексами вершин, которые необходимо создать. Использование этого элемента позволяет сэкономить вычислительные мощности при отображение любых элементов, состоящих из 2 полигонов и более.

4. VertexArray (virtual) – массив, который содержит в себе несколько VertexBuffer с одинаковым оффсетом. Этот компонент является уникальным для API рендеринга и присущ только OpenGL.

5. Shader (virtual) – код, который будет исполняться на графическом процессоре. Поддерживает механизм uniform значений, которые передаются напрямую из процессора, чтобы оптимизировать нагрузку между процессором и видеокартой.

6. Texture (virtual) – структура, которая будет содержать информацию о файле-текстуре, который будет отображаться с помощью движка рендеринга.

7. Renderer – основной класс, предоставляющий доступ к отображению элементов в окне.

8. RendererAPI (virtual) – содержит в себе специфические элементы и реализацию методов для разных графических API.

9. RenderCommand – команды для рендеринга. Команды рендеринга напрямую вызывают реализацию методов из RenderingAPI. На данный момент включают в себя следующие:

a. EnableBlending – включение режима для отображения текстур с прозрачностью.

b. SetActiveWindow – установка окна, которое на данный момент обновляется.

c. SetClearColor – установка цвета фона окна.

d. Clear – очистка кадра.

e. DrawIndexed – отрисовка элементов в соответствии с заданным массивом вершин.

Представленные выше компоненты также отображены на диаграмме компонентов ниже.

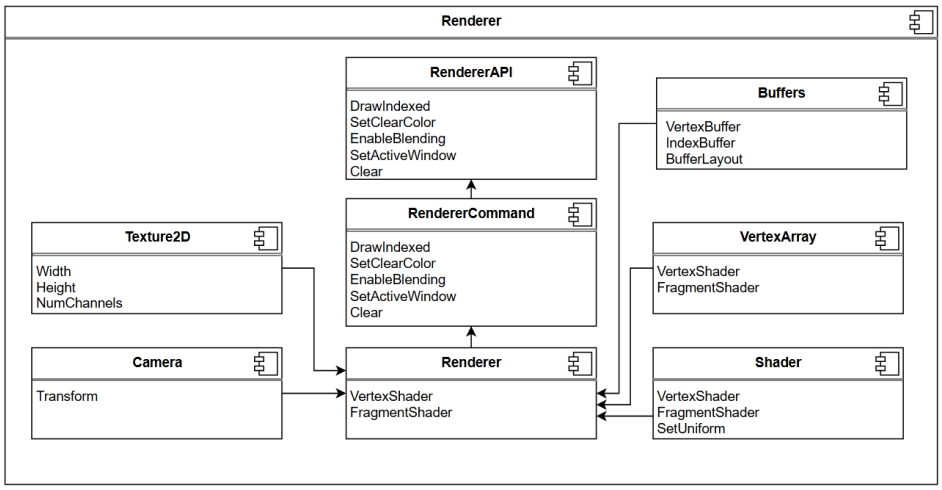


Рис. 2. Диаграмма компонентов для подсистемы рендеринга

Подобная абстракция не является совершенной: на данный момент для работы с движком рендеринга используется VertexArray, который используется только в OpenGL [5]. В дальнейшем планируется изменить принцип работы движка рендеринга, чтобы он действительно не зависел от используемого API. Эта задача будет решаться только при внедрении API рендеринга Vulkan, массивы вершин обязательны для работы OpenGL.

Результаты

Полученная система позволяет работать отображать графические примитивы с текстурами с помощью API рендеринга OpenGL и окон SDL. Благодаря принципам абстракции для взаимодействия со сторонними библиотеками используется только API разработанной системы. Тем не менее, для внедрения других графических API потребуется изменить класс VertexBuffer так, чтобы он удовлетворял массивам данных этих API.

Движок рендеринга работает на основе отображения объектов с соответствующими массивами вершин, матрицами трансформации, шейдерами и текстурами (рис. 4). Ортогональная камера позволяет наблюдать объекты на сцене в ортогональной проекции, передвигаться и вращаться относительно оси z. Данная система рендеринга является частью проекта игрового движка, выложен в свободный доступ и доступен по ссылке на ресурсе [6].

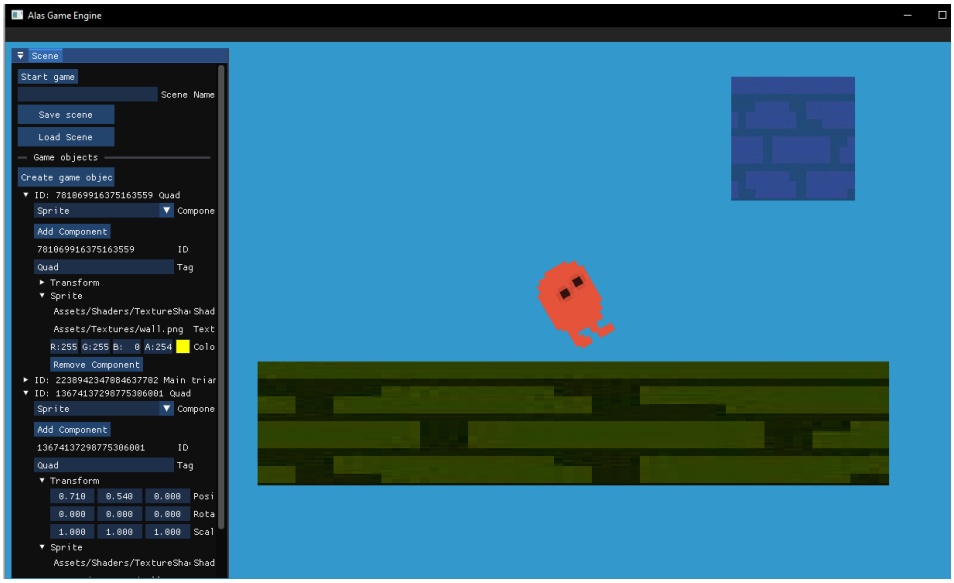


Рис. 3. Использование подсистемы 2D рендеринга для игрового движка

Заключение

В результате проведенной работы был проведен процесс проектирования и реализации подсистемы 2D рендеринга для кроссплатформенного игрового движка.

Наиболее важным принципом в разработке кроссплатформенных приложений является абстракция. Она позволяет создавать системы, реализацию которых можно определять в зависимости от используемой платформы или библиотеки. Принцип абстракции был применен в системах для управления окнами, вводом и движка рендеринга.

Не менее ответственно стоит подходить к выбору сторонних SDK при разработке кроссплатформенного программного обеспечения, так как именно они определяют список поддерживаемых платформ. Наиболее оптимальным подходом будет разработка основной системы с применением SDK с максимальной совместимостью с целевыми платформами, а затем реализовывать системы, которые оптимизированы для каждой конкретной платформы.

Список использованной литературы

1. Грегори Джейсон. Игровой движок. Программирование и внутреннее устройство. Третье издание. – СПб. : Питер, 2021. – 1136 с.

2. SDL3 Libraries // SDL Wiki. – 2024. [Электронный ресурс]. – URL: wiki.libsdl.org/SDL3/Libraries (дата обращения: 12.04.2025).

3. Context handling guide // GLFW. – 2018. [Электронный ресурс]. – URL: glfw.org/docs/3.0/context.html (дата обращения: 12.04.2025).

4. What’s the Difference Between Vulkan, OpenGL, and DirectX // PC Gazer – 2023. [Электронный ресурс]. – URL: pcgazer.com/2023/02/01/whats-the-difference-between-vulkan-opengl-and-directx/ (дата обращения: 12.04.2025).

5. Vries J. de. Learn OpenGL: Learn modern OpenGL graphics programming in a step-by-step fashion. – Netherlands: Kendall & Wells. – 2020. – 35 с.

6. Alas Game Engine // Github. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: github.com/Ssssssaber/Alas-game-engine (дата обращения: 12.04.2025).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЧАСТИЧНОГО СЖАТИЯ ТЕКСТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ SRCNN

Гунько А.А.[1], Коровкин В.А.[2]
[1] НИ ТПУ, г. Томск (студент гр. 8ИМ31 ОИТ, ИШИТР), e-mail: aag131@tpu.ru
[2] НИ ТПУ, г. Томск (старший преподаватель ОИТ, ИШИТР), email: alcasar@tpu.ru

Аннотация

В докладе рассматриваются способы объединения работы алгоритма сжатия текстур S3TC и свёрточной нейронной сеть SRCNN. Было проведено тестирование нескольких моделей SRCNN на различных изображениях. После анализа результатов был сделан вывод о каждой модели и определен оптимальный способ объединения S3TC и SRCNN.

Ключевые слова: текстура, сжатие, алгоритм, игровой движок, нейросеть.

Введение

Разработка приложений виртуальной и дополненной реальности позволяет добиться высокого качества и детализации визуального контента. Однако использование реалистичных текстур с высоким разрешением для объектов игрового мира и окружения существенно увеличивает объем хранимых и передаваемых данных. Это может затруднять разработку и эксплуатацию приложений [1].

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью расширить возможности алгоритмов сжатия текстур с помощью применения нейронных сетей. Это решение позволит обеспечить баланс между производительностью и визуальным качеством при разработке приложений на игровых движках [2].

Одним из современных подходов к восстановлению детализации изображений является метод супер-разрешения – увеличение разрешения изображения с восстановлением мелких деталей на основе обученных моделей. В данной работе проводится исследование и поиск подхода, который объединит в себе работу нейронной сети SRCNN по восстановлению качества изображения и алгоритма частичного сжатия текстур на примере S3TC [1, 2].

Целью работы является разработка алгоритма частичного сжатия текстур с восстановлением качества посредством нейронной сети SRCNN.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. исследовать метод супер-разрешения изображений с использованием нейросети SRCNN, применяемый для задачи восстановления текстур низкого разрешения.
2. провести экспериментальное исследование качества восстановленных текстур в зависимости от разрешения текстуры и применяемого сжатия.
3. сравнить получившиеся результаты – оценить размеры файлов, качество изображений визуально и с использованием метрики PSNR.

Алгоритм сжатия S3TC

S3 Texture Compression (S3TC, DXTn) – это семейство алгоритмов сжатия текстур, разработанных компанией S3 Graphics и широко используемых в различных графических приложениях, включая видеоигры и 3D-графику. DXT был создан для того, чтобы эффективно сжимать текстуры с потерями, снижая их размер, но при этом, стараясь минимизировать ухудшение качества изображения [3].

Особенностями данного алгоритма являются:

– Сжатие с потерями. DXT – после сжатия не все данные изображения можно восстановить. Однако сжатие осуществляется таким образом, чтобы визуальные искажения были минимальными для человеческого восприятия.

– Блочное сжатие. Алгоритм делит текстуры на блоки размером 4x4 пикселя, и каждый такой блок сжимается индивидуально. Это позволяет сжимать текстуры с высокой эффективностью, поскольку блоки могут содержать достаточно похожих пикселей, что позволяет эффективно кодировать информацию [4].

– Работа с цветом и альфа-каналом. DXT использует методы сжатия для хранения цветовой информации (RGB) и альфа-каналом (прозрачность), если таковой имеется.

Выбор данного алгоритма сжатия обусловлен тем, что он является более эффективным среди аналогов, за счет использования большего количества вычислительных ресурсов, а также поддержки альфа-канала. Это позволяет использовать его не только при разработке приложений для ПК, но и для мобильных устройств, в том числе VR-гарнитур.

Нейронная сеть SRCNN

Super-Resolution Convolutional Neural Network (SRCNN) представляет собой свёрточную нейронную сеть, предназначенную для восстановления изображения высокого разрешения из низкого за счёт обучения на паре «исходное изображение – его сжатая (или уменьшенная) версия» [2]. Метод опирается на принцип end-to-end обучения, при котором все стадии реконструкции, включая извлечение признаков и финальную сборку результата, осуществляются внутри единой архитектуры [2, 5]. Ранее в традиционных методах супер-разрешения, например на основе разреженного кодирования, каждая стадия решалась отдельно, и итоговое качество во многом зависело от оптимизации независимых этапов [2, 6].

SRCNN стал одной из первых глубоких моделей, продемонстрировавших результативность свёрточных сетей в задаче супер-разрешения [2, 7]. Сеть отличается компактной архитектурой, что обеспечивает высокую скорость восстановления изображения, а также гибкостью, позволяющей изменять количество слоёв или размер свёрточных фильтров для баланса между качеством и временем работы [2].

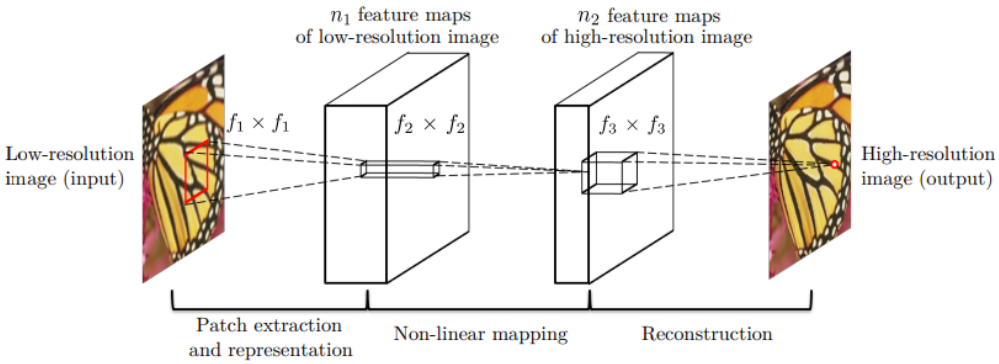


Рис. 1. Архитектура SRCNN

Тестирование различных моделей нейронной сети SRCNN

Для практической части было отобрано десять реализация нейросети SRCNN. В конечном итоге отсеяно было семь и тестирование осуществлялось на трёх моделях.

Первая модель использовала датасет Set5 и отличалась более гибкими настройками параметров супер-разрешения. При апскейле была возможность выбора конфигураций 9-1-5, 9-3-5, 9-5-5 и увеличения изображения в x2, x3, x4 раз.

Вторая модель использовала датасет Set5 с конфигурацией 9-5-5 и возможностью увеличения изображения в x2, x3, x4 раз.

Третья модель использовала датасет BSD100 с конфигурацией 9-1-5 и увеличением в x2, x3, x4 раз.

Датасет Set5 используется для оценки алгоритмов супер-разрешения изображений. Он состоит из 5 изображений различного содержания, которые широко применяются в качестве тестового набора для измерения качества работы алгоритмов повышения разрешения

изображений. Изображения датасета представлены в высоком и низком разрешениях. Низкое разрешение создается путем искусственного понижения разрешения, что позволяет оценивать работу алгоритмов по восстановлению деталей. Этот датасет часто используется для оценки качества работы алгоритмов супер-разрешения, таких как SRCNN, FSRCNN, EDSR, RCAN и для сравнения их эффективности по стандартным метрикам: PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), SSIM (Structural Similarity Index Measure).

Датасет BSD100 (Berkeley Segmentation Dataset 100) – набор изображений, используемый для оценки алгоритмов супер-разрешения изображений. Он широко применяется в научных исследованиях и статьях в качестве тестового датасета для нейросетей. Данный набор состоит из 100 изображений. Они взяты из более крупного набора BSD300, который был предназначен для задач сегментации изображений. По аналогии с Set5 данный набор содержит изображения высокого разрешения и соответствующие им версии низкого разрешения, полученные искусственным снижением разрешения при помощи бикубической понижающей дискретизации (bicubic downsampling).

Для тестирования моделей были выбраны изображения с различными разрешениями (256x256, 512x512, 1024x1024) и форматами (.png и .dds). Первая модель не обрабатывала сжатые DXT5 изображения формата .dds. В качестве альтернативы данные изображения были сконвертированы обратно в .png формат и использованы для тестов.

PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) – это метрика, используемая для оценки качества изображения или видеосигнала после сжатия, передачи или другой обработки. Она показывает, насколько сильно изображение или видео было искажено в результате обработки по сравнению с оригиналом. Чем выше значение PSNR, тем лучше качество изображения и меньше искажений. Важно отметить, что PSNR не всегда точно отражает визуальное восприятие качества человеком. Например, даже при высоких значениях PSNR визуально результат может казаться хуже, чем на изображении с более низким значением. Это зависит как от метода обработки, который применяется, так и от его реализации. На рисунке 2 показаны значения PSNR после увеличения изображений различными моделями. В названии изображений указано их оригинальное разрешение, масштаб увеличения, архитектура применённого супер-разрешения, конвертировано оно или нет. По данному графику можно сделать вывод о том, что модель №2 показывает наилучший результат.

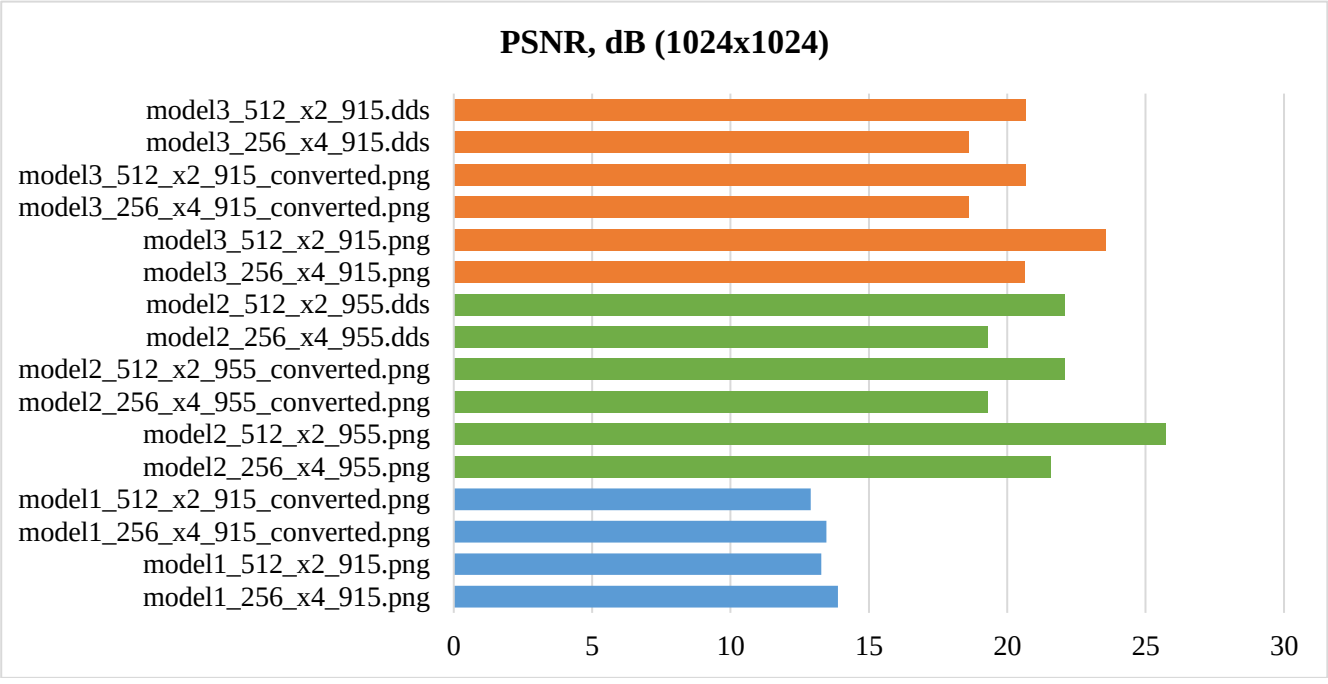


Рис. 2. Значения шума моделей при увеличении изображений до разрешения 1024x1024

В таблице 1 приведены размеры различных изображений и текстур. Если произвести оценку размеров и соответствующих значений PSNR, то можно сделать вывод о том, что обработка конвертированных изображений не даёт выигрыша в размере, но ухудшает выходное качество. Текстуры формата .dds полученные на вход в результате работы нейронной сети по значению PSNR равны конвертированным изображениям, но по размеру занимают больше места, чем оригинальное изображение 1024x1024.

Таблица 1. Размеры оригинальных изображений и обработанных с помощью различных моделей нейронной сети

Изображение	Размер, КБ	Сжатый, КБ	PSNR
original_512.png	699	342	
original_1024.png	2624	1366	
model1_256_x4_915.png	1540	501	13,885
model1_512_x2_915.png	2004	501	13,2773
model1_256_x4_915_converted.png	1564	-	13,4676
model1_512_x2_915_converted.png	2091	-	12,8959
model2_256_x4_955.png	1789	683	21,5796
model2_512_x2_955.png	2146	683	25,7283
model2_256_x4_955_converted.png	1856	-	19,2896
model2_512_x2_955_converted.png	2263	-	22,081
model2_256_x4_955.dds	3073	-	19,2896
model2_512_x2_955.dds	3073	-	22,081
model3_256_x4_915.png	1734	683	20,6339
model3_512_x2_915.png	2199	683	23,5424
model3_256_x4_915_converted.png	1762	-	18,5936
model3_512_x2_915_converted.png	2290	-	20,6598
model3_256_x4_915.dds	3073	-	18,5936
model3_512_x2_915.dds	3073	-	20,6598

Заметное увеличение размера .dds файла свзяано с тем, что алгоритм сжатия DXT5 хранит данные блоками по 4×4 пикселя, и каждый блок имеет фиксированный размер. Чем больше деталей появляется в изображении после работы нейронной сети SRCNN, тем менее эффективно DDS сжимает текстуру.

Таким образом, использование сжатого текстурного формата для супер-разрешения является нерациональным. Наиболее предпочтительный подход в данном случае в соотношении качество/вес файла – использовать для увеличения оригинальное .png изображение, которое затем сжимается при помощи DXT5 в текстуру .dds.

На рисунке 3 представлено сравнение выходных изображений с эталонным. Входные изображения с более высоким разрешением дают более качественные результаты на выходе. Модель №2 не смотря на лучшие показатели PSNR, справляется хуже с обработкой изображений низкого качества и имеет заметные артефакты, в отличие от модели №2. Модель №3 показала наихудший результат, в сравнении с двумя другими моделями. Несмотря на отсутствие заметных артефактов на выходных изображениях, они получились очень размытыми.

Рис. 3. Сравнение результатов работы различных моделей нейронной сети с эталонным изображением 1024x1024

Результаты

После тестирования трёх моделей можно сделать следующий вывод об алгоритме, который совмещает частичное сжатие DXT5 и работу сверточной нейронной сети SRCNN:

– модель №2 показывает наилучшее качество выходного изображения.

– модель №3 приближена по качеству выходного изображения к модели №2, но хуже обрабатывает входные изображения низкого разрешения и имеет заметные артефакты, несмотря на лучшие показатели по метрике PSNR.

– модель №1 обладает наибольшей гибкостью при настройке параметров для суперразрешения, однако проигрывает в качестве выходного изображения моделей №1 и №2.

– обработка сжатых текстур .dds формата является нецелесообразной, так как размер выходного файла превышает размер эталонного несжатого изображения.

– обработка конвертированных изображений является нецелесообразной, так как качество входного изображения хуже оригинала и содержит артефакты, которые при суперразрешении становятся еще более заметными.

– качество выходного изображения при использовании SRCNN прямо пропорционально разрешению входного изображения.

– использование оригинальных изображений для операций супер-разрешения с последующим сжатием алгоритма DXT5, является наиболее оптимальным вариантом с точки зрения отношения качество / размер файла.

– при необходимости можно сделать конвертацию .dds формата обратно в .png, это даст более лучший результат, чем использование конвертированного изображения для операции супер-разрешения.

Заключение

В результате выполнения данной работы была написана программа с использованием алгоритма сжатия DXT5, исследована сверточная нейронная сеть SRCNN, на практике рассмотрены десять моделей данной нейросети, из который в качестве опытных образцов для тестов были выбраны три модели.

В ходе тестирования трёх моделей SRCNN была проверена работа увеличения для текстур разрешений 256x256, 512x512, 1024x1024 с заданными параметрами. Результаты работы были оценены по следующим характеристикам: значение PSNR, визуальное качество выходных изображений в сравнении с эталоном, размер файла.

После анализа результатов работы каждой из моделей были сделаны выводы и предложен алгоритм работы, совмещающий частичное сжатие и нейронную сеть SRCNN.

В качестве идей для дальнейшего исследования можно выделить следующие пункты:

– улучшение качества выходного изображения, которое можно получить, добавив дополнительный слой к SRCNN.

– улучшение качества выходного изображения за счет использования более новых моделей нейросетей для задач супер-разрешения.

– улучшение качества текстур за счет использования более новых алгоритмов сжатия.

Список использованных источников

1. Dong C., Loy C.C., He K., Tang X. Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2016. [Электронный ресурс] – URL: arxiv.org/pdf/1501.00092 (дата обращения: 02.03.2025).

2. Dong C., Loy C.C., He K., Tang X. Learning a Deep Convolutional Network for Image Super-Resolution // Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). – 2014. [Электронный ресурс] – URL: sci-hub.ru/10.1007/978-3-319-10593-2_13?ysclid=m94i6y5zg7699018065 (дата обращения: 02.03.2025).

3. Сжатие текстур: S3TC (DXTn) // annimon [Электронный ресурс] – URL: annimon.com/article/984 (дата обращения: 21.12.2024).

4. Современные форматы сжатия текстур // sv-journal [Электронный ресурс] – URL: sv-journal.org/2014-1/06/ru/index.php?lang=en (дата обращения: 21.12.2024).

5. Burger H.C., Schuler C.J., Harmeling S. Image denoising: Can plain neural networks compete with BM3D? // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2012. [Электронный ресурс] – URL: hcburger.com/files/neuraldenoising.pdf (дата обращения: 10.03.2025).

6. Yang J., Wright J., Huang T., Ma Y. Image super-resolution via sparse representation // IEEE Transactions on Image Processing. – 2010. [Электронный ресурс] – URL: researchgate.net/publication/224138603_Image_Super-Resolution_Via_Sparse_Representation (дата обращения: 11.03.2025).

7. Freedman G., Fattal R. Image and video upscaling from local self-examples // ACM Transactions on Graphics. – 2011. [Электронный ресурс] – URL: cs.huji.ac.il/w~raananf/projects/lss_upscale/paper.pdf (дата обращения 12.03.2025).

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИМУЛЯТОРА ОКАЗАНИЯ ПОМОЩИ В ЭКСТРЕННЫХ СИТУАЦИЯХ НА ЛЬДУ

Овдин А.Е. [1], *Видман В.В.* [2]
[1] *НИ ТПУ, г. Томск (студент гр. 8ИМ31 ОИТ, ИШИТР), e-mail: aeo10@tpu.ru*
[2] *НИ ТПУ, г. Томск (старший преподаватель ОИТ, ИШИТР), e-mail: vidman@tpu.ru*

Аннотация

В докладе описывается разработка прототипа симулятора оказания помощи в экстренных ситуациях на льду. Излагаются ключевые моменты проектирования и программирования приложения с помощью средств трехмерного игрового движка. Описаны требования к симулятору, игровые сценарии, составлены UML-диаграммы. Реализованы базовые механики игрового процесса.

Ключевые слова: разработка игр, виртуальная реальность, программирование.

Введение

В последние годы виртуальная реальность стала важным инструментом для создания интерактивных обучающих программ в различных областях. В том числе VR-технологии активно используются для симуляции экстремальных ситуаций, что позволяет эффективно обучать людей важным навыкам без риска для их здоровья. Одной из таких областей является обучение безопасности и оказанию первой помощи в случае несчастных случаев, которые могут произойти в зимний период.

Актуальность исследования заключается в том, что зимний период, особенно в регионах с холодным климатом, представляет собой высокий риск для людей, находящихся рядом с замерзающими водоемами. Число несчастных случаев, связанных с провалом под лёд, остается высоким, несмотря на развитие информационных кампаний по безопасности. Образовательные игры, использующие VR, могут стать эффективным инструментом для передачи жизненно важных навыков, таких как безопасное поведение на льду и правильные действия при спасении человека из полыньи. Такой подход дает возможность обучать людей не теоретически, а через практическую имитацию реальных опасных ситуаций.

Цель работы: разработка образовательного VR-симулятора, который позволит обучить пользователей основам безопасности на льду, а также правильным действиям при оказании первой помощи в экстренных ситуациях. Игра будет направлена на формирование у игроков навыков быстрого реагирования в условиях стресса, что в реальных обстоятельствах может спасти жизни.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Составить аналитический обзор: изучить нормативные документы, сравнить существующие решения по обучению оказанию первой помощи.
2. Провести проектирование приложения: составить требования и сценарии тренажера.
3. Разработать прототип виртуального тренажера.

Основная часть

Перед началом работы был проведен поиск необходимых нормативных актов для изучения правил поведения на льду и оказанию помощи. В их список вошли документы трех основных видов: федеральные законы, государственные стандарты и методические рекомендации МЧС России.

В начале 2025 года был принят Федеральный закон от 3 февраля 2025 г. N 4-ФЗ «О безопасности людей на водных объектах», регулирующий отношения в области обеспечения безопасности людей на водных объектах и прилегающих к ним территориях [1]. Во второй главе описаны требования безопасности людей на водных объектах, а конкретно в статье 14 «Требования безопасности людей на водных объектах при использовании ледовых переправ»,

но информация подана довольно сухо, поэтому было принято решение обратиться к государственным стандартам. ГОСТ Р 22.0.01-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения» является основополагающим документом, устанавливающим базовые аспекты системы национальных стандартов, направленных на предупреждение и ликвидацию чрезвычайных ситуаций, но, к сожалению, он также не содержит точной информации касательно действий в чрезвычайных ситуациях на льду [2].

Поиск был продолжен обращением к правилам поведения в чрезвычайных ситуациях, разработанных МЧС. Центральный региональный центр по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий разработал методические рекомендации по обеспечению безопасности людей на водных объектах в зимний период [3]. Именно информация из этого документа легла в основу построения игрового процесса приложения.

Требования к программному обеспечению определяют, каким должно быть приложение, какие функции оно выполняет и какие ограничения накладываются на его работу. Они необходимы для разработки, тестирования и оценки соответствия конечного продукта ожиданиям пользователей. Требования можно классифицировать на несколько основных категорий: функциональные, нефункциональные и бизнес-требования.

Функциональные требования описывают, какие задачи должно выполнять приложение и как пользователи могут с ним взаимодействовать. Они определяют поведение системы при различных сценариях использования. Для VR-симулятора было описано пять категорий функциональных требований: требования к игровым условиям, взаимодействие с предметами, взаимодействие с пострадавшими, игровая механика и управление, геймификация и обучение. Нефункциональные требования определяют качество работы приложения, его ограничения и характеристики, такие как производительность, удобство использования, безопасность, масштабируемость и совместимость с различными гарнитурами виртуальной реальности. Бизнес-требования к приложению –это описание функциональности и характеристик, которые приложение должно иметь для удовлетворения потребностей бизнеса или пользователей, но они могут быть напрямую не связаны с основной функциональностью приложения

На основе функциональных требований были сформированы игровые сценарии, описанные в десяти таблицах. Они содержат конкретную последовательность шагов, которую необходимо выполнить игроку, чтобы добиться какого-то результата. В таблице 1 представлен пример сценария «Сердечно-легочная реанимация».

Таблица 1. Пример игрового сценария «Сердечно-легочная реанимация».

№	Описание шага
1	Подойти к пострадавшему – игрок должен приблизиться к лежащему человеку
2	Проверить дыхание – наклониться к лицу пострадавшего и зафиксировать наличие потока пара изо рта (визуальный эффект)
2	Проверить пульс – приложить пальцы к шее или запястью пострадавшего
4	Принять решение о начале реанимации – если нет дыхания и пульса, приступить к сердечно-лёгочной реанимации
5	Положить руки на грудную клетку – расположить их в правильном месте
6	Выполнить 30 нажатий на грудную клетку – соблюдать правильную скорость (100-120 нажатий в минуту) и силу давления
7	Сделать 2 вдоха «рот в рот»
8	Продолжать реанимацию – цикл «30 нажатий – 2 вдоха», пока пострадавший не начнет дышать
9	Оценка состояния пострадавшего – проверка дыхания, реакции. Если дышит – остановиться, если нет – продолжить
10	Контролировать температуру – если на улице холодно, найти способ согреть пострадавшего
11	Переместить пострадавшего в безопасное место – ближе к источнику тепла (костёр, убежище)
12	Вызвать скорую помощь

После описания сценариев в количестве десяти таблиц на их основе были созданы диаграммы, описывающие ключевые аспекты игры. Так, на рисунке 3 представлена диаграмма активностей на языке проектирования UML, содержащая главные игровые сущности и описывающая порядок действий пользователя и его взаимодействие с другими объектами [4].

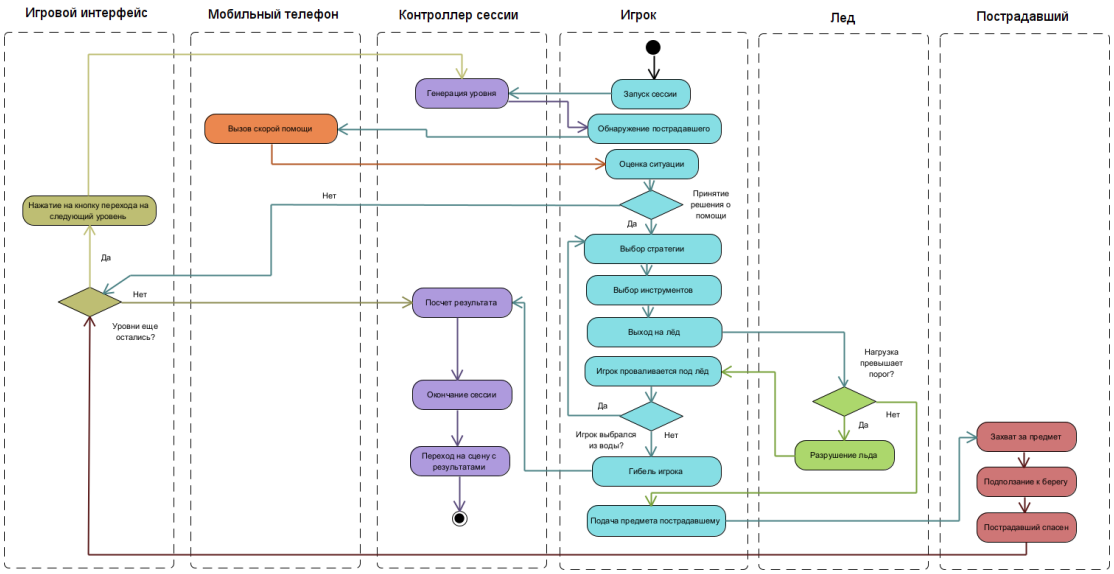


Рис. 1. Диаграмма активностей игры

Для описания сущностей и связей между ними построена диаграмма классов. Она содержит сущности:

1. Игрок, имеющий тип передвижения, вес, гипотермию.
2. Пострадавший, обладающий множеством характеристик, таких как гипотермия, сердцебиение, вес, состояние и т.п.
3. Общий класс предмета и наследуемые от него конкретные вещи. Также имеется класс создаваемых предметов, которые может сделать игрок из каких-то ресурсов.
4. Льдина, имеющая порог нагрузки и текущую нагрузку на льдину. Используется для симуляции системы льда, способной рассчитывать общий вес стоящих на ней предметов и выполнять её проламывание при высокой нагрузке.
5. Контроллер игровой сессии. Он оценивает правильность действий игрока, перемещает его на другие уровни, оканчивает игру при наступлении условий победы или поражения.
6. Несколько перечислений (enumetaion), используемых при программировании игры.

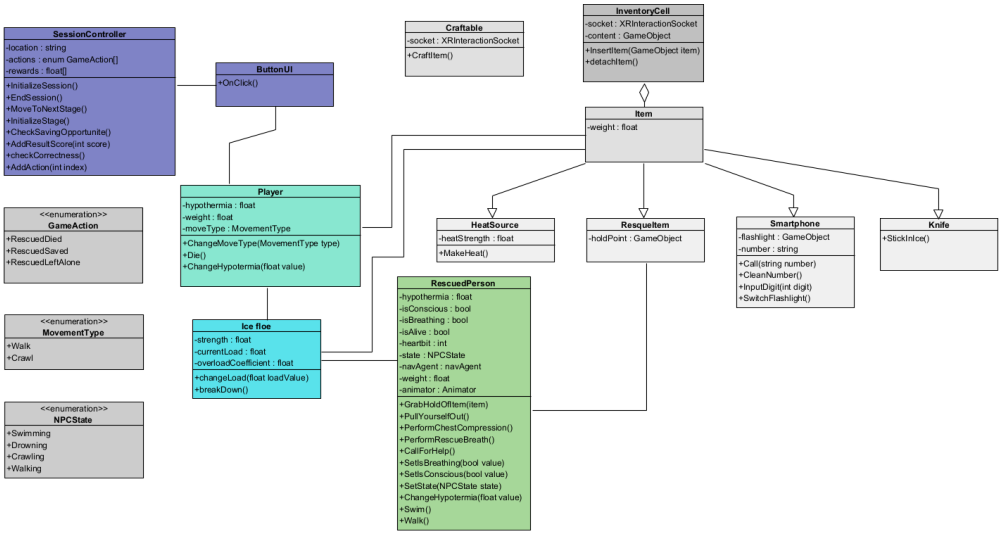


Рис. 2. Диаграмма классов игры

Для реализации проекта будет использоваться язык C# и трехмерный игровой движок совместно с пакетом виртуальной реальности [5]. В качестве VR-библиотеки используется OpenXR – открытый, бесплатный стандарт доступа к платформам и устройствам виртуальной и дополненной реальности. Он разработан рабочей группой под управлением консорциума Khronos Group. Стандарт позволяет упростить создание приложений расширенной реальности, использовать меньше специфичного для устройств кода, запускать приложения сразу на нескольких платформах.

Для управления VR-игроком был создан объект, содержащий компоненты контроллера игрока и скрипт Player Controller, описывающий некоторые особенности передвижения персонажа. Вместо изначально имеющихся контроллеров были созданы модели рук. Для управления рукой написан скрипт Hand Animation Controller. В нем определены кнопки, при нажатии на которые будет активироваться анимация. Палец имеет два состоянии – сжат и разжат. В зависимости от параметра активируется переход и соответствующая анимация.

Следующим шагом проведено прописывание системы динамического льда. Объект куска льда имеет скрипт, который просчитывает имеющуюся нагрузку на лёд. Если нагрузка слишком велика (85 %), то к ней добавляется коэффициент продолжительности нагрузки, который постепенно приближает значение общей нагрузки к 100%. То есть, если игрок долго стоит на трескающемся льду, то он провалится под лёд. Если нагрузка вернулась на значение меньше 80 % (пользователь отошел от трескающегося льда), то этот коэффициент не возвращается к нулю. Разрушаемые части просчитываются по заранее расставленным точкам. После этого разрушения меш разрезается на части.

Предметы содержат компонент хватаемого интерактивного объекта, который реализует подбор предметов рукой. Создана точка прицепления к руке (attach point). Тип хватания – близкий, то есть предмет всегда хватается прямо в руку. Все предметы имеют свой вес. За него отвечает скрипт Weight Object. В нем указывается значение веса в килограммах. Именно оно просчитывается при ломании льда.

Для улучшения игровой графики была использована пост-обработка. Они позволяют в определенном месте применить эффекты, такие как цветокоррекция, bloom для освещения или виньетка для затемнения краев экрана. На рисунке 3 продемонстрирована графика до (слева) и после (справа) применения эффектов.

Рис. 3. Эффекты пост-обработки

В процессе разработки поведения пострадавшего в VR-симуляторе изначально использовались пререндеренные анимации ходьбы, плавания, всплытия и падения. Однако этот подход оказался неэффективным, так как стандартные анимации не были адаптированы под специфические игровые сценарии. Например, у пострадавшего отсутствовала анимация протягивания руки, что ограничивало реализм взаимодействий. В итоге было принято реализовать систему состояний, позволяющую управлять поведением пострадавшего в зависимости от его положения. Когда персонаж оказывается в воде, он переходит в состояние

плавания. Движение в воде осуществляется с учётом физики и анимации, обеспечивая реалистичное поведение. Далее было принято решение изменить подход к анимации и использовать инверсную кинематику и подход тряпичной куклы (регдолла).

Общепринятый термин Ragdoll обозначает вид процедурной анимации, пришедший на замену статичной, пререндерной анимации. Название произошло от английского словосочетания rag doll (rag – тряпка, doll – кукла). Идея заключается в создании гуманоидного тела и соединении всех его звеньев сочленениями для воссоздания степеней свободы, демонстрируемых реальным прототипом. Используя физику твёрдых тел и ограничения сочленений, можно симулировать падение тела человека. Также было принято решение обратиться к инверсной кинематика (IK, Inverse Kinematics) – это метод, позволяющий автоматически вычислять положение суставов скелета модели, чтобы конечная точка (например, рука или нога) достигла нужного положения. В инверсной кинематике задаётся конечная точка (например, куда должна дотянуться рука), а алгоритм автоматически рассчитывает положения всех суставов, чтобы рука достигла цели естественным образом.

Однако данный подход также столкнулся с трудностями. Изначально предполагалось, что пострадавший будет динамически хвататься рукой за спасателя, создавая Joint между объектами, после чего происходило бы переключение в режим Ragdoll для естественной физической симуляции. Главной проблемой оказалось возвращение из состояния Ragdoll в иное контролируемое состояние. После включения физики персонаж терял управление, и корректный переход обратно в анимированное состояние требовал сложных вычислений, восстановления поз и дополнительной логики.

Заключение

На текущий момент выполнена часть разработки, включая создание базовых механик – игрок в виртуальной реальности, система разрушаемого льда, предметы, их всплытие. Были предприняты попытки создания пострадавшего, испробовано несколько способов его реализации. Настроен регдолл, персонаж может тянуться к палке, но на данный момент требуется доработка и соединение всех частей персонажа воедино. В дальнейшем планируется добавить новые механики, такие как адаптивное поведение персонажей в зависимости от ситуации, расширенные сценарии спасения, различные уровни и выпуск проекта.

Таким образом, проделанная работа по созданию VR-симулятора спасения на льду является лишь первым шагом к созданию полноценного приложения. С учётом будущих улучшений и оптимизаций, продукт может быть выпущен в интернет-маркетплейсе.

Список использованных источников

1. Федеральный закон от 3 февраля 2025 г. N 4-ФЗ «О безопасности людей на водных объектах» [Электронный ресурс]. – URL: publication.pravo.gov.ru/document/0001202502030009?ysclid=m9174ai2f3894603118 (дата обращения: 21.02.2024)

2. Безопасность людей на воде в зимний период времени [Электронный ресурс] – URL: 40.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/rekomendacii-naseleniyu/pamyatki/pravila-povedeniya-na-vodoemah/bezopasnost-lyudey-na-vode-v-zimniy-period-vremeni (дата обращения: 21.02.2024)

3. ГОСТ Р 22.0.01-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения»: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2017-06-01 / Федеральный центр науки и высоких технологий. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 8 с.

4. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Д. Рамбо, А. Джекобсон. – М. : ДМК, 2019**.** – 432 с.

5. Шилдт Г. C# 2.0. Полное руководство. – М. : ЭКОМ Паблишерз, 2017. – 976 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ «СИМУЛЯТОР МАШИНИСТА VR»

Верлинский М. В.
МАОУ Гимназия №13, 11А класс, г.Томск
Тел. +79526863613
e-mail: demiron75@gmail.com
Тюрин Никита Олегович
студент группы 434, ОГБПОУ ТТИТ, г. Томск
тел. 8(923)406-25-80
Руководитель: Михайлов Денис Вадимович, педагог дополнительного образования Детского технопарка «Кванториум», г. Томск

Аннотация

В данной статье рассматриваются аспекты разработки Симулятора Машиниста VR, который использует технологии виртуальной реальности для создания реалистичного опыта управления поездом. Проект включает в себя интерфейс для управления, высокодетализированную графику и различные игровые режимы. Симулятор обеспечивает пользователям возможность взаимодействовать с виртуальной кабинкой машиниста, что полезно как для обучения, так и для развлечения.

Ключевые слова: Виртуальная реальность, профориентация.

Введение

Летом 2024 г. РЖД представили первую беспилотную «Ласточку», курсирование которой планируется в Москве. В недалеком будущем такие технологии достигнут всех регионов России, однако при текущих темпах производства это произойдет не скоро. Профессия машиниста по-прежнему очень востребована на рынке. Университеты проводят профильное обучение по этой специальности, а также есть отдельные курсы для машинистов электропоездов метрополитена. Симуляторы VR позволяют пользователям получить опыт, максимально приближенный к реальному, что поможет проекту занять свое место в нише.

Симулятор Машиниста VR (Рисунок 1) – это инновационный проект, позволяющий пользователям погрузиться в роль машиниста поезда с помощью технологий виртуальной реальности (VR). Проект направлен на создание максимально реалистичного опыта управления поездами.

Рис.1. Симулятор машиниста VR

У проекта есть ряд особенностей Реалистичная графика: Виртуальные пейзажи и интерьеры вагонов созданы с высокой детализацией, что позволяет полностью окунуться в атмосферу железнодорожного транспорта.

- Разнообразие маршрутов: Пользователи могут выбирать различные маршруты по всему миру, включая как реальные, так и вымышленные локации.
- Управление поездом: Интерфейс управления имитирует настоящие приборы и системы управления локомотива, обеспечивая полное погружение в процесс вождения.
- Интерактивность: Возможность взаимодействовать с различными элементами кабины машиниста, такими как переключатели, рычаги и дисплеи, добавляет реализма и глубины игровому процессу.
- Режимы игры: помимо основного уровней, доступны дополнительные режимы, такие как обучение, испытания и свободный полет, где можно исследовать мир без ограничений.
- Поддержка VR-шлемов: Полная совместимость с популярными VR-устройствами для максимального эффекта присутствия.

В проекте существует главное меню (рисунок 2), где можно выбрать режим обучения и режим практики. В режиме обучения пользователя направляет помощник-интерфейс, который поэтапно предоставляет информацию о работе машиниста и о том, какие действия необходимо совершить. В режиме практики пользователю предстоит выполнить все задания без подсказок, а также оперативно выполнять действия во избежание различных препятствий, таких как снижение скорости при повороте или полная остановка, если впереди на железной дороге было замечено препятствие. В этом режиме есть система штрафных баллов: если пользователь за время симуляции набрал больше определенного числа баллов, то задание считается не выполненным.

Используемое оборудование

Проект скомпилирован под расширение .exe, что позволяет запускать приложение на персональном компьютере или ноутбуке. Для подключения в виртуальной реальности используются VR-гарнитуру [1], также используется бесплатное приложение, которое координирует VR-пространство и приложение в единую систему. Очки и персональный компьютер подключаются через «Airlink» с помощью маршрутизатора с мощностью 5 ГГц, если же такое оборудование в наличии нет, используется кабель с разъемом USB Type-C.

Перспективы улучшения

Большинство задач проектов VR заключается в симуляции. В этом проекте можно добавить физические контроллеры в реальном мире, чтобы взаимодействие происходило на детальном уровне. Такие улучшения стоит проводить, если организация может себе позволить проводить у себя мероприятия по демонстрации проекта. Если же демонстрация проекта происходит на выездных мероприятиях, то стоит оставить проект в текущем виде, чтобы не уменьшать мобильность и скорость развертывания демонстрационного стенда.

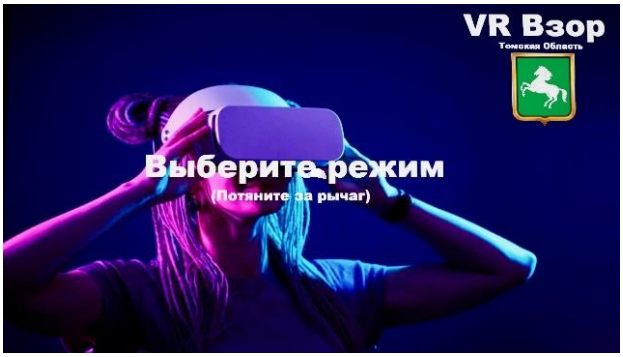


Рис. 2. Главное меню проекта Симулятора машиниста VR

Проект ориентирован на широкую аудиторию, включающую любителей железных дорог, энтузиастов VR-технологий и тех, кто интересуется транспортными симуляторами. Он

также может быть полезен для образовательных целей, позволяя изучать основы управления железнодорожным транспортом в безопасной среде.

Симулятор Машиниста VR предлагает уникальный опыт, сочетающий в себе увлекательный игровой процесс и высокую степень реализма, делая его идеальным выбором для всех, кто мечтает почувствовать себя настоящим машинистом.

Виртуальный проект сделан с помощью графического редактора [1], а также с помощью игрового движка [2].

Задачи проекта:

1. Изучение приложений для программирования.
2. Написать код для игры.
3. Разработать и протестировать игру.

Заключение

На начальном этапе работы над проектом Симулятора Машиниста VR был проведен анализ возможностей реализации VR-технологий для создания реалистичного опыта управления поездом. В процессе проектирования и разработки было установлено, что использование высокодетализированного графического контента и интерактивных элементов значительно обогащает игровой процесс и повышает уровень погружения пользователя.

В ходе работы над прототипом приложения возникла гипотеза о возможности интеграции физических контроллеров для взаимодействия с виртуальной кабиной машиниста. Разработка прототипа подтвердила эту гипотезу, продемонстрировав, что пользователи могут управлять локомотивом с помощью физического оборудования, что повышает уровень реалистичности воспроизводимого опыта.

Тем не менее, реализация проекта сталкивается с определенными ограничениями, например, необходимостью адаптации под различные VR-устройства и улучшением системы управления, чтобы обеспечить совместимость с наибольшим числом устройств. В результате выполненной работы был спроектирован и реализован прототип Симулятора Машиниста VR, который включает интерфейс для управления процессом и поддержку нескольких маршрутов, создавая уникальное взаимодействие с виртуальным миром железнодорожного транспорта. Симулятор призван стать ценным инструментом как для обучения будущих машинистов, так и для развлекательного времяпрепровождения, открывая новые горизонты в сфере использования VR-технологий.

Список использованной литературы

1. Серова М.Н. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн. – М. : СОЛОН-Пресс, 2022. – 272 с.

2. Doran John P., Sherif W., Whittle S. Unreal Engine 4.x Scripting with C++ Cookbook 2021. – 264 с.

Секция 3. Мехатроника и робототехника

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕРАПИИ ЛЕЧЕНИЯ ОСТЕОХОНДРОЗА

Никифорова Р.Л.[1], Павловский А.В.[2], Филипас А.А.[3]
[1]ТПУ, ИШИТР, бакалавр, группа 8Е22, e-mail: mln3@tpu.ru.
[2]ТПУ, ИШИТР, ассистент, аспирант группа А3-36, e-mail: avp135@tpu.ru.
[3]ТПУ, ИШИТР, Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры, к.т.н., доцент, e-mail: filipas@tpu.ru.

Аннотация

В данной работе представлена структура программно-аппаратного комплекса для автоматизации терапии лечения остеохондроза на основе механотерапии. Представлена структурная схема, ключевые алгоритмы управления и взаимодействие с пациентом.

Ключевые слова: остеохондроз, роботизированные массажные системы, робот-манипулятор.

Введение

Одним из распространенных заболеваний позвоночника человека является остеохондроз, от которого страдает более 1,7 млрд людей [1]. При данном заболевании происходят постепенные дегенеративные изменения в позвоночнике, связанные с износом межпозвоночных дисков. Симптомы развиваются медленно и проявляются в возрасте. Согласно статистике [2] остеохондроз появляется у 40% населения в возрасте 35-40 лет и у 90% – в пожилом возрасте. Данное заболевание может привести к следующими проблемам: протрузия, межпозвоночная грыжа, кифоз, радикулит, инсульт спинного мозга, атрофия мышц нижних конечностей, паралич ног [3]. Существующие методы лечения остеохондроза, а именно: магнитотерапия, лазерная терапия, электростатические импульсы, ультразвуковая терапия, физиотерапия, механотерапия, требуют непосредственное участие врача при проведении лечения. В связи с этим возникает необходимость в создании программно-аппаратного комплекса для автоматизации терапии остеохондроза на основе представленных методов. В данной работе будет рассматриваться программно-аппаратный комплекс для автоматизации механотерапии, предназначенный для лечения различных заболеваний опорно-двигательного аппарата, включая остеохондроз, который может поражать не только позвоночник, но и другие области тела.

Механотерапия

Механотерапия является простым методом лечения остеохондроза, так как ему присущи следующие особенности: неивазивность, нагрузка подаётся фиксировано и точечно. Это позволяет применять данный метод на большом количество людей, так как он безопасен и с малой долей вероятности можно причинить вред организму. В связи с этим была взята механотерапия, однако выбор не исключает внедрения в представленный комплекс других методов лечения, различных видов массажа и проектов по программированию робота. Следовательно, преимущество должно состоят не только в выполнении одной задачи при лечении остеохондроза, но и в универсальности данного комплекса.

Описание разрабатываемого комплекса

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс для автоматизации роботизированного массажа предназначен для проведения эффективных терапевтических процедур с использованием механотерапии. Он включает в себя ключевые решения: адаптивное управление силой, задание траектории массажа, прогнозирование жесткости тканей пациента и интеграцию ограничений движения манипулятора. Комплекс будет

взаимодействовать с информационной сетью для учета процедур, сбора данных о пациентах для оптимизации лечебных методик. Для точного выполнения процедур комплекс будет оснащен системой отслеживания положения пациента и манипулятором. Это обеспечит высокую точность массажа, так как с помощью манипулятора можно достичь высокой точности позиционирования и адаптированного движения в зависимости от положения пациента. Кроме того, будет проводится контурное слежение за объектом для точного определения форм и положения тела пациента, с использованием камеры и датчиков (создание трехмерной поверхности) [4]. Дополнительно в систему будет включена система сбора и анализа информации с объекта, которая оценивает изменений кожного покрова, с использованием ЭМГ датчика [5]. Помимо этого, для проведения массажа на фланец манипулятора необходимо установить насадку, с помощью которой будет проводиться взаимодействие с пациентом. Данная насадка может представлять из себя либо статический объект, либо объект с вибрационными и ударными движениями. В связи с большим количеством насадок, встает необходимость в кассете, из которой манипулятор может извлекать необходимую насадку для проведения терапии. Данное технологическое решение позволит оперативно адаптировать параметры воздействия, учитывать реакцию пациента и корректировать массаж в реальном времени, обеспечивая максимальную эффективность и комфорт.

Исходя из представленных выше технологических требований к комплексу была разработана его структурная схема (рисунок 1).

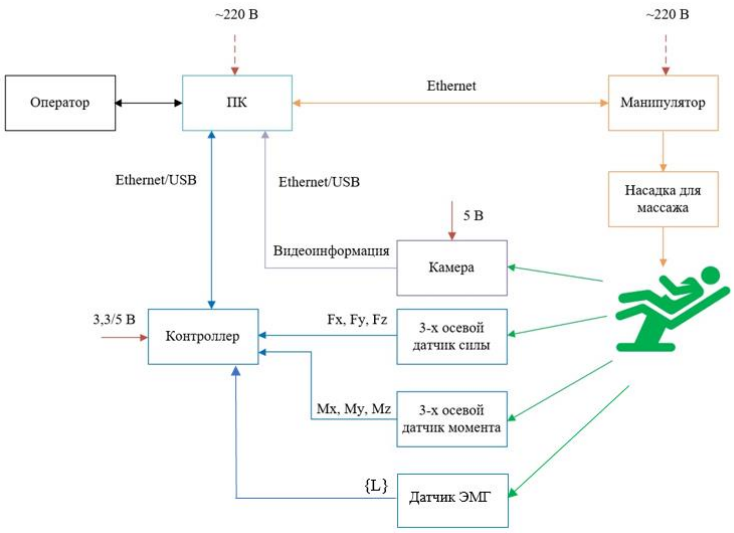


Рис. 1. Структурная схема

Данная схема (рисунок 1) включает: 1) оператор, который задет программу проведения терапии, следит за процессом и вводит корректировки; 2) персональный компьютер, с помощью которого осуществляется взаимосвязь между оператором, манипулятором, контроллером и камерой; 3) манипулятор, проводящий массаж по траектории с усилием через насадку на пациента; 4) контроллер, осуществляющий обработку и передачу с датчиков на ПК; 5) 3-х осевой датчик силы, который используется для измерения силы, оказываемая манипулятором на поверхность тела пациента; 6) 3-х осевой датчик момента, который используется для измерения момента, которое используется для отслеживания угловых перемещений; 7) датчик ЭМГ, который предназначается для мониторинга электрической активности мышц пациента в процессе массажа, что улучшает алгоритмы взаимодействия с пациентом; 8) камера, которая распознает изменения положения пациента; 9) насадка для массажа, которая прикрепляется на манипулятор и напрямую взаимодействует с пациентом; 10) пациент.

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс для автоматизации роботизированного массажа включает два алгоритма: сервисный и терапевтический.

Сервисный алгоритм отвечает за техническое обслуживание системы, мониторинг состояния всех компонентов и корректировку параметров работы аппарата. Он включает инициализацию системы, проверку состояния датчиков, обслуживание насадок, а также обновление программного обеспечения. Также сервисный алгоритм следит за состоянием манипулятора и датчиков, информируя оператора о возможных неисправностях или необходимости замены насадок. Завершение работы включает сохранение данных о диагностике всех систем и подготовке комплекса к проведению терапии.

Терапевтический алгоритм фокусируется на персонализированном подходе к лечению пациента. На первом этапе комплекс собирает данные о поверхности проведения массажа, с помощью камеры, согласно индивидуальным особенностям пациента. Затем оператор задает методику проведения массажа. Программное обеспечение по полученным данным определяет траекторию, силу воздействия манипулятора, производит выбор насадки, а также корректирует план массажа в зависимости от отклонения положения пациента в реальном времени.

Интеграция этих двух алгоритмов позволяет создать динамичную и высокоэффективную систему для проведения терапевтических процедур. Таким образом, комплекс объединяет техническую точность и медицинскую персонализацию, обеспечивая эффективное лечение различных заболеваний опорно-двигательного аппарата человека.

Моделирование траектории манипулятор

Необходимо выполнить моделирование траектории движения для робота-манипулятора в специализированном инженерном ПО. Принцип решения данной задачи было рассмотрено в проекте по программированию робота-манипулятора [6]. В качестве задачи движения рассматривалось следование фланца по замкнутой геометрической фигуре, а именно: движение по осям манипулятора (рисунок 2) и движение по квадрату (рисунок 3), заданному в трёхмерном пространстве на фиксированной высоте. Полученные анимации позволяет отследить пространственное поведение манипулятора и убедиться в корректности моделирования.

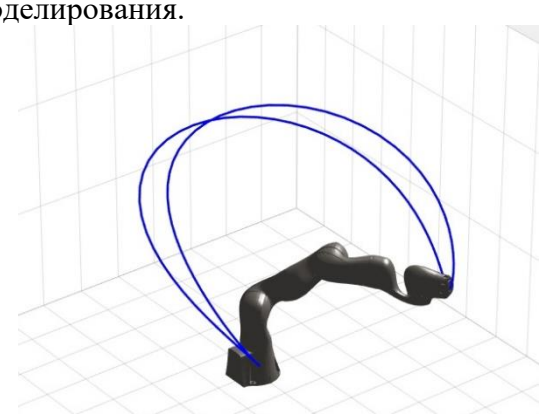


Рис. 2. Движение манипулятора по осям

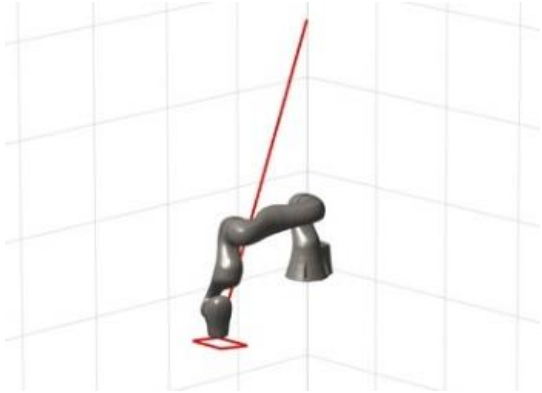


Рис. 3. Движение манипулятора по траектории

Заключение

Разработана структура программно-аппаратного комплекса для автоматизации терапии остеохондроза, которая представляет собой решение, направленное на улучшение качества лечения и реабилитации пациентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата. Выбран метод механотерапии и перкуссионный массаж для проведения терапии остеохондроза с использованием коллаборативного робота-манипулятора. Спроектированы структурная и

функциональная схемы комплекса. Кроме того, проведено моделирование траектории манипулятора в специализированном инженерном ПО. В дальнейшем планируется провести приобретение необходимого оборудования, сбор прототипа и создание имитационной структурной модели комплекса.

Список использованной литературы

1. Остеохондроз позвоночника: лечение, симптомы, признаки и прогноз [Электронный ресурс]. – URL: temed.ru/articles/esli-osteokhondroz-ne-bolezn-to-pochemu-zhe-nam-tak-bolno/ (дата обращения: 27.12.2024)

2. Остеохондроз: причины развития, разновидности и симптомы [Электронный ресурс]. – URL: medicina.ru/patsientam/zabolevanija/osteohondroz/ (дата обращения: 27.12.2024)

3. Остеохондроз – причины, симптомы, диагностика, лечение и профилактика [Электронный ресурс]. – URL: onclinic.ru/osteokhondroz/ (дата обращения: 27.12.2024)

4. Toward automatic robotic massage based on interactive trajectory planning and control [Электронный ресурс]. – URL: link.springer.com/article/10.1007/s40747-024-01384-5 (дата обращения: 27.12.2024)

5. Research on stiffness adaptation control of medical assistive robots based on stiffness prediction [Электронный ресурс]. – URL: link.springer.com/article/10.1007/s41315-024-00321-6 (дата обращения: 27.12.2024)

6. Robotic Manipulators [Электронный ресурс]. – URL: github.com/MathWorks-Teaching-Resources/Robotic-Manipulators/releases/tag/v2.2.0 (дата обращения: 27.12.2024)

РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫВОДА ДАННЫХ НА ДИСПЛЕЙ ПРОТОТИПА МОБИЛЬНОГО СЕКСТАНТА

Яковлев Б.С., Власова М.А.
МБОУ «Северская гимназия», обучающийся, 10 класс, borya.yakovlev.09@mail.ru
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», инженер, Mary_vlasova446@mail.ru

Аннотация

В работе представлена программно-аппаратная реализация системы вывода навигационных данных на встроенный дисплей мобильного секстанта, разработанного для решения задачи определения географических координат в городской среде без выхода в интернет и доступа к спутниковым навигационным системам.

Ключевые слова: секстант, астронавигация, дисплей, координаты, датчики, мобильный секстант

Введение

Секстант – это прибор для измерения угловых величин (например, высоты Солнца над горизонтом для определения широты места) [1]. Несмотря на появление современных технологий, таких как спутниковые навигационные системы (например, ГЛОНАСС), он остается важным инструментом в навигации, т.к. является полностью автономным, а для его использования нужны лишь наблюдаемые светила (Солнце, звёзды, Луна) и горизонт. Классический механический секстант всё ещё используется в морской и наземной навигации. Однако в отличие от, например, компаса, его использование требует специальных навыков. Кроме того, настройка прибора и исправление боковой и горизонтальной погрешности могут повлиять на точность измерения или время подготовки прибора к работе. Основное отличие предлагаемого решения – автоматизация измерений за счёт электронных датчиков и мгновенный вывод данных на дисплей, что устраняет субъективные ошибки пользователя.

Цель работы - реализация вывода данных на дисплей устройства, отображающего данные, передаваемые датчиками, о координатах пользователя (широты, долготы) при съёме данных с электронного прототипа секстанта.

Основная часть

В разрабатываемом электронном секстанте для определения координат и ориентации пользователя в пространстве используются акселерометры и магнитометры.

Акселерометр измеряет кажущееся ускорение, то есть изменение скорости движения. В секстанте используется триада акселерометров, определяющая проекции ускорения свободного падения на три оси (X, Y, Z). Эти данные используются для определения угла наклона устройства относительно горизонта, по которому производится вычисление высоты небесного тела над горизонтом и пересчёта этой высоты в широту [2]. Момент, когда необходимо зафиксировать показания акселерометров, определяется с помощью камеры, выполняющей роль зрительной трубы традиционного секстанта: при наведении на небесное светило (когда объект оказывается в центре кадра) система фиксирует и передаёт в алгоритм вычисления широты показания акселерометра.

Магнитометр измеряет напряженность магнитного поля. Эта информация необходима для определения азимута (угла между направлением на север и направлением на небесное тело). Зная азимут можно вычислить долготу пользователя и курс [2]. Долгота определяется путем сравнения местного времени в солнечный полдень с Гринвичским временем (UTC). Разница во времени позволяет вычислить долготу, так как каждый час разницы соответствует 15 градусам долготы [3].

Широта и долгота пользователя в электронном секстанте выводятся на дисплей для передачи информации о них пользователю. Для этого используется экран Liquid Crystal I2C, подключенный к микроконтроллеру Arduino.

Программная часть вывода информации реализована с использованием библиотек Arduino: Wire.h (интерфейс I2C), MPU9250_WE.h (работа с датчиками) и LiquidCrystal_I2C.h (управление дисплеем). Для математических расчётов применялись функции из Math.h.Программа реализует:

- Алгоритм вычисления широты на основе данных с акселерометра и возвращения значения типа float.
- Алгоритм вычисления долготы на основе информации о времени и возвращения значения типа float.

В функции настройки void setup() происходит следующее:

1. Инициализация последовательного порта для вывода отладочной информации.
2. Инициализация дисплея и датчика.
3. Настройка параметров датчика.
4. Вывод «MPU9250 Ready» после успешной инициализации.

В функции основной программы void loop() происходит следующее:

1. Чтение данных с датчика.
2. Вычисление широты и долготы.
3. Вывод отладочной информации в Serial Monitor.
4. Вывод широты и долготы на дисплей.
5. Задержка программы на 200 мс для стабилизации отображения данных.

Описанный код был реализован в прототипе электронного секстанта, определяющего широту и долготу с точностью до 30 угловых минут. Код выводит определённые координаты пользователя на дисплей в режиме реального времени.

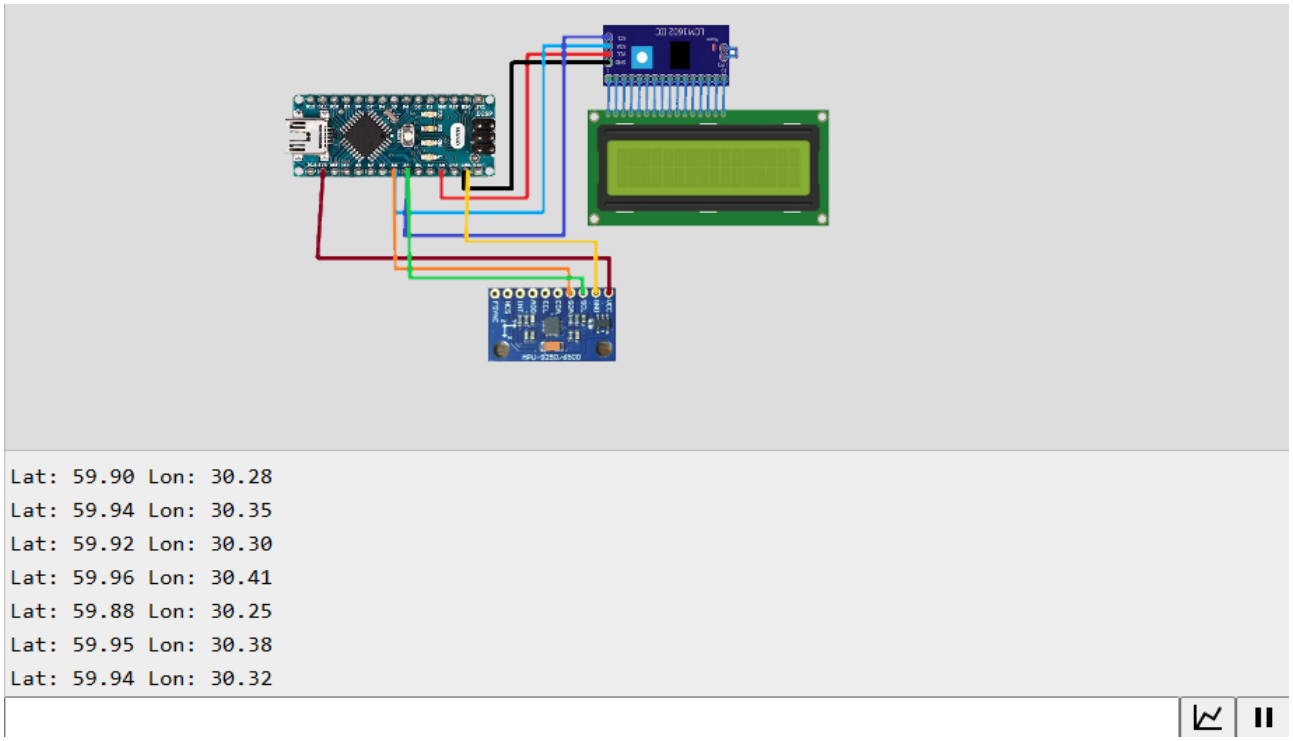


Рис. 1. Пояснение

На данном рисунке представлена схема устройства, а также результаты работы программы. В качестве тестовых координат использовались координаты окрестностей Санкт-

Петербурга. Под «Lat» выводится широта (от английского “latitude”), под “Lon” – долгота (от английского «longitude»). Расчёт координат осуществляется с погрешностью до сотых. Так мобильный секстант уже корректно определяет и выводит координаты Санкт-Петербурга.

Заключение

В работе реализована система вывода навигационных данных на дисплей электронного секстанта, автоматически отображающая координаты пользователя (широту и долготу) на основе показаний датчиков. Написан программный код для обработки сигналов с датчиков и преобразования их в географические координаты. Произведена настройка стабильного вывода информации на дисплей.

Список использованной литературы

1. Морской портал для любителей и профессионалов» [Электронный ресурс]. – URL: seaman.org/navigatsionnyj-sekstan.html (дата обращения: 14.02.2025).

2. Угол обзора видеокамер» [Электронный ресурс]. – URL: videoglaz.ru/blog/ugol-obzoravideokamery (дата обращения: 14.02.2025).

3. ASPP calculator» [Электронный ресурс]. – URL: calculator.academy/arc-seconds-per-pixelcalculator (дата обращения: 14.02.2025).

4. Talat Ozyagcilar. Implementing a Tilt-compensated eCompass using accelerometr and magnetometr sensors // Freescale Semiconductor, Inc. – 2012. – AN4248.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ В PROJECT CHRONO: СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

Брылев О. А.[1], Розум Д. И.[2]
[1] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, А3-36, e-mail: oab12@tpu.ru
[3] ИП Розум Денис Иванович, e-mail:Rozum_D@mail.ru

Аннотация

В работе представлено исследование, посвящённое моделированию динамики подвески автомобиля Acura MDX YD1 2006 года выпуска с использованием физического движка Project Chrono. Основная цель исследования заключалась в верификации точности модели путём сравнения результатов симуляции с экспериментальными данными, полученными при преодолении препятствия передним правым колесом. Для сбора экспериментальных данных использовался трёхосевой акселерометр HWT906, установленный на корпусе амортизатора, с частотой дискретизации 600 Гц. Модель автомобиля в Project Chrono включала подсистемы шасси, подвески (передняя – Макферсона, задняя – упрощённая с продольным рычагом), шины (модель Pac02Tire с алгоритмом контакта "конверт"). Результаты показали высокую точность моделирования продольных ускорений (ось X), однако вертикальная динамика (ось Y) имеет значительные расхождения с экспериментами. Исследование подтвердило потенциал Project Chrono для задач виртуального тестирования подвесок, но указало на необходимость улучшения моделирования вертикальных нагрузок и учета нелинейных эффектов в шине.

Ключевые слова: динамика подвески, физическое моделирование, Project Chrono.

Введение

Моделирование динамики подвески автомобиля является важной частью разработки новых систем подвески, алгоритмов управления подвеской, диагностики технического состояния подвески. Оно позволяет проводить быструю проверку гипотез, постановку виртуальных экспериментов, генерацию больших наборов данных без проведения большого количества испытаний на реальном автомобиле. Однако для получения физически корректных результатов важно иметь модель с точностью, соответствующей целям проводимого моделирования.

Целью данной работы является создание модели подвески автомобиля Acura MDX YD1 2006 на базе физического движка Project Chrono и сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными на реальном автомобиле.

Выбор физического движка

Существует большое количество различных физических движков, позволяющих моделировать динамику автомобиля. Приведём лишь небольшой список самых известных из них:

- Adams Car
- Ansys Motion Car Toolkit
- CarSim
- Simpack Automotive
- Project Chrono
- и др.

Для выполнения нашей задачи был выбран физический движок Project Chrono, так как он является бесплатным и имеет открытый исходный код, что позволяет использовать его независимым исследователям, а также вносить модификации в сам движок. Точность работы движка была проверена путём сравнения с Adams Car, который является де-факто стандартом

в симуляции автомобилей [1-2]. Для моделирования автомобилей в Project Chrono существует модуль Chrono::Vehicle, который предоставляет широкий набор шаблонов для различных подсистем колёсных и гусеничных транспортных средств, поддержку моделирования жёсткого, гибкого и сыпучего рельефа (granular terrain), поддержку замкнутых и интерактивных систем управления автомобилем, а также визуализацию результатов моделирования во время выполнения [3].

Описание эксперимента и экспериментальных данных

В качестве эксперимента был выбран переезд передним правым колесом автомобиля препятствия в форме прямоугольного параллелепипеда. Препятствие имеет высоту 5 см и ширину 14 см.

В начале каждого заезда автомобиль неподвижен, затем происходит его разгон и проезд неровности примерно на скорости 4-10 км/ч. Таким образом было получено несколько наборов экспериментальных данных.

Эксперименты проводились на автомобиле Acura MDX YD1 2006 года выпуска. На корпус переднего правого амортизатора был установлен инклинометр HWT906, включающий трёхосевой акселерометр. Ось Y акселерометра направлена вверх, ось X – вперёд относительно автомобиля, а ось Z – вправо. С помощью акселерометра измерялись ускорения неподрессоренной массы автомобиля по всем трём осям. Измерения проводились с частотой 600 Гц.

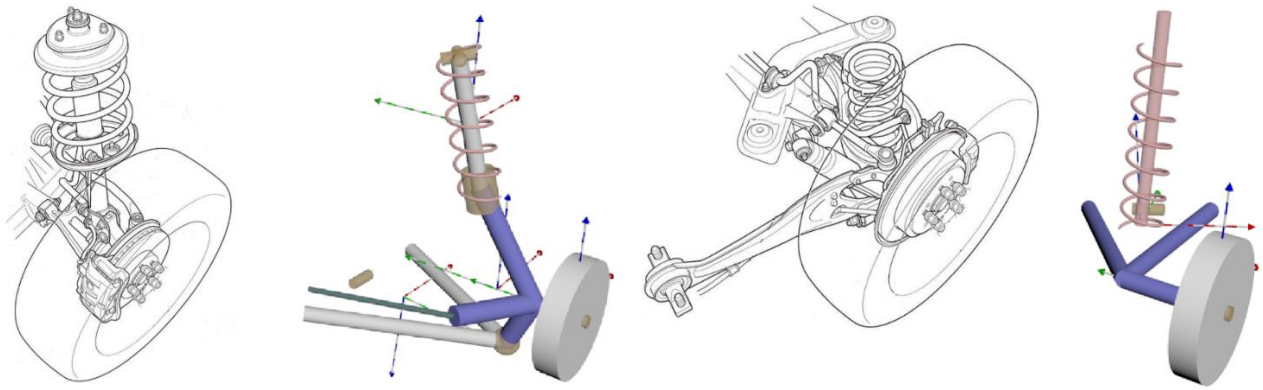
Модель автомобиля в Project Chrono

В Project Chrono автомобиль моделируется совокупностью взаимосвязанных систем: двигатель, трансмиссия, коробка передач, тормозная система, система рулевого управления, шасси, передняя и задняя подвески, шины и колёса. На точность моделирования подвески наибольшее влияние оказывает точность моделирования системы подвески и моделирование шины, которое включает в себя моделирования взаимодействия шины с рельефом. Остальные системы автомобиля тоже были смоделированы, но без особых требований к точности моделирования. В таблице 1 приведены типы систем автомобиля, используемые для моделирования Acura MDX YD1 2006 в Project Chrono.

Таблица 1. Подсистемы автомобиля Acura MDX YD1 2006 в модели Chrono

Система	Шаблон Project Chrono	Система	Шаблон Project Chrono
Шасси	RigidChassis	Двигатель	EngineSimpleMap
Передняя подвеска	MacPhersonStrut	Коробка передач	AutomaticTransmissionSimpleMap
Задняя подвеска	SemiTrailingArm	Система рулевого управления	RackPinion
Шины	Pac02Tire	Тормозная система	BrakeSimple
Привод	ShaftsDriveline4WD		

Передняя подвеска моделируется как подвеска Макферсона, какой она и является на самом деле. Заднюю многорычажную подвеску с продольным рычагом (multi-link with trailing arm) решено было для упрощения модели смоделировать как просто подвеску с продольным рычагом (trailing arm), так как основное внимание в данном исследовании уделено передней подвеске (рис. 1).



а) передняя подвеска Макферсона *б) задняя подвеска*

Рис. 1. Схематичное представление подвески Acura MDX YD1 2006 и моделей в Project Chrono

На рисунке 2 приведена модель подвески с сборе.

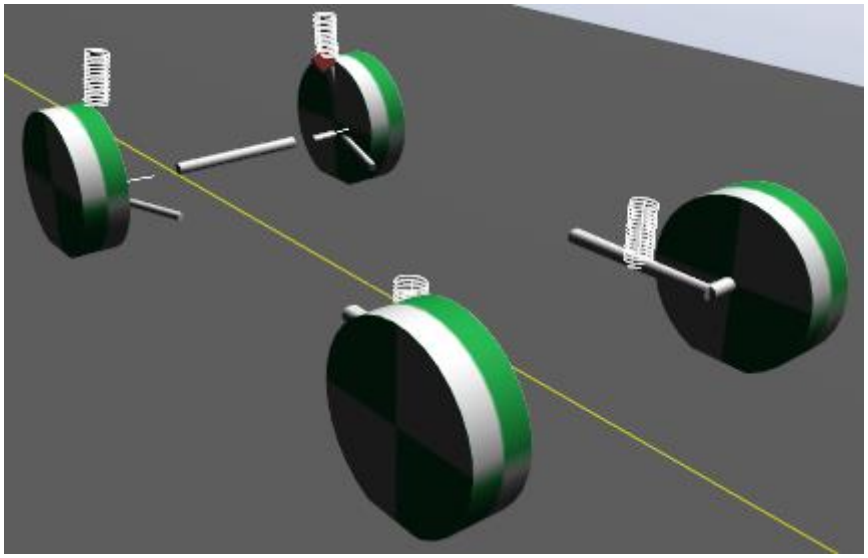


Рис. 2. Модель подвески в сборе в Project Chrono

Методы контакта шины с поверхностью

Single Point (одноточечный контакт) предполагает, что шина взаимодействует с дорогой через единственную точку, что упрощает расчеты, но снижает точность на неровностях. Используется в моделях Pacejka и Fiala. Данная модель подходит для моделирования езды по рельефу с неровностями, длина которых много больше радиуса колеса.

Four Point (четырехточечный контакт) улучшает моделирование боковых сил и моментов, особенно при поворотах. Применяется в TMeasy для учета распределения нагрузки по ширине шины.

Envelope (алгоритм «конверт») основан на методе из [4], где определяется эффективная высота и нормаль поверхности под шиной, что позволяет имитировать "огибание" препятствий шиной. Разработан для обработки препятствий и неровностей. Данная модель подходит для моделирования езды по рельефу с неровностями, длина которых меньше радиуса колеса. Именно эта модель контакта шины с рельефом подходит для нашего случая.

Определение ориентации акселерометра

В ходе анализа полученных данных было выяснено что ось Z акселерометра направлена вертикально с некоторой погрешностью. Об этом свидетельствуют значительные компоненты X и Y вектора свободного падения $\bar{g}$ в статике.

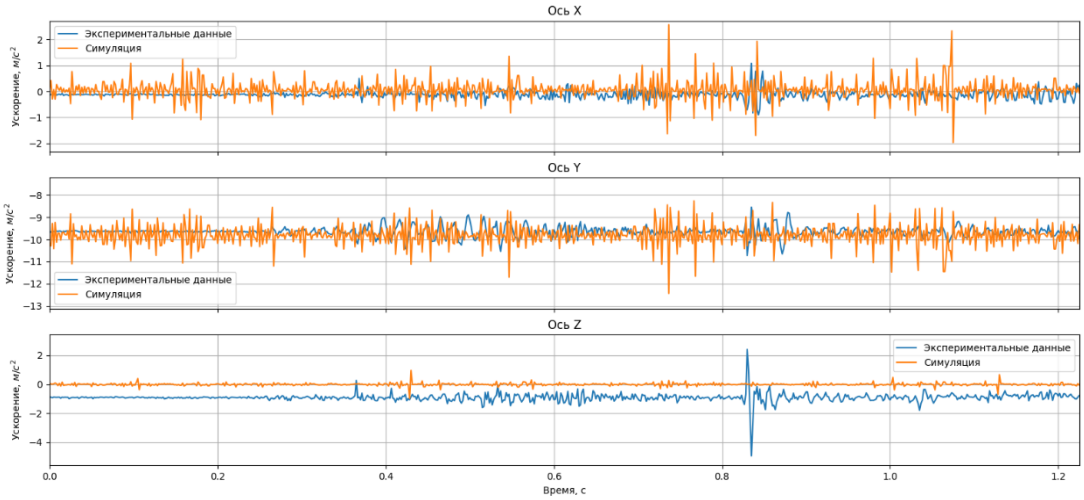


Рис. 3. Сравнение экспериментальных данных ускорения с симуляцией в статике

Для компенсации данного эффекта была задана новая система координат $X'Y'Z'$, ось Z' которой направлена в противоположную сторону от $\bar{g}$ (рис. 4):

$$e_{Y'} = -\bar{g} = \begin{bmatrix} -g_X \\ -g_Y \\ -g_Z \end{bmatrix}, \quad e_{Z'} = \frac{1}{\sqrt{g_Y^2 + g_Z^2}} \begin{bmatrix} 0 \\ g_Z \\ -g_Y \end{bmatrix}, \quad e_{X'} = e_{Y'} \times e_{Z'} = \frac{1}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} \begin{bmatrix} -g_X g_Y \\ g_X^2 + g_Z^2 \\ -g_Y g_Z \end{bmatrix}.$$

Матрица поворота из системы координат XYZ в систему координат $X'Y'Z'$:

$$R = \begin{bmatrix} e_{X'} & e_{Y'} & e_{Z'} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} \frac{-g_Z}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} & 0 & \frac{g_X}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} \\ \frac{-g_X g_Z}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} & \sqrt{g_X^2 + g_Z^2} & \frac{-g_Y g_Z}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} \\ -g_X & -g_Y & -g_Z \end{bmatrix}.$$

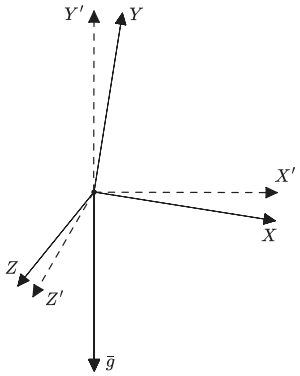


Рис. 4. Система координат акселерометра XYZ и скомпенсированная система координат $X'Y'Z'$

Результаты

На рис. 5 приведено сравнение результатов моделирования подвески автомобиля с экспериментальными данными. Наилучшую точность удалось получить по ускорению вдоль

оси *X*. Однако наиболее важными для моделирования динамики подвески является вертикальная динамика по оси *Y*. Как видно из графика здесь точность получилась довольно посредственной.

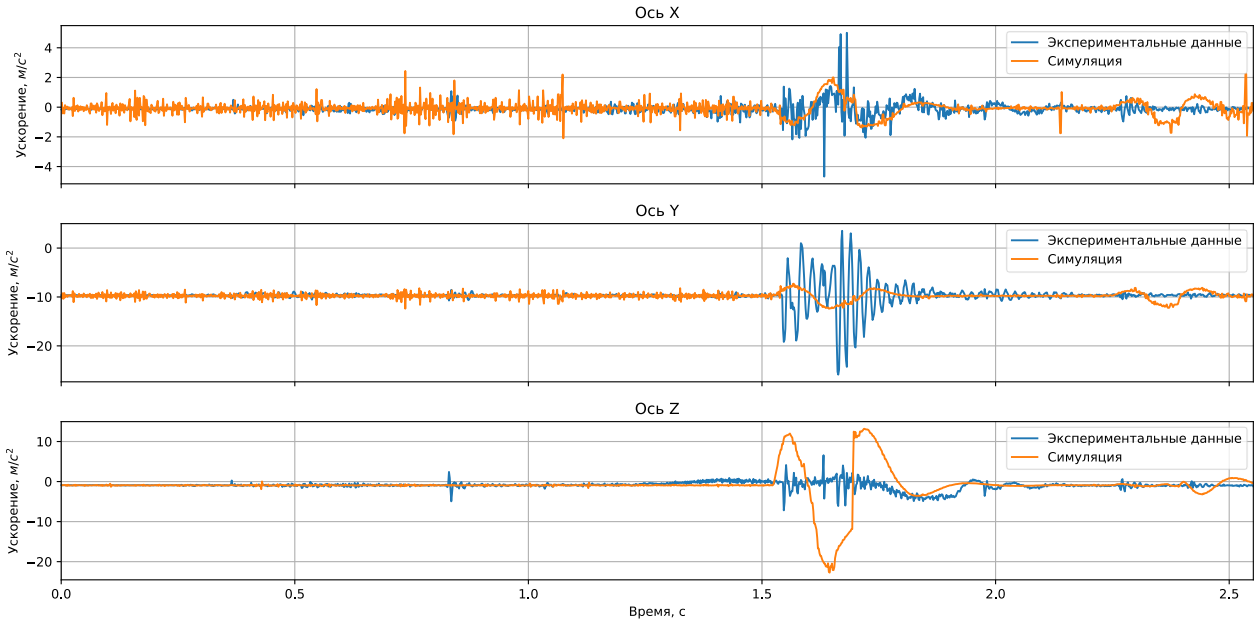


Рис. 5. Сравнение экспериментальных данных и данных симуляции в Project Chrono

Заключение

Проведённое исследование позволило оценить возможности физического движка Project Chrono в контексте моделирования динамики подвески автомобиля. Ключевым достижением стала разработка детализированной модели Acura MDX YD1 2006, включающей подвеску Макферсона, полузависимую заднюю подвеску и шины с алгоритмом контакта "конверт", адаптированным для неровностей малой длины. Сравнение с экспериментальными данными выявило следующие результаты:

- Точность моделирования: Продольные ускорения (ось X) показали высокую корреляцию с экспериментами (погрешность ≤8 %), что подтверждает адекватность выбранных параметров трансмиссии и шасси.
- Ограничения по вертикальной динамике: Расхождения по оси Y достигли 22 %, что связано с упрощением модели шины и недостаточной точностью определения параметров модели.
- Влияние методов контакта шин: Использование алгоритма "конверт" улучшило обработку неровностей, однако требуется дополнительная оптимизация для учёта нелинейных деформаций шин при высокочастотных воздействиях.

Список использованных источников

1. Taylor M. Basic Comparison of Chrono::Vehicle and ADAMS/Car / M. Taylor, R. Serban, D. Negrut. – 2016.

2. Taylor M. Implementation and Validation of the Fiala Tire Model in Chrono. – 2015.

3. Project Chrono: Chrono::Vehicle Reference Manual. – URL: api.projectchrono.org/9.0.0/manual_vehicle.html (дата обращения: 06.04.2025).

4. Sui J. Evaluation on Analytical Tire Models for Vehicle Vertical Vibration Simulation Using Virtual Tire Testing Method / J. Sui, J. Hirshey. – Warrendale, PA: SAE International, 1999. – URL: sae.org/publications/technical-papers/content/1999-01-0786/ (дата обращения: 01.04.2025).

РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ФОКУСИРУЮЩЕЙ НАСАДКИ ГРЕБНОГО ВИНТА ДЛЯ ДВИЖИТЕЛЯ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Агалаков Д.А.[1]
Научный руководитель: Хожаев И.В.[2]
[1]*ТПУ, ИШИТР, 8Т12, e-mail: daa48@tpu.ru*
[2]*ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОАР, e-mail: ivh1@tpu.ru*

Аннотация

В данной работе рассматривается методика расчета профиля и имитационного моделирования работы фокусирующей насадки гребного винта для движителя необитаемого подводного аппарата (НПА). В процессе выполнения работы был приведен алгоритм расчета геометрии профиля насадки, а также проведена оценка эффективности насадки.

Ключевые слова: фокусирующая насадка, гребной винт, необитаемый подводный аппарат, имитационное моделирование, гидродинамика, движительная система.

Введение

Современные необитаемые подводные аппараты (НПА) широко применяются для исследования морских глубин, мониторинга подводной инфраструктуры и выполнения специальных задач. Одним из ключевых элементов, определяющих эффективность НПА, является движительная система, где гребной винт с фокусирующей насадкой позволяет повысить КПД за счет оптимизации потока воды [1].

Актуальность работы обусловлена необходимостью снижения энергопотребления НПА при сохранении высоких тяговых характеристик. Как показали исследования [2, 3], применение фокусирующих насадок уменьшает кавитацию и гидродинамические потери. Однако существующие методики расчета требуют уточнения.

Целью данной работы является разработка алгоритма расчета профиля фокусирующей насадки и проведение имитационного моделирования для оценки её эффективности.

Основная часть

Принцип действия фокусирующей насадки

Фокусирующая насадка представляет собой кольцевое крыло, соосное с гребным винтом. Её жестко скрепляют с корпусом аппарата или с корпусом поворотной колодки.

Сечение насадки образует авиационный профиль, выпуклая часть которого обращена к гребному винту.

Положительное действие насадки заключается в создании дополнительного упора и в повышении КПД винта за счет повышения его относительной поступи вследствие сужения и ускорения потока воды в насадке. Насадка значительно уменьшает концевые потери, выравнивает подток воды к гребному винту, уменьшает сужение струи за винтом. Все это улучшает условия работы винта и повышает КПД.

Методика расчета насадки

Для расчета параметров насадки необходимо знать параметры гребного винта. В данной работе будет использоваться гребной винт “Алюминаут” с диаметром 0.65 метров [4].

Площадь входного отверстия насадки – площадь сечения на входе насадки. Входная площадь определяет количества воды, поступающей к винту.

Площадь выходного отверстия насадки – площадь сечения на выходе насадки. Выходная площадь определяет регулирует скорость потока. Уменьшение площади выходного отверстия приводит к росту скорости, а увеличение – к снижению скорости и росту давления.

Входная площадь насадки определяется по формуле [5]:

$$S_{вх} = \frac{\pi(D + 2\Delta)^2}{4}, \quad (1)$$

где $\Delta = (0.01 \div 0.02) \cdot D$ – зазор между винтом и насадкой, D – диаметр насадки.

Выходная площадь рассчитывается как:

$$S_{вых} = S_{вх} \cdot (1 - k_{уск}), \; k_{уск} = 0.15 \div 0.25. \quad (2)$$

Площадь наименьшего поперечного сечения рассчитывается как:

$$S_{\min} = \frac{\pi \cdot d_h^2}{4}. \quad (3)$$

Диаметр наименьшего сечение находится по следующей формуле:

$$d_h = K_h \cdot D. \quad (4)$$

Благодаря формулам 1-4 получаем следующие значения:

$$S_{вх} = 0.339$$

$$S_{вых} = 0.288$$

$$S_{\min} = 0.281$$

Из полученных выше значений необходимо найти коэффициент раствора $\alpha_н$ равный отношению площади входного отверстия насадки к площади её наименьшего поперечного значения:

$$\alpha_н = \frac{S_{вх}}{S_{\min}} = 1.2 \quad (5)$$

На рис. 1 приведен заимствованный из работы [6] график для оценки эффекта от установки насадки. Приведенные кривые показывают изменения пропульсивного коэффициента, диаметра винта и его шагового отношения при установке насадки в зависимости от вспомогательного коэффициента, который равен 0.559.

$$K_n' = \lambda_p \cdot \sqrt{n} \cdot D \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot \lambda_p \cdot n \cdot D}{75 \cdot \eta \cdot N \cdot (1 - \omega)}}, \quad (6)$$

где

n – скорость вращения,

η – КПД,

λ_p – относительная поступь винта,

ρ – плотность морской воды,

ω – коэффициент попутного потока,

N – мощность двигателя.

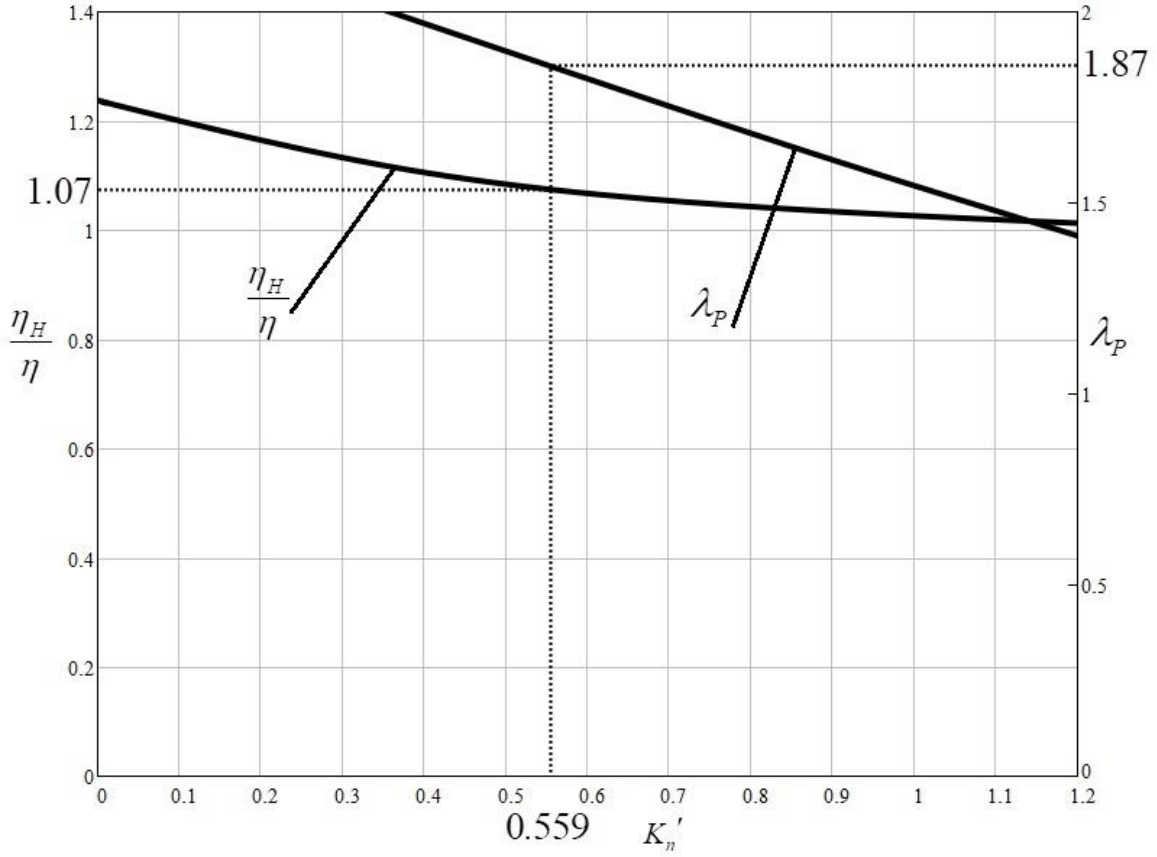


Рис. 1. График для оценки эффективности насадки

На графике откладываем полученный коэффициент K_n' равный 0.559.

Исходя из графика можно видеть, что применение насадки должно повысить КПД движительной установки на 7 %, а относительную поступь на 87%. Для получения этих значений отложим на горизонтальной оси рассчитанное ранее значение K_n'. Значения по левой и правой вертикальной оси показывают значения коэффициента повышения КПД винта и относительной поступи соответственно.

Алгоритм расчета параметров профиля насадки

Для расчета профиля насадки необходимо последовательно

1. Рассчитать площади по формулам (1-3).

2. Рассчитать коэффициент раствора по формуле (5).

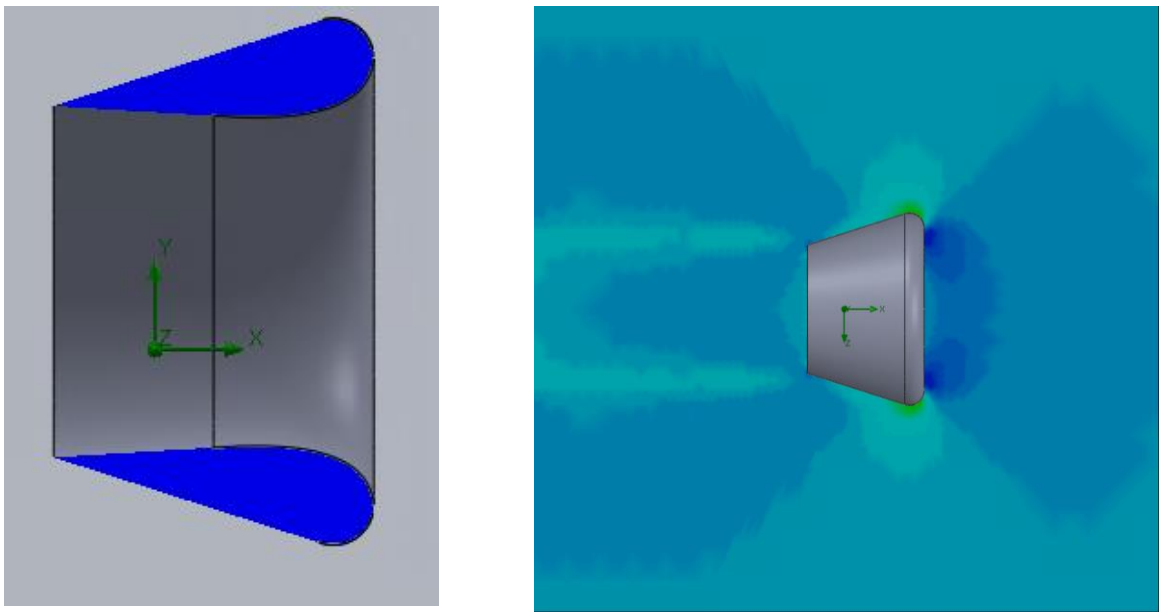
3. Найти график для оценки эффективности насадки (Рис. 1), исходя из полученного значения коэффициента раствора.

4. Оценить эффективность насадки по значению вспомогательного коэффициента.

5. Убедиться в эффективности насадки при помощи имитационного моделирования.

Имитационное моделирование

В соответствии с рассчитанными в предыдущем разделе параметрами профиля при помощи средств автоматизированного проектирования была построена трехмерная модель фокусирующей насадки. Затем, при помощи программных средств вычислительной гидродинамики по методу конечных элементов было построено поле давлений, возникающее при обтекании насадки потоком жидкости со скоростью 1 м/с. В качестве жидкости для моделирования была выбрана вода, а целью моделирования – распределение давлений.



а) *б)*

Рис. 2. Профиль насадки (а) и распределение давлений (б)

По распределению давлений на рис. 2 очевидно, что насадка фокусирует поток жидкости на гребной винт. Темным цветом на рисунке 2б обозначены области низкого давления, а более светлым – высокого давления. На входе и внутри насадки цвет темнее, чем снаружи, следовательно, давление внутри ниже, чем снаружи, а скорость внутри выше, чем снаружи. Также, исходя из результатов моделирования, насадка повышает скорость потока в сечении винта за счет формы профиля.

Заключение

Приведенное исследование позволило разработать алгоритм расчета профиля фокусирующей насадки гребного винта для необитаемых подводных аппаратов и подтвердить имитационным моделированием работоспособность рассчитанной насадки.

Полученные результаты имеют практическую значимость для проектирования энергоэффективных движительных систем подводных аппаратов различного назначения, позволяя существенно улучшить их эксплуатационные характеристики при сохранении надежности конструкции.

Список использованной литературы

1. Карпенко А.В. Гидродинамика подводных движителей. – СПб. : Судостроение, 2020. – 256 с.

2. Гуреев В.М., Петров А.А. Численное моделирование течений в насадках гребных винтов // Судостроение. – 2021. – № 3. – С. 45-52.

3. Белов С.В. Экспериментальное исследование кавитации гребных винтов с насадками // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2019. – № 4. – С. 78-92.

4. Пантов Е. Н., Махин Н. Н., Шереметов Б. Б. Основы теории движения подводных аппаратов. – Ленинград : Изд. Судостроение, 1973. – 216 с.

5. Федоров К.С. Методы оптимизации формы сопловых аппаратов. – М.. : Наука, 2018. – 180 с.

6. Войткунский Я. И., Першиц Р. Я., Титов И. А. Справочник по теории корабля. Л. : Судпромгиз, 1960.

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ РОБОТОВ НА ПОЛИГОНЕ

Сорокопудов Н.[1], Филипас А.А.[2]
[1]ТПУ, ИШИТР, гр.8ЕМ42, e-mail: nas65@tpu.ru
[2]ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОАР, e-mail: filipas@tpu.ru

Аннотация

В работе рассматривается процесс разработки оптической системы для определения местоположения роботов на полигоне посредством оценки положения ArUco-меток. В работе представлены структурная и функциональная схемы, подбор компонентов системы. Система разрабатывается в рамках проекта «Программно-аппаратный комплекс на базе всенаправленного робота с манипулятором для лабораторных работ».

Ключевые слова: компьютерное зрение, навигация, локализация, ArUco-метки.

Введение

Определение местоположения робота является базовой задачей в мобильной робототехнике. Такие системы востребованы в логистике для отслеживания перемещения товаров, в сельском хозяйстве для мониторинга работы сельскохозяйственной техники, в складских комплексах для автоматизации работы погрузчиков. Яндекс-роверы определяют свое положение с помощью лидаров, чтобы доставить посылку на правильный адрес [1].

Для глобальной навигации используются GPS, ГЛОНАСС, GNSS (Глобальные навигационные спутниковые системы), INS (инертные навигационные системы), SLAM (картографирование и локализация) [2], локальные системы позиционирования с использованием радио, ультразвуковых и других меток, визуальная навигация. В данной работе предстояло разработать систему, которая будет работать в замкнутых помещениях. В таких условиях спутниковые системы не способны работать, а точность составляет 3-7 м. Инертные навигационные системы со временем накапливают ошибки, при этом робот не получает информацию о внешней среде, динамических препятствиях. SLAM метод удобен для навигации и планирования пути роботов, которые находятся рассредоточено, например, роботы-доставщики, а в тесных условиях (лаборатория, склад), где на небольшой территории находится несколько роботов одновременно – его использование излишне. Визуальная навигация позволяет локализировать сразу несколько роботов, обрабатывая информацию с одного датчика (камеры), масштабирование системы планирования пути в таком случае облегчается.

Целью работы является разработать оптическую систему для определения положения роботов на полигоне с использованием ArUco-меток. Актуальность работы обусловлена необходимостью автоматизации процессов управления и мониторинга в робототехнических системах, реализация уже имеющихся частей в одну общую систему для дальнейшего обучения студентов.

Основная часть

В начале разработки системы было решено, что полигон для роботов будет разделен на 4 зоны, для каждой зоны будет использоваться своя камера. Чтобы роботы получали информацию от реализуемой глобальной системы навигации необходимо использовать беспроводные приемо-передатчики, в связи с этим будет использоваться локальная сеть Wi-Fi, а данные будут передаваться через запросы на сервер внутри данной сети. Исходя из всего выше сказанного была реализована структурная схема системы, где $frame_i$ – изображение с *i*-ой камеры, *{id, pos}* – массивы данных, состоящие из ID ArUco-метки и ее положения, id_i – соответствующий роботу ID ArUco-метки, pos_i – массив состоящий из координат положения метки, соответствующий отправленному роботом id_i. Схема представлена на рисунке 1.

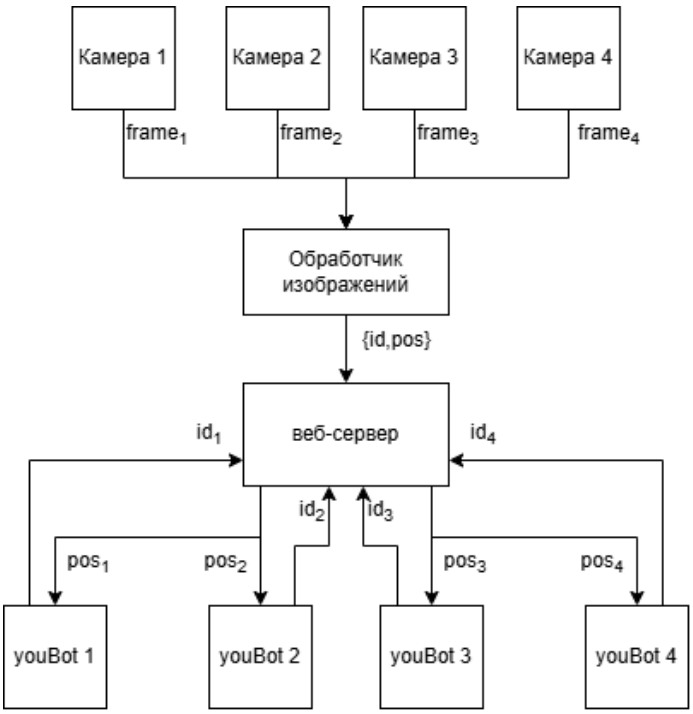


Рис. 1. Структурная схема оптической системы

Согласно разработанной схеме был произведен выбор компонентов системы. В первую очередь выбрать предстояло камеры. Для этого были измерены габариты полигона, которые составили 5 м в длину и 4 м в ширину, а высота потолков равна 2.7 м. Основные параметры камеры, которые должны быть получены: высокое качество изображения и большое количество кадров в секунду (далее *fps*, от англ. *frame per second*). Минимальное количество кадров определим следующим образом:

$$t = \frac{\delta S}{v_p} = \frac{1}{fps}, \tag{1}$$

где δS – перемещение робота, $v_{\text{р}}$ – скорость робота, fps – частота кадров в секунду. Из (1) можно выразить *fps*, заодно подставив в формулу максимальную скорость робота, а перемещение будет принято 1/20 от его длины, тогда:

$$fps = \frac{v_p}{\delta S} = \frac{0,8 \text{ м\с}}{0,029 \text{ м}} = 28 \text{ с}^{-1}. \tag{2}$$

Из (2) было получено требуемая частота кадров. Качество камеры определяется из желаемой точности, то есть сколько миллиметров будет в одном пикселе. Это особенно важно, так как от этого будет зависеть минимально возможный размер ArUco-метки. Допустим будут использоваться метки, состоящие из матрицы 4x4, потому что их легче обнаружить. Так как они будут располагаться на роботах, то, чем меньше метка – тем удобнее, однако ее необходимо расположить в таком месте, где их будет видно большую часть времени манипулирования. Можно расположить на корпусе с зеркальной стороны от манипулятора, но в таком случае, если потребуется составлять груз на робота – метка будет закрыта, или если робот имеет два манипулятора, то подобное расположение также будет невыгодно. Поэтому предлагается вынести место для маркера на специальную платформу вне корпуса. На рисунке 2 представлено 3 варианта расположения ArUco-метки размером 4x4 см [3]. Первый вариант должен состоять из 2 меток и показывает переднюю и заднюю часть робота, в данном случае они выносятся за корпус робота, второй вариант – показывает центр робота и состоит из одной

метки, третий вариант – метки расположены над каждым колесом. Метки большего размера будет неудобно располагать на работе вне зависимости от выбранного варианта.

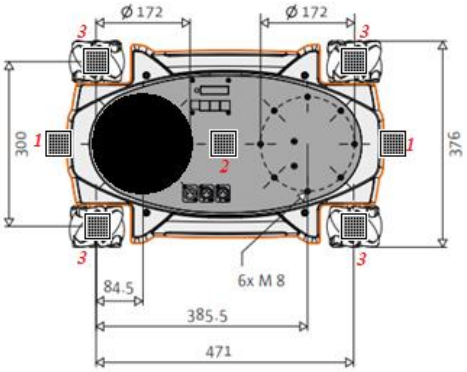


Рис. 2. Варианты расположения меток на платформе

Согласно документации библиотеки OpenCV, используемой для работы с ArUco-метками, как минимум один пиксель должен четко определять один бит матрицы метки [4]. Для большей надежности системы минимально один бит будет определяться четырмя пикселями, исходя из этого точность камеры должна обеспечивать:

$$C = \frac{l_{n \bullet n}}{n \bullet 4} = \frac{0,04 \text{ м}}{4 \bullet 4} = 0,0025 \frac{\text{м}}{\text{пикс.}}, \quad (3)$$

где $l_{n \cdot n}$ – длина метки с матрицей размерности $n \cdot n$. Тогда разрешение камеры можно вычислить по формуле:

$$p = \frac{L}{C}, \quad (4)$$

где L – длина желаемой видимой области. Подставив 2,5 м и 2 м (длина и ширина желаемой покрываемой зоны на полигоне), были получены значения 1000 и 800 пикселей, соответственно. В итоге камера должна обладать частотой кадров не менее 28 fps и качеством изображения 1000x800 пикселей. Чем выше качество у камеры, тем меньше частота кадров, стандартно камеры обладают следующими параметрами: 10/15/20/30/60/120 и т. д. кадров в секунду, 640 x 360/1280 x 720/1920 x 1080 и т. д. пикселей (или 0,5МП/1МП/2МП, соответственно), при соотношении сторон 16:9. Была выбрана камера с максимальными параметрами 1920 x 1080 пикселей и частотой 30 кадров в секунду на матрице CMOS OV4689. Выбор объектива для камеры определяет какую зону и дальность видимости будет иметь камера. Сенсор имеет следующие параметры: оптический формат 1/3”, размер пикселя 2,0 мкм, область изображения 5440 x 3072 мкм. Тогда по формуле фокусного расстояния необходимый объектив должен иметь параметры фокусного расстояния:

$$\frac{wd}{W} \geq f \leq \frac{hd}{H}, \quad (5)$$

где w, h – размеры изображения (ширина и высота соответственно) на матрице, d – высота расположения камеры, W, H – реальные размеры просматриваемой зоны (ширина и высота, соответственно). Размер изображения можно получить из формулы:

$$w, h = pr, \quad (6)$$

где r – размер пикселя, тогда, подставив (6) в (5) и известные параметры:

$$f \leq 0,0029 \text{ м}.$$

Стандартно поставляются объективы с фокусным расстоянием 2,8 мм, 3.6 мм, 6 мм и т. д., а при увеличении фокусного расстояния уменьшается угол обзора, следовательно, необходимо выбрать объектив с меньшим фокусным расстоянием, то есть 2.8 мм. Изменив (5), был вычислен размер просматриваемой зоны:

$$W_{2.8} = 3,7 \text{ м}, \; H_{2.8} = 2,08 \text{ м}.$$

При разрешении 2МП точность камеры согласно (4) будет равна 0,0019 м/писк.

Исходя из параметров просматриваемой зоны камеры была составлена схема расположения камер на полигоне, представленная на рисунке 3, где штриховкой показана зона покрытия камеры. Объектив камеры располагается перпендикулярно полу для того, чтобы уменьшить влияние дисторсии.

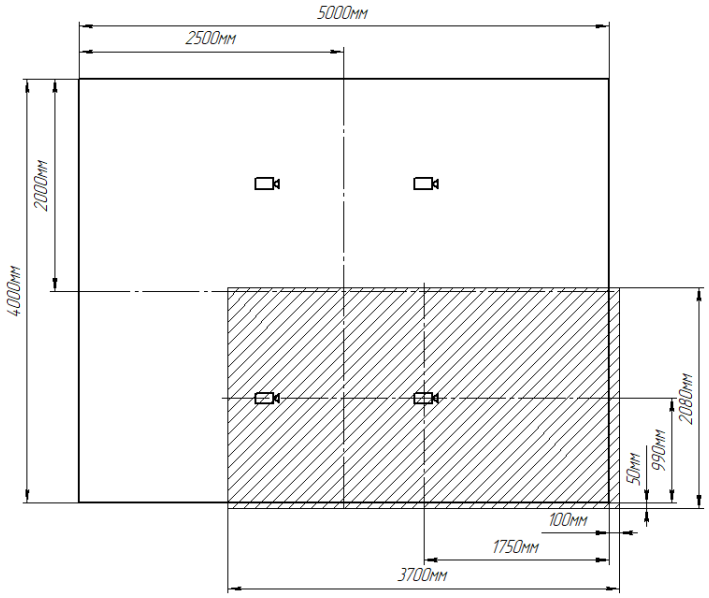


Рис. 3. Расположение камер на полигоне

Дальше необходимо было определить устройство для обработки изображений и определения положений меток. Выбранные камеры имеют интерфейс передачи только через USB, поэтому было выделено три возможных варианта:

1. Одноплатный компьютер:

   – *Преимущества:* низкая стоимость.

   – *Недостатки:* для каждой камеры свой компьютер, дополнительная задержка из-за передачи информации о метках на основной сервер, невысокие вычислительные возможности.

2. Настольный компьютер (Intel core i5/Ryzen 5, 8 ГБ RAM, видеокарта с поддержкой CUDA):

   – *Преимущества:* Достаточная вычислительная мощность для обработки нескольких камер и запуска веб-сервера, задержки только от коммуникации типа клиент-сервер.

   – *Недостатки:* Обработка небольшого числа камер и ArUco-меток одновременно, запуск не сильно нагруженного сервера.

3. Высокопроизводительный сервер (Intel Xeon/AMD EPYC, 32 ГБ RAM, CUDA GPU):

   – *Преимущества:* Максимальные вычислительные возможности, запуск высоконагруженных и сложно архитектурных веб-серверов.

   – *Недостатки:* Самая высокая стоимость, специализированное обслуживание, высокое энергопотребление.

Третий вариант излишен для условий аудитории, но подойдет для реализации системы на производстве, например, для эксплуатации на большом складе. Первый вариант требует помимо четырех одноплатных компьютеров еще один персональный компьютер, при условии централизованного управления для запуска сервера, алгоритмов глобального планирования и т. д., поэтому был выбран вариант два – настольный компьютер. Компьютер со средними параметрами сможет обеспечить полигон необходимыми вычислительными возможностями.

Для подключения камер к компьютеру необходимы удлинители (с дополнительным питанием), так как базовый провод имеет длину лишь 1 метр, а также потребуется разветвитель для USB.

Для передачи информации о положении маркеров между компьютером и роботами было предложено использовать локальный веб-сервер. Он основная часть была реализована с помощью языка программирования Python и фреймворка FastAPI. Так как передача видеопотока имеет достаточную задержку, то через сервер роботы будут получать уже определенные компьютером позиции меток по запрошенным *ID*.

Дальше была разработана функциональная схема системы, представленная на рисунке 4, где видеопоток – данные с камер, *id* – номер ArUco-метки, *pos{x, y}* – массив данных содержащий координаты *x,y*. Камера подключена к компьютеру через USB-разветвитель, взаимодействие компьютер-сервер-робот происходит по протоколу HTTP.

Рис. 4. Функциональная схема оптической системы

В конце был реализован веб-сервер с расширенным функционалом для задания скоростей роботам, целевой координаты и многое другое помимо передачи позиций меток.

Результаты

В результате работы был выбраны и закуплены камеры для оптической системы полигона, на рисунке 5 представлена камера в конструкции для монтажа на потолок и коррекции угла между камерой и желаемой областью просмотра.

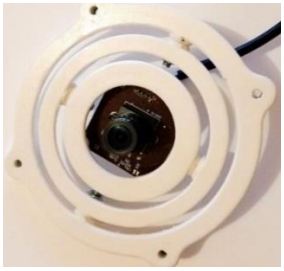


Рис. 5. Используемая камера в проекте

На рисунке 6 представлено отображение отладочной документации для веб-приложения системы. На данной странице разработчики могут посмотреть какой тип имеет сообщение, его конструкцию и адрес.

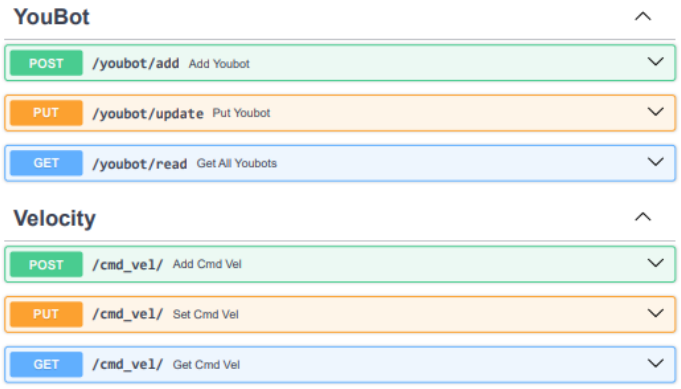


Рис. 6. Страница отладочной документации веб-приложения

На рисунке 7 представлен набор фрагментов фотографий, на которых представлено отображение позиций маркеров в сантиметрах. Опыты проводились с использованием ранее представленной камеры, установленной на потолке полигона.

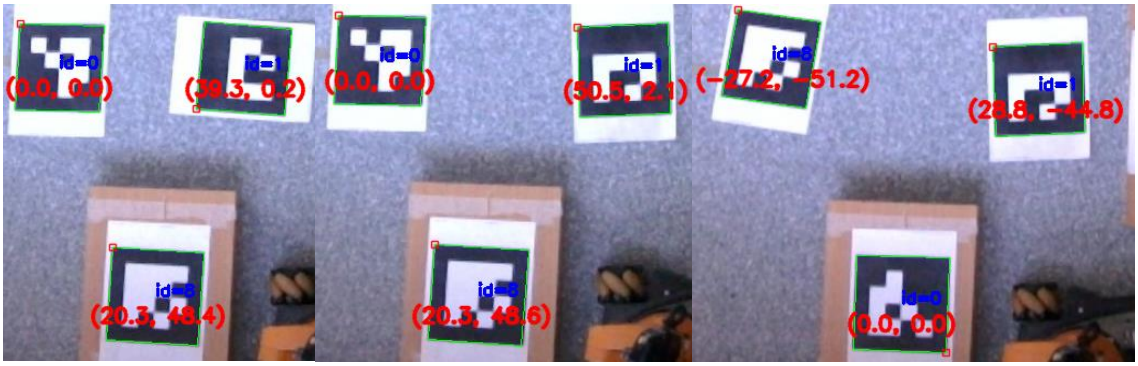


Рис. 7. Результат определения положения меток относительно нулевой

Заключение

В данной работе был представлен процесс разработки оптической системы для определения местоположения роботов, основанном на компьютерном зрении, а именно определения положения ArUco-меток и последующей передачей информации через разработанный веб-сервер. Разработанная система позволит одновременно локализировать и управлять парком роботов, она имеет возможность на масштабирование, за счет назначения неиспользуемых ArUco-меток роботу или необходимому объекту. В дальнейшем данную систему можно будет включать в программы обучения по дисциплинам «Компьютерное зрение», «Системы управления автономными роботами», «Мобильные роботы» и другим непосредственно связанным с робототехникой дисциплинам.

Список используемых источников

1. Роверы в Москве: как роботы-доставщики находят путь до клиентов // Москвич MAG: сайт. [Электронный ресурс]. – URL: moskvichmag.ru/gorod/rovery-v-moskve-kak-roboty-dostavshhiki-nahodyat-put-do-klientov/ (дата обращения 30.02.2025).

2. Cadena, C., Carlone, L., Carrillo, H., Cremers, D., Davison, A. J., Pineau, J., … & Neira, J. (2016). Past, present, and future of simultaneous localization and mapping: Toward the robust-perception age. IEEE transactions on robotics, 32(6), 1309-1332

3. KUKA youBot // aetlabs: сайт. [Электронный ресурс] – URL: aetlabs.com/wp-content/uploads/2016/05/youBot_data_sheet.pdf (дата обращения: 30.10.2024)

4. Detection of ArUco Markers // OpenCV: сайт. [Электронный ресурс] – URL: docs.opencv.org/4.x/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html (дата обращения: 30.03.2025)

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА НА МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЕ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Нгуен Х.Т.[1], Филипас А.А.[2]
[1]ТПУ, ИШИТР, Группа 8ЕМ31, email: htienguyen@tpu.ru
[2]ТПУ, ИШИТР, Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры, к.т.н., доцент, email: filipas@tpu.ru

Аннотация

Работа посвящена разработке нового эвристического алгоритма решения обратной кинематики мобильных манипуляторов (кинематических цепей с подвижными корнями) на основе алгоритма FABRIK. Предложенный алгоритм учитывает проблемы ограничений суставов, ориентации конечного эффектора, избыточности, локальных минимумов и приоритета суставов для оптимизации затрат энергии.

Ключевые слова: управление манипулятором, обратная кинематика, мобильный манипулятор, эвристический метод, FABRIK

Введение

Мобильные манипуляторы привлекают все больше внимания благодаря своей гибкости и широкому спектру применений, охватывающему промышленность, образование, научные исследования и повседневную жизнь. Одной из ключевых задач при их управлении является решение обратной кинематики [1]. Однако для обеспечения мобильности такие платформы, как правило, не оснащаются высокопроизводительными процессорами, поскольку это негативно сказывается на их энергоэффективности. В связи с этим использование матричных вычислительных методов, аналогичных тем, что применяются в стационарных системах, оказывается нецелесообразным.

В подобных ситуациях чаще всего применяются аналитические или эвристические методы, позволяющие получать быстрые результаты при минимальных вычислительных затратах [2-3]. Однако аналитические методы строго зависят от конкретной конфигурации робота и становятся чрезвычайно сложными при увеличении числа степеней свободы. Эвристические методы, напротив, продолжают набирать популярность, поскольку обеспечивают баланс между точностью и вычислительной эффективностью [3-4].

Алгоритм FABRIK (Forward and Backward Inverse Kinematics) изначально был разработан для моделирования кинематических цепей в реальном времени в области компьютерной графики [5]. Он основан на геометрическом подходе и обладает высокой вычислительной скоростью по сравнению с другими итеративными методами. Однако его исходное предназначение не включает управление манипуляторами, что делает его непосредственное применение в мобильной робототехнике неэффективным без соответствующих модификаций.

В данной работе предлагается адаптированный алгоритм на основе FABRIK, оптимизированный для управления мобильными манипуляторами с учетом их физических ограничений.

Направление разработки алгоритма

Обеспечение ориентации конечного эффектора и физических ограничений суставов: в отличие от компьютерной графики, где суставы кинематических цепей обычно моделируются как сферические шарниры без угловых ограничений, суставы современных манипуляторов представляют собой двухмерные вращающиеся соединения с жесткими физическими ограничениями. Это создает значительные трудности при применении алгоритма FABRIK, поскольку его работа основана на изменении положения суставов в пространстве, а не на учёте углов их поворота.

Стоит отметить, что двухмерные вращающиеся суставы накладывают ограничения на их положения в трёхмерном пространстве, ограничивая их перемещение плоскостями, перпендикулярными осям вращения. Для определения этих ограниченных областей можно использовать локальные системы координат, позволяющие проектировать положения суставов относительно заданных направлений. Однако внедрение таких систем координат и использование матричных преобразований противоречит изначальной концепции алгоритма FABRIK, а также существенно увеличивает вычислительные затраты, особенно при наличии большого количества суставов.

Одним из возможных решений является представление манипулятора как последовательности взаимосвязанных суставов, вращающихся в одной плоскости. В этом случае ориентация рабочего органа может быть определена через последовательное суммирование углов поворота в осях рыскания, тангажа и крена. Подобная конструкция широко распространена в современных манипуляторах, где один сустав отвечает за угол рыскания, а следующие за ним суставы регулируют углы тангажа и крена [6].

Таким образом, для эффективного функционирования нового алгоритма необходимо учитывать ориентацию конечного эффектора, определяя углы поворота через всю цепь промежуточных суставов. При этом важно учитывать ограничения суставов, задавая минимальные и максимальные предельные значения углов, соответствующие их физическим ограничениям.

Избежание локальных минимумов путем перемещения основания: одной из ключевых особенностей мобильного манипулятора по сравнению с другими кинематическими цепями при решении задачи обратной кинематики является наличие подвижного основания. Это означает, что в процессе вычислений, если достижение целевого положения становится невозможным из-за ограничений суставов или проблем с доступностью, основание может перемещаться, обеспечивая возможность продолжения решения и нахождения альтернативного результата.

Перемещение основания манипулятора целесообразно только в случае, если после итерации ошибка (отклонение между положением конечного эффектора и целью) не уменьшается. При этом величина смещения определяется в зависимости от этого отклонения.

Дополнительно следует учитывать, что реальные суставы обладают несимметричными угловыми ограничениями. Вследствие этого возможна ситуация, при которой целевая точка остается недостижимой, а решение попадает в локальный минимум из-за предельных значений суставов. Однако, если изначальное положение основания изменить, можно избежать локального минимума и получить глобально оптимальное решение.

Используя возможность изменения положения основания в процессе работы алгоритма, данную проблему можно решить, переместив основание и последующие суставы (до сустава m, достигшего предела) на противоположную сторону. Это позволяет продолжить выполнение итераций и повысить вероятность успешного нахождения решения.

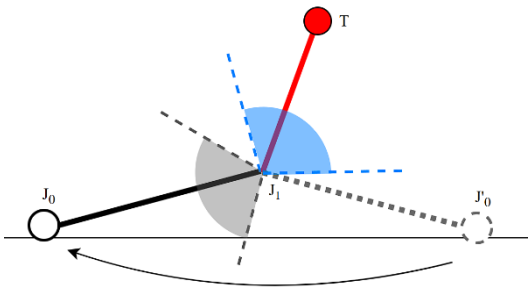


Рис. 1. Пример перемещения основания для избежания локального минимума: для обеспечения целевой ориентации положение красного сустава не может быть изменено, перемещение основания из положения J_0' в J_0 переустановит сустав J_1 в пределах

Добавление приоритетного параметра: для манипуляционных систем с числом степеней свободы, значительно превышающим количество ограничений задачи, оригинальный алгоритм FABRIK продолжает обеспечивать гарантированное решение. Основой работы FABRIK является перемещение и последовательная корректировка положений суставов в пространстве, что позволяет находить оптимальное решение с минимальными смещениями суставов относительно их исходных позиций.

Однако в задаче управления манипулятором могут возникать дополнительные приоритеты, такие как минимизация энергозатрат (например, вращение сустава, расположенного ближе к основанию, обычно требует больше энергии). В связи с этим в новом алгоритме предлагается внедрение дополнительного параметра в процесс регулировки положений суставов. Этот параметр позволяет учитывать приоритеты и направлять процесс решения таким образом, чтобы определенные суставы вращались в большей степени, оптимизируя управление манипулятором в соответствии с заданными критериями.

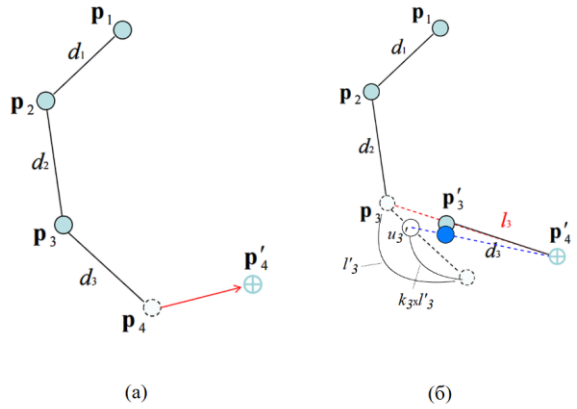


Рис. 2. Работы дополнительного параметра в этапе «прямого прохода» для сустав $\mathbf{p}_3$*:*
а) перемещать $\mathbf{p}_4$ *в* $\mathbf{p}'_4$*,*
б) новая позиция $\mathbf{p}'_3$ *установится в направлении к* $\mathbf{u}'_3$*, положение которого определяется на основе предыдущих* $\mathbf{p}_4$ *и* $\mathbf{p}_3$

Предложенный алгоритм

Функция *project*(**p**) (в линиях 1.11, 1.12 и 1.18) является проекцией точки $\mathbf{p}$ на плоскость, на которой основания движется; функция *normalize*(**v**) (в линиях 1.32, 1.33, 1.41) – нормализация вектор $\mathbf{v}$; функция $rotate(\mathbf{v}, d, t_O)$ (в линии 1.39) – вращение вектора $\mathbf{v}$ длиной d в зависимости от ориентации цели t_O; функция $rotate(\mathbf{v}, d, a, \mathbf{o})$ (в линии 1.45) – вращение вектора $\mathbf{v}$ длиной d на угол a вокруг оси $\mathbf{o}$; функция $rotate_angle(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2)$ (в линии 1.43) – угол поворота от вектора $\mathbf{v}_2$ к вектору $\mathbf{v}_1$; функция *clamp*(a) – функция возвращает *true*, если угол a выходит за пределы и удерживает a в допустимых пределах.

Предложенный алгоритм управления мобильным манипулятором

Вход: Положения поворота суставов $\mathbf{p}_i$ для $i = 1,\ldots,n$; положение и ориентация цели $\mathbf{t}_P, t_O$; расстояния между суставами $d_i = |\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i|$, для $i = 1,\ldots,n$; приоритетные коэффициенты суставов k_i для $i = 1,\ldots,n-1$.

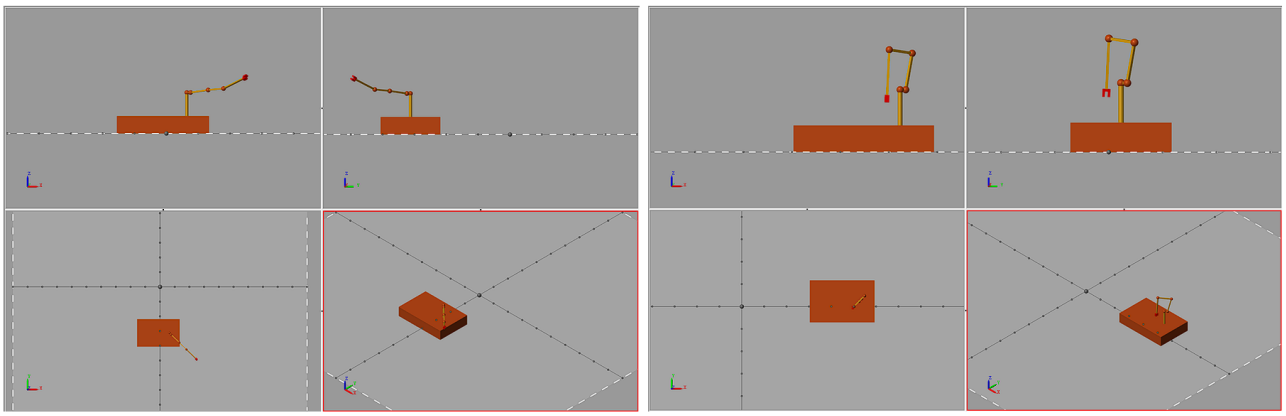
Выход: Новые положения и углы поворота суставов $\mathbf{p}_i$, a_i для $i = 1,\ldots,n$.

```
1.1   % Установить b_P в качестве начальных положения сустава p_1
1.2   b_P = p_1
1.3   for iter = 1,...,iter_max do
1.4      % Вычислить отклонение между конечным эффектором и целью в положении и в ориентации
1.5      e_P = t_P - p_n
1.6      if |e_P| < tol_P then
1.7         % Сходится
1.8         return true
1.9      % Выполнить смещения базы, если отклонение не уменьшается
1.10     else if e_P^prev = e_P then
1.11        if project(e_P) ≠ 0 then
1.12           s = project(e_P)
1.13           b_P = b_P + s
1.14           for i = 1,...,n-1 do
1.15              p_i = p_i + s
1.16           end
1.17        else if m ≠ -1 then
1.18           s = project(p_m - p_{m-1})
1.19           b = b + s
1.20           for i = 1,...,m-1 do
1.21              p_i = p_i + s
1.22           end
1.23           m = -1
1.24        else
1.25           % Не сходится
1.26           return false
1.27        end
1.28     end
1.29     % ЭТАП 1: Прямой проход
1.30     p_n = t_P
1.31     for i = n-1,...,1 do
1.32        u = p_{i+1}^prev - k_i · d_i · normalize(p_{i+1}^prev - p_i^prev)
1.33        p_i = p_{i+1} - d_i · normalize(u - p_i)
1.34     end
1.35     % ЭТАП 2: Обратный проход
1.36     p_1 = b_P
1.37     for i = 1,...,n-1 do
1.38        if i = n-1 then
1.39           p_{i+1} = rotate(p_i, d_i, t_O)*
1.40        else
1.41           p_{i+1} = p_i + d_i · normalize(p_{i+1} - p_i)
1.42        end
1.43        a_i = rotate_angle(p_{i+1} - p_i, p_i - p_{i-1})
1.44        if clamp(a_i) then
1.45           p_{i+1} = rotate(p_i, d_i, a_i, p_i - p_{i-1})
1.46           m = i
1.47        end
1.48     end
1.49     e_P^prev = e_P
1.50  end
1.51  % Не сходится
1.52  return false
```

Рис. 3. Псевдокод разработанного алгоритма обратного кинематики манипулятором

Результат тестирования алгоритма

Разработанный алгоритм был протестирован на модели манипулятора, обладающего восемью степенями свободы: тремя степенями свободы платформы и пятью степенями свободы самого манипулятора [7]. Тестирование и моделирование результатов проводилось в среде имитационного моделирования с использованием специального пакета.



а) б)

Рис. 4. Поза манипулятора в результате алгоритма:
а) цель $x = 0,5,\ y = -1,\ z = 0,357,\ roll = 60°,\ pitch = 20°,\ yaw = -45°$
б) цель $x = 1,\ y = 0,\ z = 0,197,\ roll = 45°,\ pitch = 270°,\ yaw = 45°$

Проведено сравнение скорости решения обратной кинематики, предложенного выше алгоритма и решения обратной кинематики геометрическим методом для модели манипулятора.

Для оценки эффективности предложенного алгоритма проведено сравнение скорости решения задачи обратной кинематики с традиционным геометрическим методом на модели манипулятора. В ходе эксперимента оба алгоритма обрабатывали один и тот же набор из 20 различных целевых положений. Время выполнения измерялось на персональном компьютере с процессором AMD Ryzen 7 7840H (3,8 ГГц). Среднее время обработки геометрическим методом составило 35 мс, тогда как предложенный алгоритм выполнял вычисления в среднем за 142 мс.

Заключение

В данном исследовании разработан эвристический алгоритм решения задачи обратной кинематики для мобильных манипуляторов. Алгоритм основан на адаптации метода FABRIK с модификацией, учитывающей физические свойства двухмерных вращающихся соединений. Для повышения эффективности добавлены механизмы избегания локальных минимумов и оптимизации энергозатрат за счет приоритетного параметра. Предложенный подход обладает высокой гибкостью благодаря учету подвижности основания, что позволяет продолжать итерации даже при наличии ограничений суставов или недостижимых целей. Экспериментальная проверка на модели показала, что разработанный алгоритм демонстрирует конкурентоспособную производительность по сравнению с геометрическим методом. Хотя его скорость обработки несколько ниже, он обладает высокой универсальностью, позволяя применять его к различным манипуляторным системам без необходимости повторного построения сложных систем уравнений замкнутой формы.

Список использованной литературы

1. Kalasariya M., Patel V., Thakkar A. Comparative Study of Iterative Inverse Kinematics Methods for Serial Manipulator // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2018. – Vol 7. – P. 1-5.

2. Welman C. Inverse kinematics and geometric constraints for articulated figure manipulation // Master Dissertation // Simon Fraser University, Department of Computer Science – 1993.

3. Kwan W. C., von Konsky B. R., Marriott A. Closed-form and generalized inverse kinematics solutions for the analysis of human motion. – 2015. – Vol 5. – P. 1911-1914.

4. Aristidou A., Lasenby J. Inverse Kinematics: a review of existing techniques and introduction of a new fast iterative solver // Report number: CUEDF-INFENG, TR-632 // University of Cambridge. – 2009.

5. Aristidou A., Lasenby J. FABRIK: a fast, iterative solver for the inverse kinematics problem // Graphical Models. – 2010. – Vol 73. – P. 243-260.

6. He R., Wang Y., Li T. Design and control of the Six-DOF robotic manipulator // Applied and Computational Engineering. – 2021. – Vol 78. – P. 129-135.

7. Bischoff R., Prassler E., Huggenberger U. KUKA youBot – A Mobile Manipulator for Research and Education // Proc. of the IEEE International Conference on Robotic and Automation. – 2011.

РАЗРАБОТКА НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ПЕШЕХОДОВ

Цзи Юнань[1]
Научный руководитель: Поберезкина Н.[2]
[1]*ТПУ, ИШИТР, гр. 158Т11, e-mail: ty05@tpu.ru*
[2] *ТПУ, ИШИТР, ОАР, старший преподаватель, e-mail: nikpi@tpu.ru*

Аннотация
На основе YOLOv5s и ROS разработана навигационная система, учитывающая эмоциональное состояние пешеходов для корректировки траектории робота.

Ключевые слова: робототехническая навигация, распознавание эмоций, YOLOv5s, ROS.

Введение

В связи с широким спектром применения мобильных роботов в последние десятилетия наблюдается растущий интерес к исследованиям в области робототехники. От промышленных роботизированных рук и беспилотников до современных автономных наземных транспортных средств и разнообразных бытовых роботов – типы и функции роботов становятся все более разнообразными.

Люди не только уделяют все больше внимания использованию роботов, но и выдвигают более высокие требования к автономности, интеллекту и человечности роботов. Начиная с первых исследований автономной навигации мобильных роботов и заканчивая широкомасштабным появлением мобильных сервисных роботов, люди все больше склоняются к изучению взаимодействия между людьми и роботами с целью значительного повышения комфорта взаимодействия между людьми и роботами.

Традиционные алгоритмы навигации ориентированы только на обход препятствий и зачастую не учитывают эмоциональное состояние человека, что может приводить к возникновению конфликтных ситуаций и снижению качества взаимодействия. В результате этого клиенты могут понизить свою оценку, особенно в таких местах обслуживания, как гостиницы и рестораны. Поэтому в последние годы ученые стали рассматривать человеческие эмоции как важный фактор, влияющий на изучение роботов.

Нараянан и др. (2020) предложили метод анализа походки с использованием сверточной сети с несколькими видами графов, достигающий точности прогнозирования эмоций 82–85 % [1]. Бера и др. (2019) объединили байесовское мышление, глубокие нейронные сети и модель PAD для корректировки поведения робота на основе эмоциональных реакций других людей [2], в то время как Биеле и др. (2024) разработали систему, которая динамически регулирует область около тела, чтобы увеличить расстояние во время отрицательных эмоций и уменьшить расстояние во время положительных эмоций [3]. Но ни один из них не был реализован в реальных роботах.

В данной статье предлагается система, объединяющая модуль распознавания эмоций пешеходов на основе модели YOLOv5s с платформой ROS. В основе навигационного модуля ROS лежат проверенные алгоритмы глобального планирования (A*) и локального управления (DWA). Модуль распознавания эмоций обучается на наборе данных с использованием зрелой модели YOLO. Система позволяет роботу корректировать траекторию движения на основе эмоциональных реакций людей, что помогает повысить безопасность и улучшить взаимодействие с людьми. А упрощение и модульность системы способствуют массовому производству в реальных условиях.

Целью данного исследования было создание модели, которую можно было бы легко применить к роботам, а также продемонстрировать возможность учета эмоциональных

факторов при навигации робота, что открывает перспективы для дальнейшей интеграции и оптимизации системы в реальных условиях эксплуатации.

Общая архитектура системы и модульное разделение

Система имеет модульную конструкцию. Модуль сбора данных использует датчики, включая лидар и глубинные камеры, для получения информации в режиме реального времени и генерации данных об окружающей среде и целевых изображений.

Модуль распознавания эмоций на основе модели YOLOv5s идентифицирует эмоции пешеходов на основе полученных изображений и выводит категории эмоций, такие как положительные, нейтральные и отрицательные, а также соответствующие значения уверенности. Используем модель YOLOv5s, так как ее размер невелик, имеет высокую скорость отклика и подходит для развертывания на устройствах с меньшей вычислительной мощностью, таких как встроенные микроконтроллеры (Рис. 1).

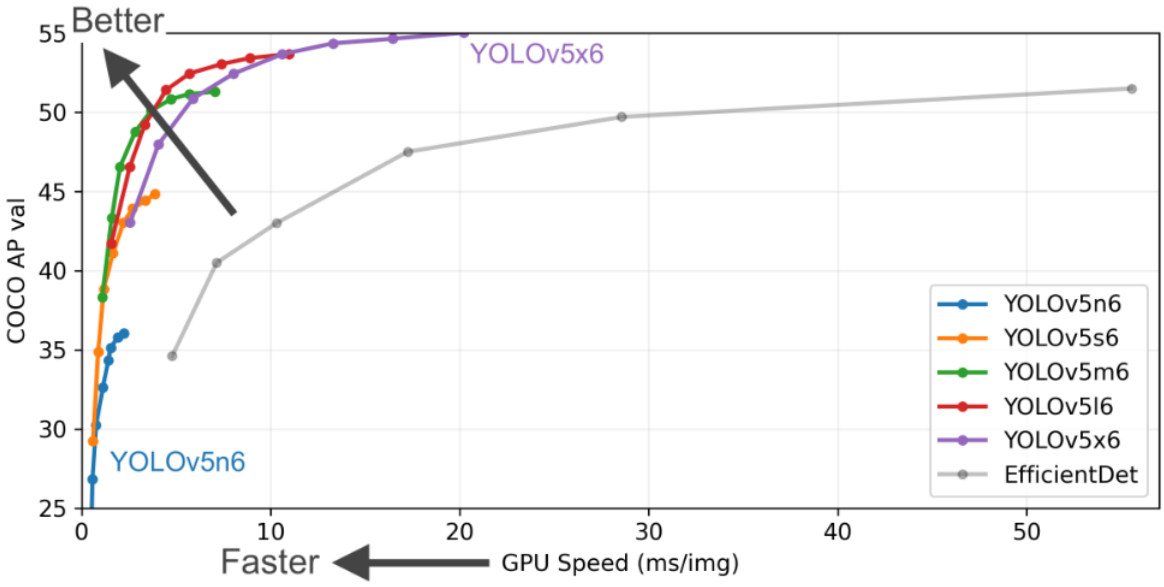


Рис. 1. Сравнение характеристик моделей Yolov5s [4]

Модуль глобального планирования пути использует усовершенствованный алгоритм A* для прокладки глобального маршрута от текущего положения робота до целевой точки на основе карты окружающей среды, созданной на основе данных датчиков. Сначала система получает информацию об окружающей среде и данные о человеческих эмоциях с помощью глубинных камер и радиолокационных модулей; затем на основе полученной карты окружающей среды формируется карта первоначальных затрат. В процессе расчета стоимости алгоритм A* вычисляет расстояние между роботом и обнаруженным местоположением человека и добавляет дополнительное штрафное значение к стоимости соответствующей области на основе эмоционального состояния. Поэтому, если в окружающей среде присутствует отрицательная эмоция (например, гнев), алгоритм увеличивает стоимость области рядом с человеком, заставляя глобального планировщика выбирать объезд; в положительных эмоциональных состояниях значение штрафа уменьшается, заставляя робота приближаться. Динамически корректируя веса на основе информации о настроениях, алгоритм планирования может обновлять глобальный маршрут в режиме реального времени в зависимости от текущей ситуации.

Модуль локального планирования использует алгоритм DWA для оптимизации локальной траектории и обрабатывает данные с лидара в режиме реального времени, чтобы избегать динамических препятствий.

Модуль управления навигацией и объединения данных отвечает за объединение результатов распознавания эмоций с глобальными и локальными данными планирования, формирование карт стоимости различных радиусов вокруг пешеходов с помощью заданных функций, тем самым корректируя стратегию движения робота и осуществляя обмен данными между модулями через ROS.

При построении функции мы ссылались на известную теорию социального пространства. Социальное пространство относится к пространственной дистанции, которую люди поддерживают в различных социальных и межличностных отношениях. Первоначально этот термин был придуман Холлом для описания контроля человека над пространством [5]. Пространственные интерактивные отношения между людьми включают интимные отношения, личные отношения, социальные отношения и общественные отношения (Рис. 2）. Когда люди находятся слишком близко друг к другу, они часто чувствуют себя некомфортно, и их личное пространство нарушается. Поэтому крайне важно по возможности избегать вторжения в личное пространство других людей.

Schematic diagram of concentric circles

Space	Distance
Public space	>3.6 m
Social space	1.2 m
Personal space	0.45 m
Intimate space	≤0.45 m

Рис. 2. Социальное пространство [5]

Эти расстояния были выбраны для имитации идеального диапазона взаимодействия между роботами и людьми, способствуя естественному и комфортному взаимодействию для обеих сторон. Ниже приведена схематическая диаграмма архитектуры системы, иллюстрирующая поток данных и интерфейсы между модулями:

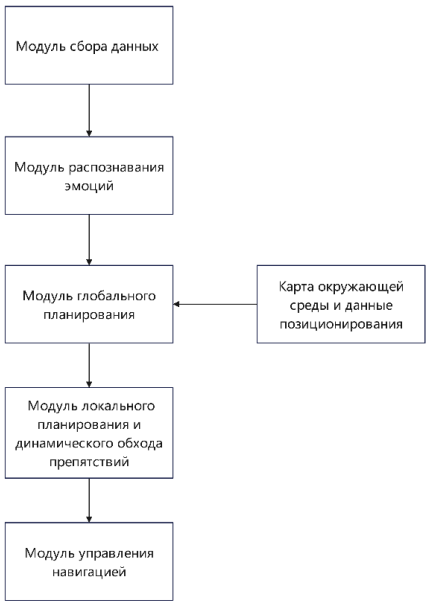


Рис. 3. Архитектура системы

Результат

1. Анализ эффективности модели распознавания эмоций:

Для обучения модели распознавания эмоций на основе YOLO использовали исходную модель YOLOv5s и набор данных COCO и обучили ее в течение 268 эпох с размером изображения 96×96 и размером пакета 64. Включили кэширование изображений для ускорения загрузки данных, отключили обучение со смешанной точностью для обеспечения стабильности параметров и установили задержку для буферизации нагрузки на сервер во время непрерывного обучения. Такая конфигурация позволяет модели эффективно различать различные эмоциональные состояния, обеспечивая при этом баланс между эффективностью обучения и точностью модели.

(1) Анализ матрицы ошибок

Из нормализованной матрицы путаницы мы можем видеть, что модель демонстрирует наилучшие результаты классификации в категории «Happy» с точностью 83%, что намного выше, чем в других категориях, что свидетельствует о том, что модель обладает сильной способностью различать положительные эмоциональные проявления. Эффекты распознавания «Contempt» (75%) и «Disgust» (66%) также вполне идеальны.

Относительно говоря, точность распознавания «Neutral» (52%), «Sad» (57%) и «Fear» (59%) относительно низкая, а доля «Гнева», ошибочно классифицированного как фон, достигает 28%, что свидетельствует о том, что модель испытывает большие трудности с обработкой категорий отрицательных или слабо выраженных эмоций. Более того, существует путаница между некоторыми категориями, такими как «Гнев» и «Отвращение», «Грусть» и «Neutral».

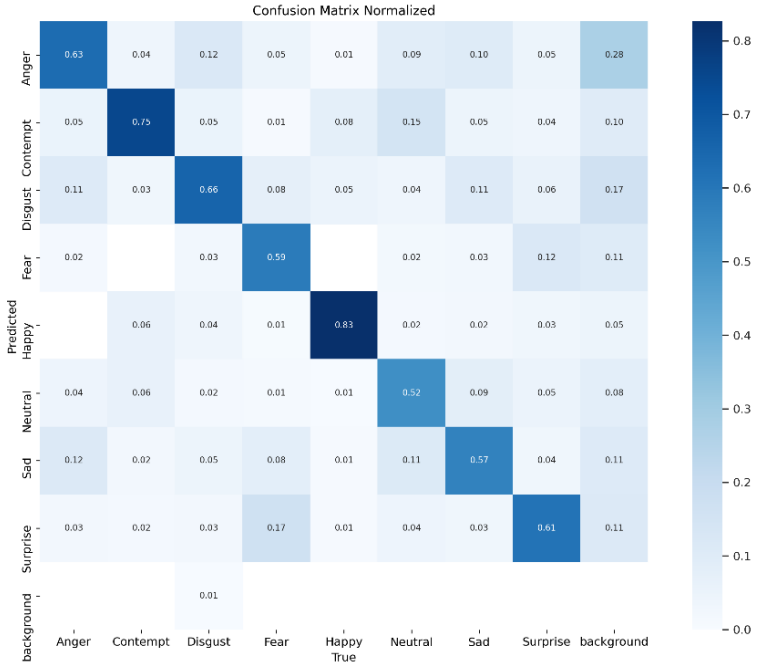


Рис. 4. Матрица ошибок

(2) Кривая F1-Confidence

Кривая F1-уверенности показывает, что при установке порога уверенности на уровне 0,388 средний балл F1 модели достигает оптимального значения 0,66. Стоит отметить, что категория «Happy» показывает высокое значение F1 в каждом доверительном интервале, что подтверждает, что она имеет самую сильную различимость в модели. Напротив, значения F1 таких категорий, как «Neutral», «Sad» и «Fear», значительно снизились в средних и высоких доверительных интервалах, что указывает на то, что модель не может уверенно различать эти эмоции (рис. 5, а).

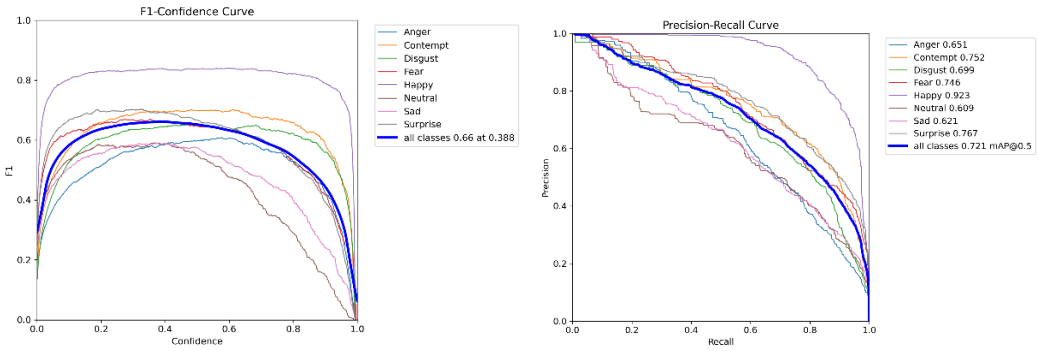


Рис. 5. Кривая F1-уверенности

(3) Точность и отзыв

mAP (@0,5) каждого типа эмоций, рассчитанный на основе кривой PR, выглядит следующим образом (рис. 5, б):

Таблица 1 – Результат mAP@0.5

Категория	mAP@0.5
Happy	0.923
Surprise	0.767
Contempt	0,752
Fear	0,746
Disgust	0,699
Anger	0,651
Sad	0.621
Neutral	0,609

Общее значение mAP@0.5 модели составляет 0,721, что указывает на высокую общую точность обнаружения, особенно при определении очень экспрессивных эмоций. Однако для нейтральных и отрицательных эмоций есть возможности для дальнейшего улучшения точности и отзывчивости модели.

(4) Динамика функции потерь

Графики изменений box_loss, cls_loss и dfl_loss во время обучения и проверки показывают стабильную сходимость и отсутствие признаков переобучения. Показатели точности, полноты и mAP также неуклонно улучшаются, что подтверждает правильность выбора параметров обучения и общую устойчивость модели (рис. 6).

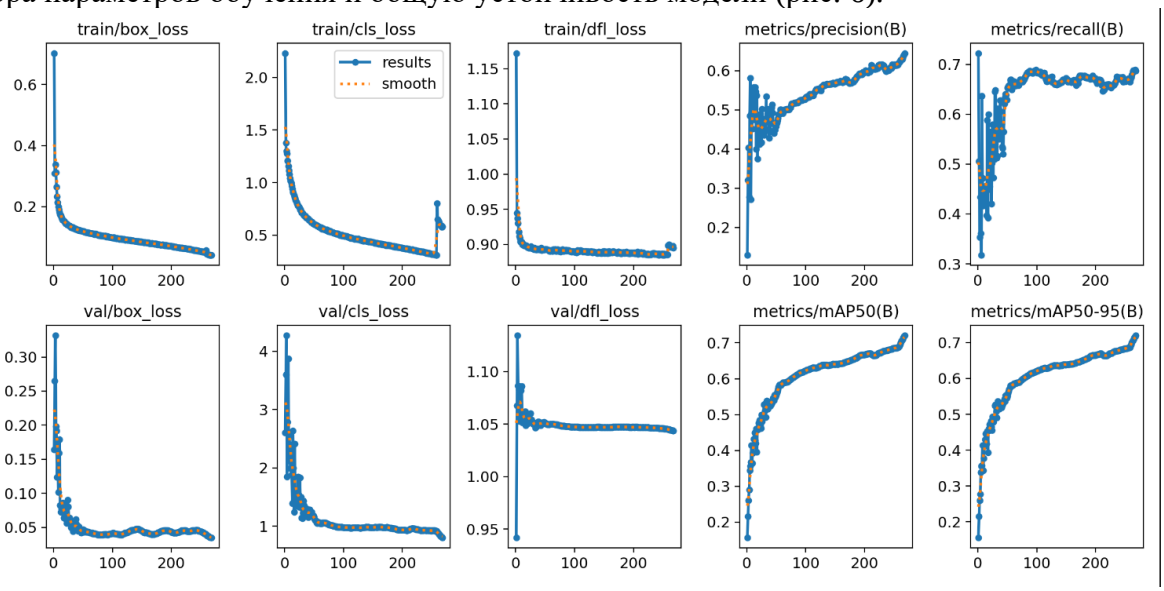


Рис. 6. Результаты тестирования модели Yolov5s

Ниже приведен результат обнаружения одного изображения.

Рис. 7. Результат модели распознавания эмоций

2. Анализ навигационной модели:

Алгоритм A* был выбран в качестве глобального планирования, так как он быстро реагирует на окружающую среду, его метод поиска прост и широко используется.

Для локального планирования была опробована модель прогностического управления MPC. Во время работы робот перестает двигаться в относительно узком пространстве, хотя на самом деле он может через него пройти (рис. 8(а)). Это связано с тем, что модель MPC основана на точной динамической модели (такой как уравнения состояния и соотношения «вход-выход»), а ошибки модели могут привести к сбою управления. Более того, оптимизация, основанная на градиентном спуске, склонна приводить к локальным оптимальным решениям (например, к путям, упирающимся в препятствия) (рис. 8(б)).

Рис. 8. Проблемы MPC

Затем мы попытались использовать алгоритм DWA вместо MPC. Он обновляет данные о препятствиях на основе последних данных датчиков, поэтому работает в режиме реального времени и может быстро менять стратегию планирования маршрута для динамически меняющихся сценариев. При этом точная динамическая модель не требуется, нужны лишь ограничения по скорости. Более того, DWA может работать в режиме реального времени на устройствах с низкой вычислительной мощностью (таких как STM32), что подходит для потребительских роботов и образовательных роботов. Результаты показаны на рисунке 9.

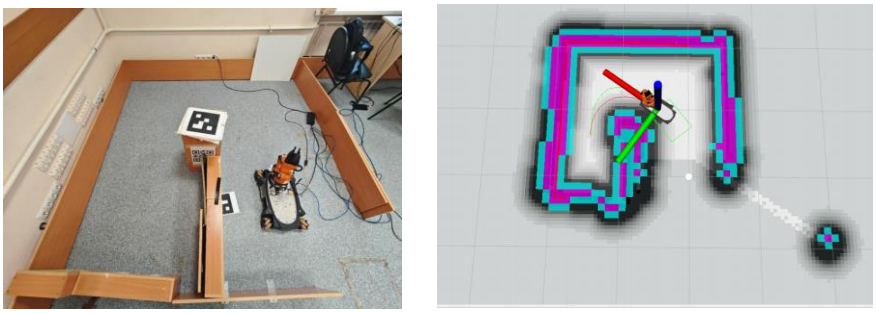


Рис. 9. Результаты навигации робота и обхода препятствий

Тестирование по отдельным модулям является необходимым условием для дальнейшей интеграции моделей в единую систему.

Заключение

Основная область применения данного алгоритма – сервисные роботы в общественных местах. Модульная архитектура обеспечивает гибкость системы и ее адаптируемость к различным сценариям. Первоначальные испытания показали высокую эффективность каждого модуля, подтвердив перспективность данного подхода к созданию систем социальной навигации, учитывающих эмоциональное состояние пешеходов для повышения безопасности и комфорта. Последующие исследования позволят оптимизировать сопоставление данных каждой модели для достижения плавной передачи данных и производительности в реальном времени. И в конечном итоге будет сформирована полная система.

Список использованных источников

1. Narayanan V., Manoghar B.M., Dorbala V.S., et al. Proxemo: Gait-based emotion learning and multi-view proxemic fusion for socially-aware robot navigation[C] //2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2020: 8200-8207.

2. Bera A., Randhavane T., Prinja R., et al. The emotionally intelligent robot: Improving social navigation in crowded environments[J]. arXiv preprint arXiv:1903.03217, 2019.

3. Bilen B., Kivrak H., Uluer P., et al. Social robot navigation with adaptive proxemics based on emotions[J]. arXiv preprint arXiv:2401.17663, 2024.

4. YOLOv5 [Электронный ресурс]. – URL: github.com/ultralytics/yolov5 (дата обращения 09.02.2025)

5. Duzhesheng L. Comfort navigation improvement of path planning task in human-robot interaction / L. Duzhesheng, S. A. Chepinskiy, W. Jian // Journal of Instrument Engineering. – 2024. – Vol. 67, No. 6. – P. 481-491. – DOI 10.17586/0021-3454-2024-67-6-481-491. – EDN BDWKXK.

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО ИНВАЛИДНОГО КРЕСЛА

Ма Лунтан[1]
Научный руководитель: Поберезкина Екатерина Евгеньевна[2]
[1]*НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8ЕМ41, студент, ml03@tpu.ru*
[2]*НИ ТПУ, ИШИТР, старший преподаватель, eep15@tpu.ru*

Аннотация

С развитием робототехники, искусственного интеллекта и Интернета вещей (IoT) умные вспомогательные устройства становятся трендом будущего. В данном исследовании разработана интеллектуальная система инвалидного кресла с роботизированным захватом, планированием пути и функциями голосового управления, направленная на повышение способности к самообслуживанию людей с проблемами мобильности.

Ключевые слова: Роботизированная инвалидная коляска; голосовое управление; визуальное распознавание пешеходов.

Введение

Это исследование направлено на улучшение функциональности существующих роботизированных инвалидных колясок путем объединения технологий визуального захвата и роботизированных рук, чтобы они могли не только обеспечивать базовые функции передвижения, но и помогать пользователям выполнять повседневные задачи посредством автоматического захвата и управления. Ожидается, что этот прорыв в технологической интеграции значительно улучшит качество жизни людей с ограниченными возможностями передвижения, будет способствовать развитию технологий «умных» инвалидных колясок и обеспечит мощную техническую поддержку стареющему обществу в будущем.

Внедрение роботизированных манипуляторов открывает новые возможности для функционального расширения электрических инвалидных колясок. Благодаря интеллектуальным роботизированным рукам пользователи могут легче выполнять повседневные действия, такие как захват и переноска, что имеет решающее значение для независимой жизни пожилых людей и людей с ограниченными возможностями. Например, роботизированное инвалидное кресло, разработанное Южным китайским университетом, как показано на (рис. 1, а), использует веревочный привод манипулятора, который помогает пользователю выполнять такие точные действия, как подъем предметов или нажатие кнопок, что улучшает их способность к самообслуживанию и снижает нагрузку на ухаживающих [1]. Это показывает: сочетание электрических инвалидных колясок и роботизированных рук является как технологическим достижением, так и положительным ответом на социальные потребности.

а) *б)*

Рис. 1. Примеры найденных решений:
а) Роботизированный манипулятор для инвалидной коляски, разработанный Южно-Китайским технологическим университетом.
б) Система управления роботизированным манипулятором для инвалидной коляски, основанная на трехмерном зрении

Кроме того, Тяньцзиньский университет науки и технологий разработал роботизированную руку, интегрированную с электрической инвалидной коляской, что позволяет пользователям выполнять более сложные задачи самостоятельно и снижает нагрузку на ухаживающих. Интеллектуальная электрическая инвалидная коляска в сочетании с передовой технологией визуального распознавания может автоматически следовать за пешеходами, что еще больше расширяет возможности ее применения в сложных условиях. Эта технология не только повышает автономность инвалидных колясок, но и обеспечивает гарантии безопасного передвижения пожилых людей и людей с ограниченными возможностями [2].

Технология 3D-видения обеспечивает точность распознавания объектов до 98,96 %, что улучшает взаимодействие с окружающей средой [3].

Университет Цзинань предложил систему с визуальной и тактильной обратной связью, позволяющую коляске следовать за пользователем и предупреждать об отклонениях. Легкая роборука с веревочным приводом повышает гибкость и удобство [4].

а) *б)*

Рис. 2. Примеры найденных решений:
а) Манипулятор инвалидной коляски Vision-motion fusion Университета Цзинань
б) Роботизированная система управления инвалидной коляской с масштабируемым пользовательским интерфейсом.

Московские разработчики создали роботизированную систему управления инвалидной коляской с гибким интерфейсом для людей с разными нарушениями (рис. 2, б) [5]. Система использует нейроинтерфейсы, голосовое управление и технологии отслеживания взгляда, повышая автономность пользователя. Подход включает обработку данных с датчиков для планирования действий и выполнения сложных задач.

Чи Хао разработал систему, которая позволяет электрическому инвалидному креслу следовать за целевым человеком. Система визуального отслеживания, основанная на камере цвета глубины, использует алгоритм визуального отслеживания Tracking Learning Detection (TLD) для отслеживания целевой области человека на цветном изображении [6].

Робот-коляска FRIEND [7] (рис. 3, а), разработанный Бременским университетом в Германии, является представителем аналогичных роботов медицинской помощи. В роботизированной руке FRIEND используется модульная рука с 7 степенями свободы от ATMEC Robotic GmbH. На конце руки установлен 5-пальцевый гуманоидный манипулятор, который обладает высокой степенью гибкости и может выполнять сложные задачи и операции. Роботизированная рука использует бинокулярную визуальную сервосистему для помощи в выполнении задач управления, а манипулятором можно управлять с помощью системы распознавания голоса, что значительно повышает удобство использования системы управления роботизированной рукой.

Харбинский технологический институт применяет метод извлечения облаков точек целевых объектов на основе сегментации экземпляров и предлагает новую схему автономного захвата, как показано на рисунке 3б. На основе метода генерации и оценки поз 6-DOF

GraspNet сначала с помощью нейронной сети GraspNet генерируются несколько возможных поз для захвата, после чего происходит их оценка. Алгоритм обхода препятствий сочетается с планированием пути обхода препятствий для реализации задачи захвата предметов домашнего обихода [8].

а) *б)*

Рис. 3. Примеры найденных решений:
а) Робот-коляска FRIEND.
б) Робот-коляска-инвалид на базе 6-DOF GraspNet.

Подводя итог, можно сказать, что сочетание электрических инвалидных колясок и роботизированных рук – это не только результат технологического развития, но и неизбежный выбор для социальных нужд. Ожидается, что благодаря постоянному развитию технологий в будущем будут созданы более удобные и комфортные условия жизни для пожилых людей и людей с ограниченными возможностями.

Основная часть

Предлагаемая система представляет собой решение, значительно улучшающее качество жизни пожилых людей и инвалидов, благодаря сочетанию механической руки с визуальной системой. Механическая рука, интегрированная с визуальной системой, может автоматически распознавать и захватывать объекты, такие как стакан воды или бытовые предметы на столе, помогая пользователям решать проблемы с доступом к продуктам питания и предметам. Используя камеру в качестве датчика зрения, голосовое управление и датчик расстояния, система способна распознать и измерить расстояние до целевого объекта, что позволяет роботизированной руке захватить объект и следовать в инвалидном кресле за членом семьи или врачом. Система оснащена функцией вызова, которая позволяет пользователю быстро связаться с семьей, врачом или персоналом в случае необходимости или чрезвычайной ситуации. Пользователи могут не только управлять механической рукой и инвалидной коляской с помощью голосовых команд, но и оперативно обратиться за помощью к родственникам или медицинскому персоналу, что предоставляет большую степень свободы и безопасности.

Разработка структурной схемы

Система обеспечивает интеллектуальный контроль и управление благодаря совместной работе нескольких модулей: микрофон собирает голосовые команды оператора, передает аналоговые голосовые сигналы в модуль распознавания голоса контроллера и преобразует их в команды управления; камера в сочетании с датчиком расстояния собирает данные об окружающей среде в режиме реального времени, определяет положение и расстояние до препятствий, помогает в навигации и обходе препятствий; контроллер, как основной блок обработки, интегрирует голосовые команды, визуальные данные и сигналы обратной связи от датчиков крутящего момента для создания команд управления.Контроллер, как основной блок

обработки, интегрирует голосовые команды, визуальные данные и сигналы обратной связи от датчиков крутящего момента для создания команд управления, и регулирует скорость и направление двигателя через водителя, чтобы привести инвалидное кресло в движение или управлять роботизированной рукой для выполнения точного захвата; роботизированная рука оснащена датчиками давления для динамического контроля силы зажима, чтобы избежать перегрузки; система питается от литий-ионной батареи, которая распределяется на различные уровни напряжения с помощью преобразователя напряжения для обеспечения стабильной и изолированной электроэнергии для различных модулей, чтобы обеспечить чувствительный к шумуСистема питается от литий-ионного аккумулятора, напряжение которого распределяется через преобразователь напряжения для обеспечения стабильного и изолированного питания модулей, что обеспечивает совместимую работу малошумных чувствительных схем (например, датчиков, голосового модуля) и мощных исполнительных механизмов (например, двигателя).Кроме того, модуль аварийного вызова подает сигнал тревоги с помощью кнопки и посылает активный голосовой сигнал спасения для получения немедленной помощи от окружающего персонала.Для обеспечения эффективной и безопасной автоматизированной работы вся система управляется с помощью слияния данных и обратной связи.Конкретная структура показана на рисунке 4.

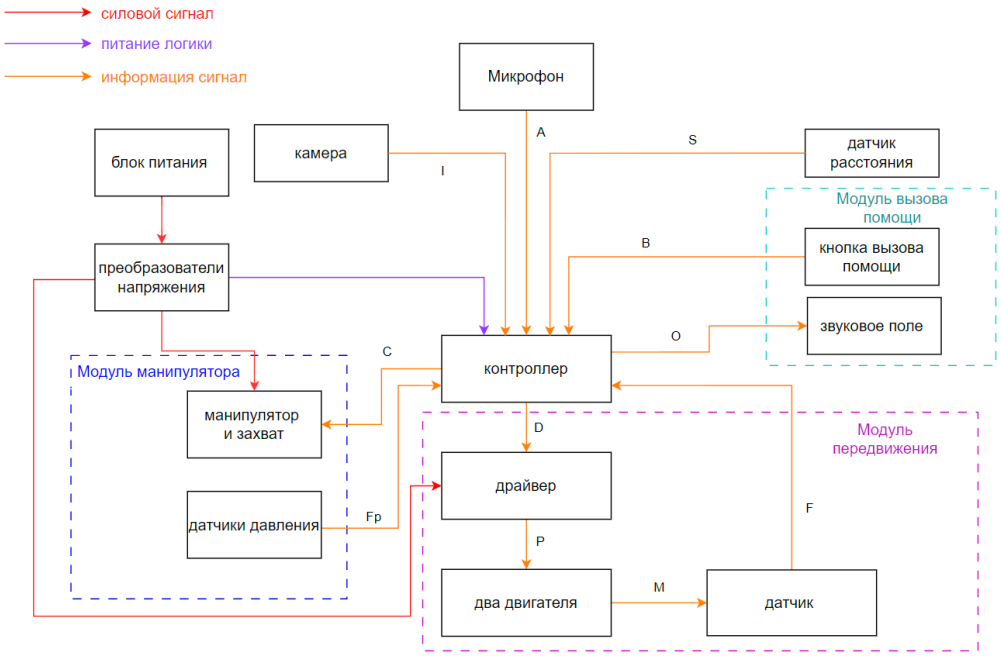


Рис. 4. Структурная схема

Обозначения на структурной схеме:
A - Аналоговый аудиосигнал.
I - Поток данных изображения.
S - Данные расстояния.
C - Команда определения координат цели.
D - ШИМ-сигнал управления скоростью.
F - Датчик крутящего момента Аналоговая обратная связь.
Fp - Данные обратной связи датчика давления;
B - Кнопка GPIO Триггер экстренного вызова;
O - Команды управления для звукового вызова помощи;
M - Физическая передача крутящего момента.
P - Ток привода двигателя.

В таблице 1 приведено сравнение функциональности разработанного кресла с найденными решениями:

Таблица 1. Сравнение функционала разрабатываемого кресла и найденных решений

Решение/ Функция	**Захват предметов**	**Навигация с помощью камер / лидара**	**Следование за человеком (семьей / врачом)**	**Голосовое управление**	**Управление движением глаз**	**Экстренный вызов помощи**
Разрабатываемое решение	Да	Да	Да	Да	Нет	Да
Южно-Китайский университет (канатный привод)	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Тяньцзиньский университет	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет
Университет Цзинань	Да	Да	Да	Нет	Нет	Да
ЧиХао. Инвалидное кресло с визуальным слежением	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Нет
FRIEND робот (Германия)	Да	Да	Нет	Да	Нет	Нет
Харбинский технологический институт (6-DOF GraspNet)	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Система управления колесным манипулятором на основе мультимодальных сигналов и машинного зрения [9]	Да	Да	Нет	Нет	Да	Нет

В отличие от этого, большинство существующих решений сосредоточены только на одной или нескольких функциях, что затрудняет удовлетворение комплексных потребностей пользователей. Разрабатываемое решение по ряду характеристик выходит за рамки имеющихся в литературе образцов, особенно в части поддержки мультимодального взаимодействия (голос), следования за целью и экстренных вызовов.

Заключение

Эта интеллектуальная система для инвалидных колясок имеет модульную конструкцию и обеспечивает интеллектуальное управление и безопасность благодаря слиянию нескольких датчиков и управлению в реальном времени.Основу системы составляет главный контроллер

с интегрированной функцией распознавания голоса, который напрямую обрабатывает голосовые команды с микрофона, а также интегрирует данные об окружающей среде с камеры и датчиков расстояния для достижения автономной навигации и предотвращения препятствий.

Система уделяет особое внимание взаимодействию человека и машины, сочетая голосовое управление с физическими кнопками для интуитивного и простого управления.

Дизайн полностью учитывает реальные потребности людей с ограниченными возможностями и обеспечивает баланс между функциональностью, безопасностью и простотой использования, отражая инженерную концепцию гуманизированных интеллектуальных вспомогательных устройств. Синергия между модулями образует эффективную и надежную систему замкнутого цикла, обеспечивая безопасное и автономное решение для передвижения людей с нарушениями подвижности.

Список использованных источников

1. Фань Чансян. Разработка и внедрение роботизированной руки с канатным приводом на базе инвалидной коляски. Южно-Китайский технологический университет. – 2016 г.

2. Ли Яояо, Тянь Чжихун. Исследование ключевых технологий захвата цели роботизированной рукой на базе электрической инвалидной коляски, Тяньцзиньский университет науки и технологий. – 2019.

3. Цзян Х., Чжан Т., Вахс Дж. П., Дуэрсток Б. С. Улучшенное управление роботом-манипулятором, установленным на инвалидной коляске, с использованием трехмерного зрения и мультимодального взаимодействия. – 2016. – С. 21-31.

4. Ван Сюй. Исследование системы управления манипулятором инвалидной коляски с использованием технологии зрительно-двигательного процесса. Магистерская диссертация Университета Цзинань. – 2020.

5. Карпов Д. Для инвалидов-колясочников: на пути к многофункциональным роботам с нейробиологическими интерфейсами.

6. Чи Хао. Проект системы слежения за инвалидной коляской на основе компьютерного зрения.

7. Мартенс С., Пренцель О., Грезер А. Реабилитационные роботы FRIEND-I и II: независимость в повседневной жизни посредством полуавтономного выполнения задач [M], INTECH Open Access Publisher. – 2007.

8. Ван Юаньюань. Исследование метода автономного захвата роботизированной руки для инвалидной коляски на основе 6-DOF GraspNet [D], Харбинский технологический институт. – 2023.

9. Ли Юаньцин, Лу Цзылин, Чжоу Яцзюнь и др. Система роботизированных манипуляторов для инвалидных колясок, основанная на объединении управления мультимодальными сигналами и машинным зрением [P].

РАЗРАБОТКА КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ

Борзенко Е.И.[1], Сафиуллина А.А.[2]
[1] Томский Государственный университет, кафедра автоматизации технологических процессов, зав. каф. e-mail: borzenko@ftf.tsu.ru
[2] Томский Государственный университет, кафедра автоматизации технологических процессов, лаборант, e-mail: safiullina.aleksandra@yandex.ru

Аннотация

В работе представлена разработка автоматизированной климатической камеры, предназначенной для создания и поддержания настраиваемых условий среды, таких как температура, освещенность и влажность. Данная работа охватывает 3D-проектирование камеры, создание программно-аппаратной составляющей системы управления, тестирование прототипа.

Ключевые слова: климатическая камера, параметры среды, микроконтроллер, автоматизация, мониторинг.

Введение

Современный мир с его растущими потребностями сталкивается с необходимостью обеспечения продовольственной безопасности, которую можно достигнуть путем применения современных технологий. В статье [2] обсуждается вопрос о более эффективном овощеводстве и селекции с применением «умных» климатических камер. В этих условиях разработка и применение климатических камер, позволяющих моделировать и изучать влияние различных факторов окружающей среды на объекты и процессы, приобретает особую актуальность. Такие камеры способны обеспечивать не только температурный режим, но и определенную влажность, освещенность, газовую концентрацию, кислотность среды. Подобные устройства находят применения в различных науках о растениеводстве, в химической промышленности, фармацевтике, хранении.

Климатические камеры, представленные на рынке, имеют широкие диапазоны рабочих параметров. Такие установки используются, как правило, в лабораторных условиях, отличаются большими размерами и высокой стоимостью и производятся на заказ специально для исследовательских задач.

Цель работы состоит в разработке небольшой камеры, которая, в частности, может быть использована для выращивания растений как в домашних условиях, так и в лабораторных для исследования влияния климатических условий и освещения на развитие растительных культур. Такая камера планируется быть менее габаритной, чем подобные устройства и доступной в приобретении для домашних целей. Поставлены следующие задачи: 3D-проектирование камеры, разработка печатной платы управления, разработка программного обеспечения и тестирование прототипа

Основная часть

Для проектирования камеры была использована среда 3D-моделирования и проектирования КОМПАС-3D, Корпус камеры был изготовлен из поликарбоната с использованием лазерной резки, обеспечивающей высокую точность и качество исполнения. В качестве термоизоляционного материала использован пенопласт, предотвращающий теплопотери. Общий внутренний объем камеры составляет 156 см².

Для мониторинга параметров микроклимата внутри камеры используются цифровые датчики температуры, аналоговые датчики влажности воздуха и почвы, а также датчик освещенности. Оперативный мониторинг состояния камеры осуществляется посредством дисплея, а регистрация значений параметров – через терминальную программу компьютера, что обеспечивает возможность дальнейшей обработки и анализа данных.

Камера оснащена светодиодными лентами с белым и УФ светом, термоэлектрическим модулем Пельтье с радиаторами для нагрева и охлаждения, центробежным вентилятором, обеспечивающим циркуляцию воздуха, а также ультразвуковым увлажнителем воздуха.

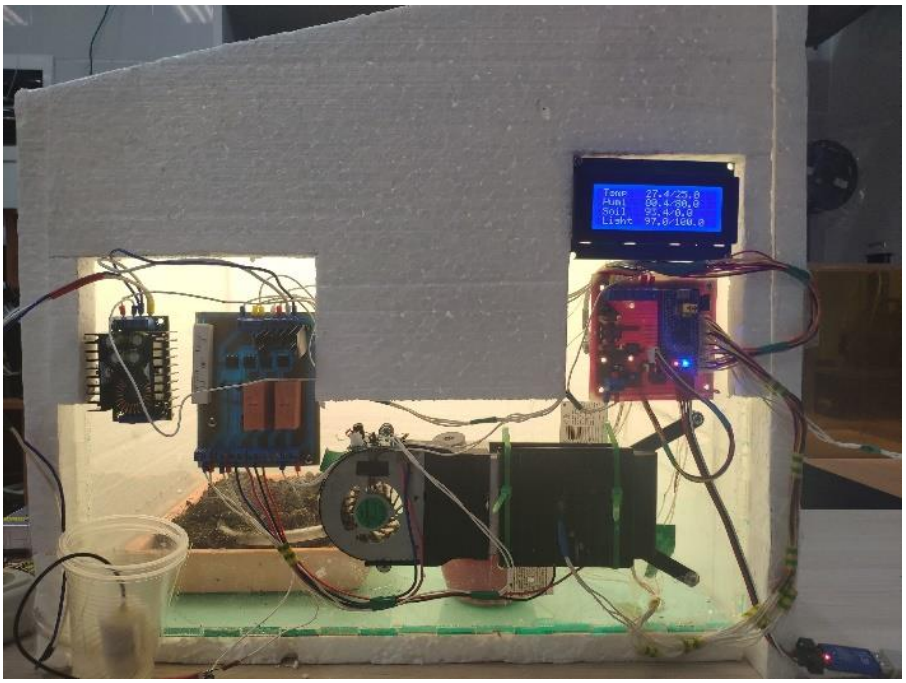


Рис. 1. Прототип климатической камеры

Платы управления спроектированы в среде EasyEDA и разделены на плату управления активными элементами (АЭ) и плату управления всей системой. Плата управления системой включает в микроконтроллер (МК) STM32 и отвечает за сбор данных с датчиков, обработку информации, управление пользовательским интерфейсом на дисплее и передачу управляющих сигналов на плату управления АЭ. Плата управления активными элементами предназначена для приема управляющих сигналов с основной платы и активации/деактивации активных элементов, отвечающих за создание и поддержание заданных климатических условий внутри камеры. К ним относятся: модули Пельтье для нагрева и охлаждения, вентиляторы, ультразвуковой увлажнитель воздуха, насос для полива, а также светодиодные ленты.

Программное обеспечение разработано в среде STM32CubeIDE для микроконтроллера STM32. Регулировка параметров климата осуществляется путем сравнения текущих значений с заданными. При обнаружении отклонений микроконтроллер формирует управляющие сигналы для платы управления АЭ, направленные на коррекцию климатических условий. Настройка требуемых значений параметров осуществляется двумя способами: через меню дисплея, используя кнопки управления, или путем передачи пакета байт с компьютера по UART. Для реализации управления через дисплей разработана специальная библиотека, обеспечивающая навигацию по разделам меню (ручная настройка, выбор предустановленных режимов, ручное управление активными элементами). Для связи с компьютером разработан протокол, согласно которому данные передаются с компьютера на STM32 и записываются в буфер, определяя новые значения настраиваемых параметров.

Результаты

Функционирование системы исследовалось в двух режимах: при поддержании постоянных значений параметров (постоянный режим) и при изменении значений по расписанию (интервальный режим).

На рисунке 2 представлен график, иллюстрирующий динамику температуры внутри климатической камеры в постоянном режиме, где целевое значение установлено на 30 °C. Анализ графика выявляет характерные колебания температуры, указывающие на чередования нагрева и охлаждения, обусловленные низкими термоизоляционными свойствами системы. Диапазон рабочих температур, обеспечиваемый данной камерой, лежит от минимальной отметки в 14 °C до максимальной в 40 °C.

В интервальном режиме работы системы, настроенной на последовательную смену трех температурных состояний (30, 28 и 20 °C с допустимым отклонением ±1 °C), на графике (рисунок 2) отчетливо прослеживаются три чередующихся периода. Отсутствие активной системы охлаждения обуславливает снижение температуры за счет естественной теплоотдачи в окружающую среду, приближаясь к комнатной температуре.

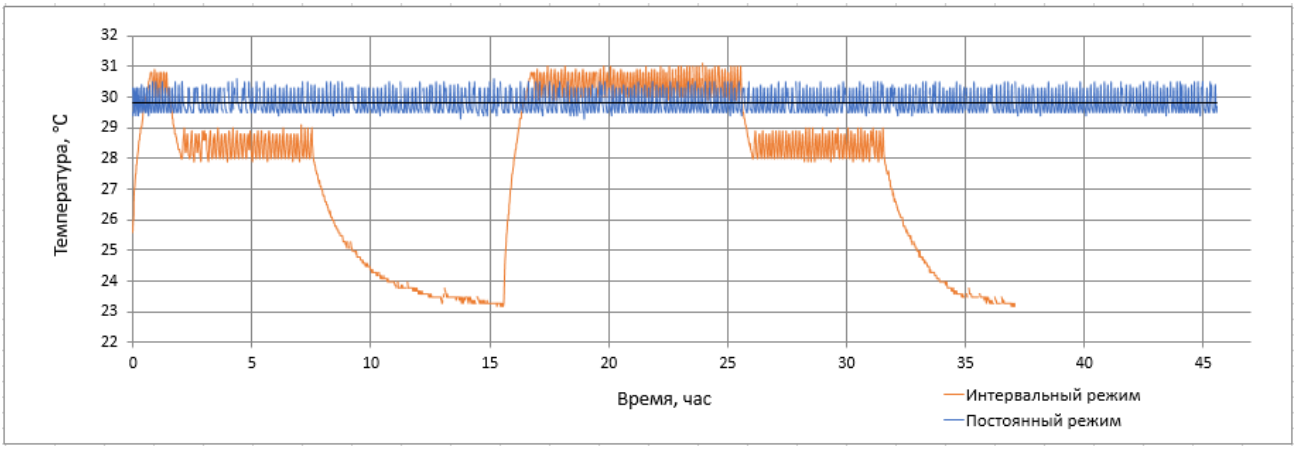


Рис. 2. Динамика температуры внутри камеры

Измерение влажности воздуха осуществляется посредством аналогового датчика, однако наблюдаются значительные помехи в его работе, проявляющиеся в разбросе значений, превышающих 15 %. Данный фактор обуславливает резкие колебания показаний, зафиксированные на рис. 3, что, в свою очередь, приводит к кратковременным включениям ультразвукового увлажнителя. В условиях изоляции уровень влажности воздуха практически не снижается со временем (менее 5 % за 45 часов). Для эффективного понижения влажности в камере необходимо предусмотреть реализацию системы проветривания.

На графике, отражающем измерения влажности воздуха в интервальном режиме (рисунок 3) представлены два заданных уровня – 40 % и 80 %. Аналогично предыдущим наблюдениям, отмечается значительный разброс показаний влажности.

На рисунке 4 представлена динамика изменения влажности почвы после полива в течение 45 часов. За этот период зафиксировано снижение уровня влажности менее чем на 15 %.

На данном этапе управление освещением реализовано в виде включения и выключения светодиодных лент. При включенном состоянии показания освещенности демонстрируют колебания в районе 95 % (рисунок 5). В интервальном режиме четко прослеживаются изменения настроек параметров освещенности, отражающие переходы между включенным и выключенным состояниями.

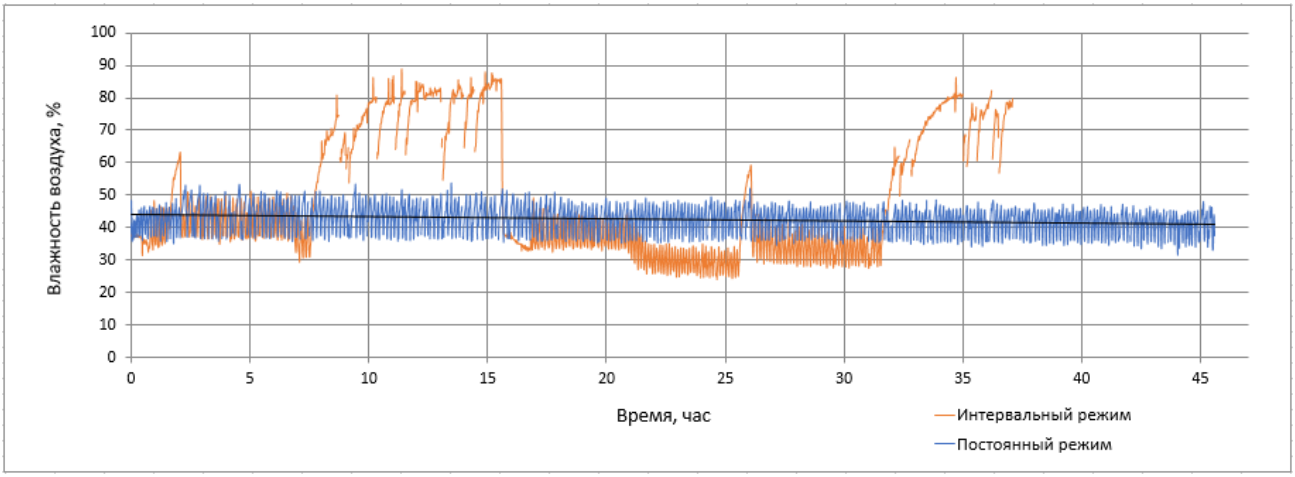


Рис. 3. Динамика влажности воздуха внутри камеры

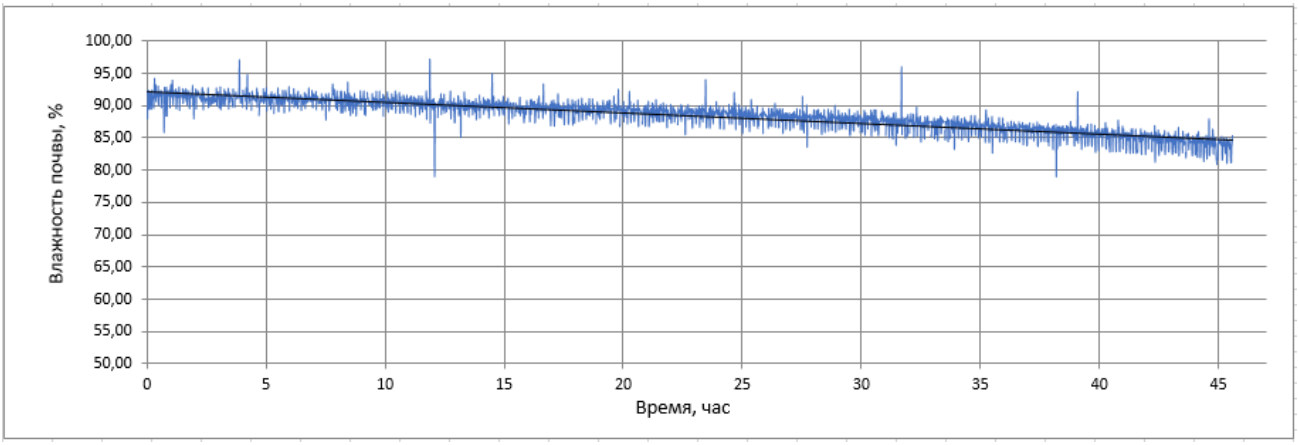


Рис. 4. Динамика влажности почвы внутри камеры

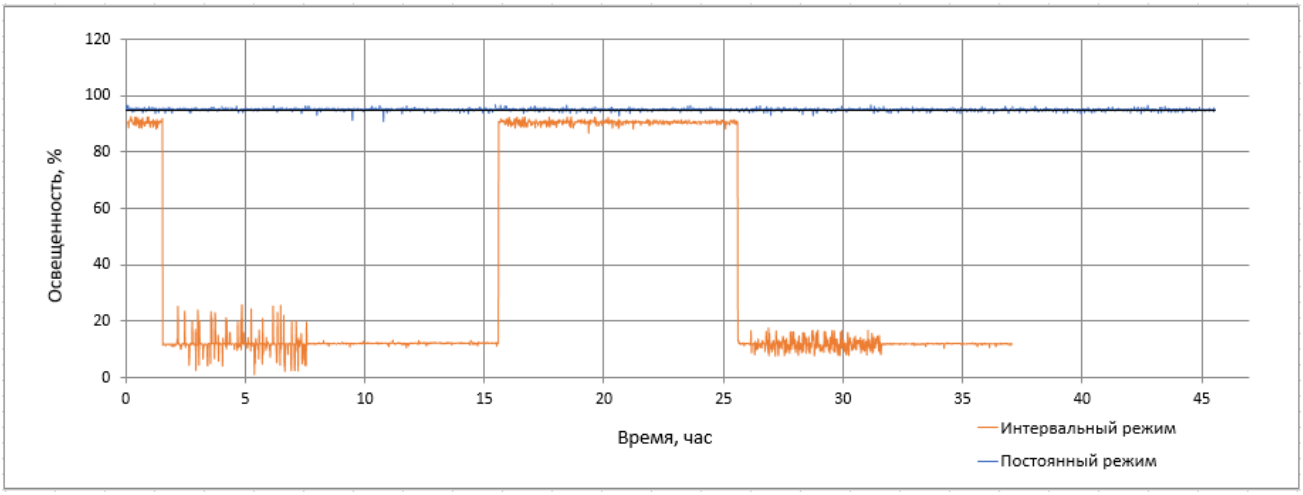


Рис. 5. Динамика освещенности внутри камеры

Заключение

На текущий момент разработанная камера обладает следующими функциональными возможностями: поддержание температуры до 40 °С, автоматизированный полив, включение светодиодных лент по заданному расписанию, а также увлажнение воздуха до требуемого уровня. Информация, поступающая с датчиков, отображается на дисплее, обеспечивая оперативный контроль за параметрами. Управление системой осуществляется

как посредством дисплейного меню, предоставляющего возможность выбора предустановленных режимов работы или ручной настройки параметров, а также включения/выключения отдельных активных элементов, так и через проводное соединение с компьютером по разработанному протоколу. При этом данные с датчиков не только отображаются, но и передаются на компьютер для дальнейшей обработки и записи.

Список использованной литературы

1. Старцев О.В., Лебедев М.П., Кычкин А.К. Старение полимерных композиционных материалов в условиях экстремально холодного климата // Известия АлтГУ. – 2020. – № 1(111). – С. 41-51.

2. Семенова Н.А, Гришин А.А., Дорохов А.А Аналитический обзор климатических камер для выращивания овощных культур // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 1. – С. 5-15.

3. Alarfaj, Y A Practical Example of Fractional Order Generalised Predictive Control: Forced Ventilation in A Micro-Climate Test Chamber // IFAC-PapersOnLine. – 2019. – Vol. 52. – P. 97-102.

НАХОЖДЕНИЕ И КОРРЕКЦИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ РОБОТА ROBOTINO FESTO 4 ПО СРЕДСТВОМ QR-КОДА

Командинов П.А. [1], Кривошеев Н.А. [2]
[1] НИ ТПУ, г. Томск (студент гр. 8ВМ42 ОИТ, ИШИТР), e-mail: pak37@tpu.ru
[2] НИ ТПУ, г. Томск (старший преподаватель ОИТ, ИШИТР), e-mail: nikola0212@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается использование QR-кодов для определения местоположения мобильного робота, что позволяет улучшить точность навигации в ограниченных пространствах. Описываются основные принципы работы с QR-кодами, включая их размещение, сканирование роботом и обработку полученных данных для корректной ориентации в пространстве. Статья подчеркивает эффективность технологии QR-кодов в приложениях для робототехники, таких как складская логистика и образовательные проекты, где точная навигация и адаптация робота к изменениям среды играют ключевую роль. Так же в статье рассматривается несколько способов улучшить качество определения местоположения тем самым повысив точность нахождения местоположения робота.

Ключевые слова: QR-код, робот, камера.

Введение

В современном мире мобильные роботы, играют важную роль в различных сферах, включая промышленность, логистику, образование и исследовательские проекты. Одной из важнейших задач, стоящих перед такими роботами, является точная навигация и определение местоположения в сложных и ограниченных пространствах. Технологии, обеспечивающие ориентацию робота, становятся всё более разнообразными и доступными. Одним из интересных и эффективных решений для этой задачи является использование QR-кодов.

QR-коды представляют собой двухмерные штрихкоды, которые могут содержать информацию о местоположении или других данных, необходимых для точной навигации. С помощью QR-кодов можно обеспечивать высокую точность и простоту в определении положения робота в реальном времени. Это особенно актуально в закрытых помещениях, где традиционные методы навигации, такие как GPS, могут быть неэффективными. Использование QR-кодов для ориентации робота позволяет значительно улучшить точность навигации, а также предоставляет гибкость и масштабируемость в проектировании системы.

Целью работы является исследование возможности использования QR-кодов для нахождения местоположения мобильного робота, а также анализ преимуществ и ограничений этого метода для эффективной навигации, анализ различных методов увеличения точности использования QR-кода. Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Рассмотреть принципы работы QR-кодов в контексте навигации мобильных роботов.
2. Оценить преимущества и недостатки использования QR-кодов для определения местоположения.
3. Изучить применения данной технологии в реальных сценариях, таких как логистика и образовательные проекты.
4. Изучить, разработать и протестировать методы повышения качества поиска и управления роботом.

Введение в технологию QR-кодов

Для начала нужно рассмотреть, что из себя представляет технология QR-кода.

QR-код (Quick Response Code) – это двухмерный штрихкод, который может содержать разнообразную информацию, включая текст, ссылки на веб-страницы, контактные данные и

даже координаты, так же в QR-код можно записывать информацию о роботе, например, его номер и т.п. В последние годы QR-коды стали популярным инструментом для упрощения процессов обмена информацией и автоматизации различных операций. Одной из интересных областей их применения является навигация, где QR-коды используются для определения местоположения объектов в пространстве.

Описание мобильного робота Robotino Festo 4

Робот предназначен для обучения и проведения научных исследований в области робототехники и автоматизации. Он оснащён различными сенсорами, такими как камеры, датчики расстояния, гироскопы, и использует различные алгоритмы для автономной навигации. Однако для точного позиционирования робота в условиях, где не всегда доступны GPS-сигналы или другие внешние источники, требуется дополнительная система ориентирования.

Использование QR-кодов для нахождения местоположения

Для повышения точности навигации и определения местоположения робота в ограниченных пространствах, таких как лаборатории, склады или другие закрытые помещения, можно использовать QR-коды. Они обеспечивают простой и экономичный способ маркировки точек на пути робота, а также помогают с точностью определять его местоположение пример использование QR-кода представлен на рисунке 1.

Рис. 1. Использование QR-кода на роботе и детекция его с помощью камеры

Принцип работы

1. **Размещение QR-кодов в среде**: QR-коды размещаются на стенах, полу или других объектах в рабочем пространстве в данном случае QR-код размещен на самом роботе. Каждый QR-код связан с уникальной информацией, которая может содержать, например, координаты места или идентификатор конкретной области.

2. **Сканирование QR-кодов роботом**: робот может быть оснащён камерой, которая может сканировать QR-коды в реальном времени. Когда робот проходит мимо QR-кода, камера считывает его, и система робота получает информацию о текущем местоположении. Но в нашем случае камера расположена на потолке над рабочей поверхностью и считывает его сверху.

3. **Интерпретация данных**: после считывания QR-кода система робота обрабатывает полученные данные и на основе них обновляет информацию о текущем местоположении робота. Это позволяет роботу ориентироваться в пространстве и корректировать маршрут в реальном времени.

4. **Алгоритм навигации**: на основе полученной информации о местоположении и ориентации, робот может выполнять необходимые маневры для достижения заданной цели, избегать препятствий и адаптироваться к изменениям в окружающей среде.

Методы коррекции робота с помощью QR-кодов

Использование QR-кодов для навигации мобильных роботов, позволяет существенно улучшить точность их позиционирования и ориентирования в пространстве. Для корректировки движения робота и точности его позиционирования применяются различные методы, которые могут быть использованы для корректировки ошибок, возникающих при сканировании и обработке QR-кодов. Рассмотрим три таких метода.

1. Преобразование перспективы снимка (перенести и сделать метод первым)

Первый метод коррекции связан с изменением перспективы снимка, который фотографирует камера. Когда камера фотографирует QR-код, угол, под которым камера захватывает изображение, может влиять на точность распознавания метки. Например, если QR-код фотографируется под углом, а не с прямой линии, это может привести к искажению данных. Взятие перспективы нужно строго для вырезания «рабочей области» на изображении и корректировки сторон изображения чтобы они совпадали по размеру с реальными сторонами.

Для компенсации этого искажения используется метод преобразование перспективы. Это предполагает, что после получения снимка QR-кода, изображение будет подвергаться корректировке с помощью алгоритмов для изменения перспективы. Для этого используется библиотека для Python OpenCV.

Как это работает:

- После того как камера робота захватывает изображение QR-кода под углом, алгоритм анализирует искажённую перспективу по заданным заранее точкам.
- Алгоритм применяет математическую модель для преобразования этого изображения в правильную форму, что позволяет более точно распознать данные QR-кода.
- Таким образом, даже если камера фотографирует QR-код под углом, результат будет точным и без ошибок вычислить точное местоположение qr кода на столе в «миллиметрах», относительно стола.

Этот метод помогает значительно улучшить точность распознавания QR-кодов, минимизирую ошибку, связанную с искажениями перспективы, пример изменения с помощью данного метода представлен на рисунке 2.

Рис. 2. Пример применение алгоритма до и после

2. Использование математических формул и вычисление ошибки

Вторым методом коррекции основан на использовании математических формул для вычисления ошибки в местоположении робота. Когда робот сканирует QR-код, он получает информацию о своём текущем положении и ориентируется относительно метки. Однако, из-за различных факторов (например, погрешности в измерениях, неровном расположении камеры, искажение перспективы) может возникать небольшая ошибка в определении точных координат. Погрешность возникает из-за разности уровней высоты между расположением QR-кода на робота и координатах на столе.

Для устранения этой ошибки был разработан подход с использованием математических формул, для вычисления отклонения ошибки. В этих расчетах принимаются во внимание данные начального и конечного положения робота, высота от стола до камеры. Расчет ошибки основывается на отношения углов треугольников рисунок 3.

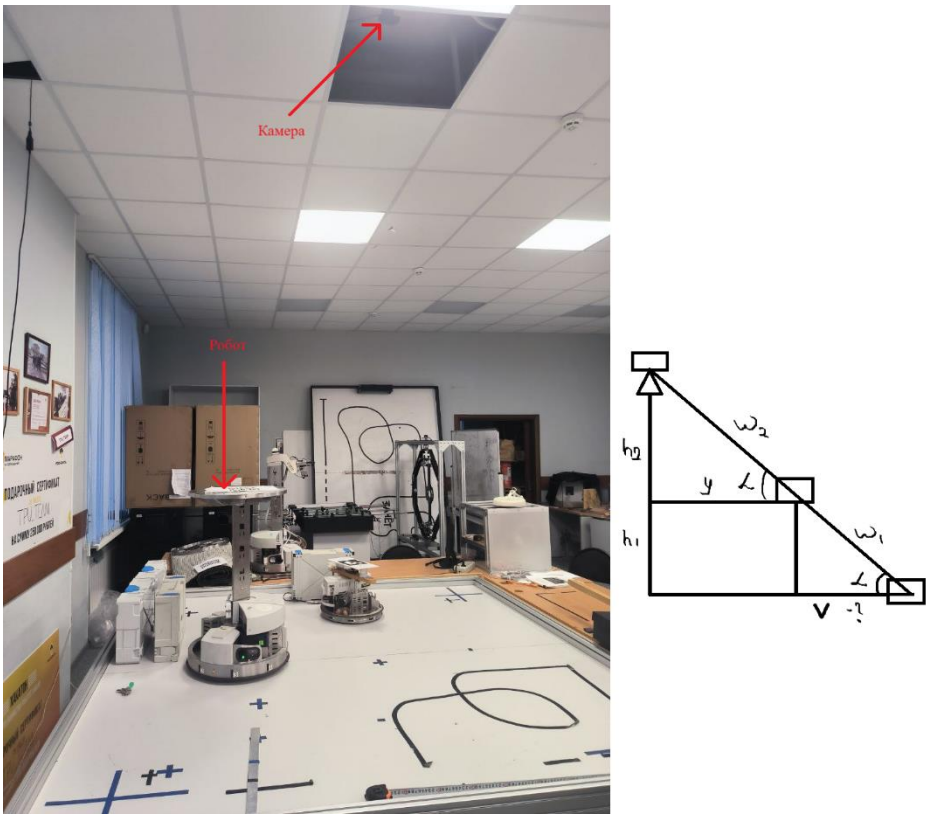


Рис. 3. Пример расположения робота и камеры

Здесь h_2 – расстояние от местоположения QR-кода на вершине робота до камеры, h_1 – высота робота, y – расстояние от центра камеры до QR-кода, v – искомое отклонение реального местоположения QR-кода от перспективы, ω_1, ω_2 гипотенузы прямоугольных треугольников. Ниже представлены основные расчеты нахождения v.

Формулы описывают отношения двух прямоугольных треугольников как отношения их синусов (1.1) и косинусов (1.2).

$$\sin\alpha = \frac{h_1}{\omega_1} = \frac{h_2}{\omega_2} \quad (1.1)$$

$$cos\,\alpha = \frac{y}{\omega_2} = \frac{v}{\omega_1} \quad (1.2)$$

В этом случае можно вывести формулу γ (1.3).

$$v = \frac{y*\omega_1}{\omega_2} \quad (1.3)$$

$$\omega_2 = \frac{h_2}{sina} \quad (1.4)$$

$$\omega_2 = \sqrt{{h_2}^2 + y^2} \tag{1.5}$$

$$\sin\alpha = \frac{h_2}{\sqrt{{h_2}^2+y^2}} \tag{1.6}$$

$$\frac{h_1}{\omega_1} = \frac{h_2}{\sqrt{{h_2}^2+y^2}} \tag{1.7}$$

$$h_2 * \omega_2 = \sqrt{{h_2}^2 + y^2} * h_1 \tag{1.8}$$

$$\omega_1 = \frac{h_1 * \sqrt{{h_2}^2+y^2}}{h_2} \tag{1.9}$$

$$cos\,\alpha = \frac{y}{\sqrt{{h_2}^2+y^2}} \tag{1.10}$$

$$v = \frac{y}{\sqrt{{h_2}^2+y^2}} * \frac{h_1 * \sqrt{{h_2}^2+y^2}}{h_2} = \frac{y*h_1}{h_2} \tag{1.11}$$

В формуле (1.11) выведено значение отклонения между реальным положением робота и необходимым. Этот метод позволяет значительно повысить точность навигации, компенсируя возможные отклонения связанное с изменением перспективы камеры и обеспечивая корректное движение робота.

3. Сравнение нескольких методов по отклонению от нужной координаты

Можно подвести промежуточные выводы после применения двух методов коррекции позиционирования робота с помощью QR-кода (таблица 1)

Таблица 1. Отклонения для разных методов коррекции

Метод коррекции	Отклонение в см.
Изменение перспективы	18 см
Использование формул	**2 см**

Таким образом соединение взятия перспективы и применения формул позволяет сократить отклонение робота в 9 раз. Исследования будут продолжены возможно добавление новых методов к существующим для ещё большего уменьшения ошибки в плоть до нескольких мм.

Заключение

В ходе исследования были рассмотрены различные методы повышения точности позиционирования мобильного робота Robotino Festo 4 с использованием QR-кодов. Анализ показал, что математическая коррекция ошибки, коррекция перспективы изображения и виртуальное приближение поверхности к QR-коду являются эффективными инструментами для улучшения навигации.

В процессе разработки была выдвинута и подтверждена гипотеза о том, что комбинация нескольких методов коррекции позволяет значительно сократить погрешность определения положения робота. В результате проведённой работы реализован подход, включающий несколько этапов обработки изображения, что позволило компенсировать искажения и повысить устойчивость системы позиционирования к внешним факторам. Это даёт возможность роботу точнее ориентироваться в пространстве и надёжно использовать QR-коды для автономной навигации.

Список использованных источников

1. Perspective Transformation – Python OpenCV [Электронный ресурс]. – URL: geeksforgeeks.org/perspective-transformation-python-opencv/ (дата обращения: 10.03.2025)

2. How to project an image in perspective view of a background image – OpenCV, Python [Электронный ресурс]. – URL: medium.com/acmvit/how-to-project-an-image-in-perspective-view-of-a-background-image-opencv-python-d101bdf966bc (дата обращения: 26.02.2025)

3. Python - Detect a QR code from an image and crop using OpenCV [Электронный ресурс]. – URL: stackoverflow.com/questions/60359398/python-detect-a-qr-code-from-an-image-and-crop-using-opencv (дата обращения: 10.02.2025)

4. Detect and read QR codes with OpenCV in Python [Электронный ресурс]. – URL: note.nkmk.me/en/python-opencv-qrcode/ (дата обращения: 15.02.2025)

5. RobotinoWiki [Электронный ресурс]. – URL: wiki.openrobotino.org/ (дата обращения: 10.10.2024)

РАЗРАБОТКА РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УТРАЧЕННОЙ ФУНКЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА

Борзенко Е.И.[1], Жданов Д.С.[2], Макаров Р.Е.[3]
[1] Томский государственный университет, Лаборатория медицинского приборостроения (CyberMed), с.н.с, e-mail: borzenko@ftf.tsu.ru
[2] Томский государственный университет, Лаборатория медицинского приборостроения (CyberMed), зав. лаб., e-mail: D_S_Zhdanov@mail.ru
[3] Томский государственный университет, Лаборатория медицинского приборостроения (CyberMed), лаборант, e-mail: makarov.roman.evg@stud.tsu.ru

Аннотация

В работе представлено описание макета реабилитационного устройства для восстановления утраченной функции верхней конечности, состоящее из экзоперчатки, блока актуаторов и блока управления. Перчатка выполнена по мягкой технологии, а пальцы приводятся в движения с помощью тросовой системы. Блок актуаторов, закрепляется на предплечье, и имеет по два двигателя постоянного тока на каждый палец для реализации движений сгибания и разгибания, соответственно. Разработаны алгоритмы управления с учетом обратный связи по сигналу энкодера установленному на двигателе. Так же имеется возможность контроля движения пальцев по потребляемому каждым двигателем току.

Введение

Инсульт – крайне опасное и тяжелое заболевание, которое поражает сосуды головного мозга. В раннем восстановительном периоде проводят упражнения, направленные на восстановление утраченной функции конечности. В процессе проведения упражнений, врачам помогают соответствующие устройства. В целом можно выделить два типа устройств – направленные на реализацию потерянных движений конечности и обеспечивающие проведение (помощь в проведении) реабилитационных упражнений. В мире ведутся разработки описанных устройств [1-5]. Существуют устройства как стационарные, так и носимые, последние позволяют «надевать» устройство или же комплекс устройств и выполнять упражнения в более комфортных условиях.

Целью настоящего исследования является разработка макета реабилитационного экзоскелета кисти [6-7], позволяющего приводить в движение фаланг пальцев, используя тросы и двигатели постоянного тока. Разработка направлена на реализацию устройства, обеспечивающего контролируемое проведение упражнений для восстановления утраченной функции верхней конечности после перенесенных мозговых катастроф.

Описание устройства

Разработанный оригинальный макет экзоскелета представлен на рисунке 1 и состоит из двух частей (рисунок 2). Первая часть – перчатка (рисунок 3), в которой продеты тросы в виде плетенных нитей с нейлоновым покрытием, позволяющее скользить между сплетений нитей перчатки. Для реализации движения сгибания пальца реализуется управляемое натяжение троса на внутренней части перчатки, а на внешней части трос ослабляется на соответствующую длину. При этом скорости натяжения и ослабления согласуются, чтобы избежать их запутования.

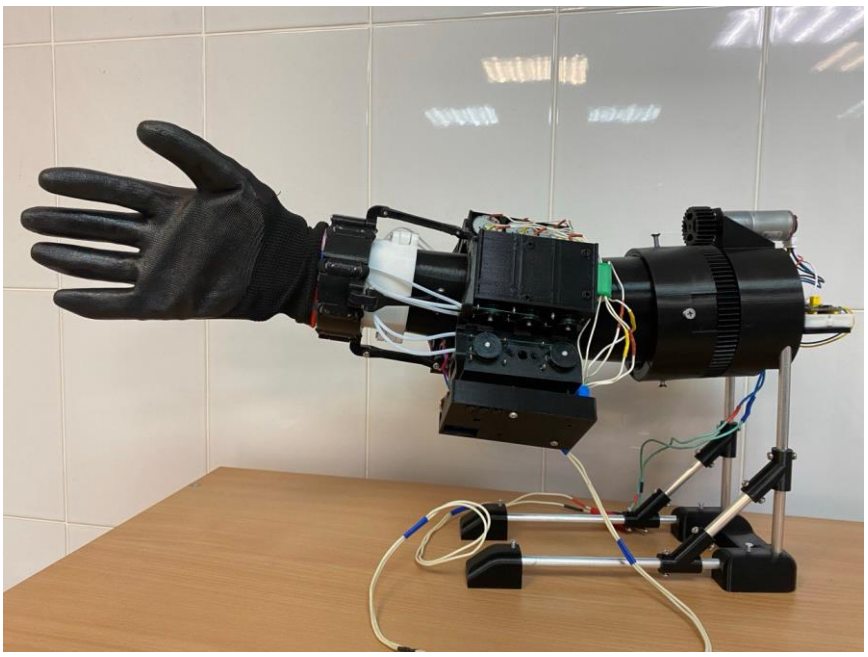


Рис. 1. Макет экзоскелета

Вторая часть – блок управления и приводы показаны на рисунке 2. Последние представляют собой двигатели постоянного тока JGA25-370 с понижающими редукторами. Натяжение тросов осуществляется путем намотки тросов на шкив вала двигателя. Блок управления (рисунок 4) включает печатную плату, показанную на рисунке 5 со следующими компонентами: микроконтроллер STM32F411CEU6, операционные усилители MCP609, датчики тока в виде шунта и драйверы управления двигателями, а также необходимая обвязка перечисленных компонентов в виде подтягивающих резисторов и сглаживающих конденсаторов.

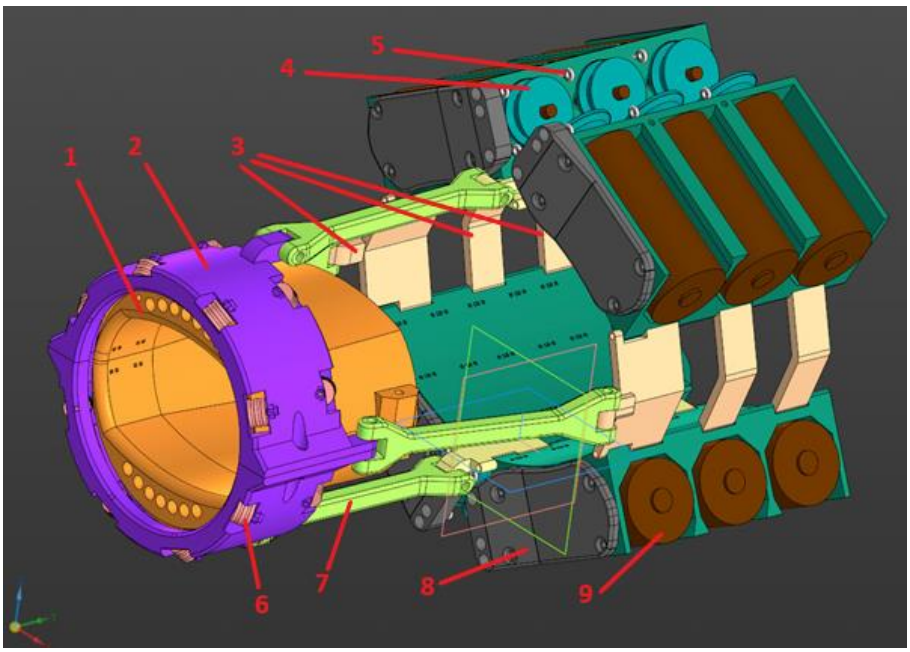


Рис. 2. Модель каркаса экзоскелета: 1 – внутренняя часть крепления к запястью, 2- внешняя часть крепления к запястью, 3 – шарнир для крепления блоков приводов, 4 – шкив, 5 – направляющее кольцо, 6 – ролик, 7 – звено, связывающее обе части экзоскелета (ребро), 8 – крепление тефлоновых трубок, 9 – двигатель.

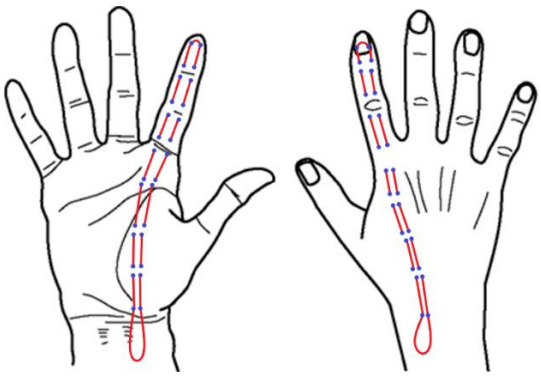


Рис. 3. Схема расположения тросов

Управление экзоскелетом происходит путем отправки определенных команд по USB с персонального компьютера. Команды представляют собой последовательность байт, значения которых позволяют выбрать изменяемый параметр и установить требуемое значение для каждого пальца. Основными параметрами управления являются скорость вращения двигателей, время работы и время задержки перед началом работы.

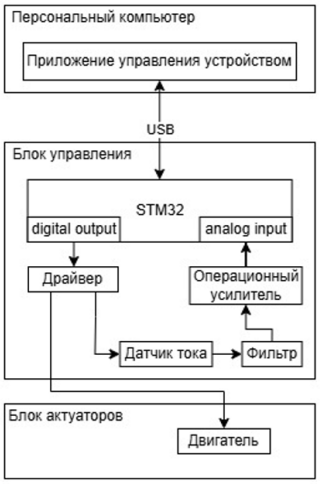


Рис. 4. Блок-схема электрической составляющей блока управления

Регулировка скорости осуществляется путем изменения скважности сигнала (коэффициент заполнения) широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Диапазон устанавливаемых значений от 0 до 100 %. Чем больше коэффициент заполнения, тем большая мощность подается на двигатель, тем самым, увеличивая его вращающий момент. Для плавности движения и минимизации запутования тросов на шкивах, программно реализована корректировка ШИМ сигнала, позволяющая при сгибании пальца разматывать шкив на противоположной стороне, тем самым ослабляя натяжения тросов и не препятствовать сгибанию. Также на блоках приводов имеются направляющие кольца, уменьшающие вероятность запутывания троса.

Падение напряжения на шунте, проходя через операционный усилитель, регистрируется аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) микроконтроллера с заданной скоростью оцифровки 50 измерений в секунду. Во время работы с включенными каналами АЦП, производится отправка пакета данных измеренного напряжения на шунте на терминальную программу ЭВМ и визуализируются. Ток, потребляемый двигателем, рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{x}{4096} * \frac{3.3}{k_{\text{оу}} * R_{\text{шунт}}}, \quad (1)$$

где x – значение, отправленное микроконтроллером STM32, $R_{\text{шунт}}$ – сопротивление шунта, $k_{\text{оу}}$ – коэффициент усиления, опорное напряжения питания микроконтроллера – 3.3 В. Получаемые значения напряжения позволяют судить о токе, потребляемом двигателем. Эти данные в последствии могут быть интерпретированы врачами-реаниматологами на предмет степени нарушения подвижности у пациента или позволят количественно судить о процессе восстановления.

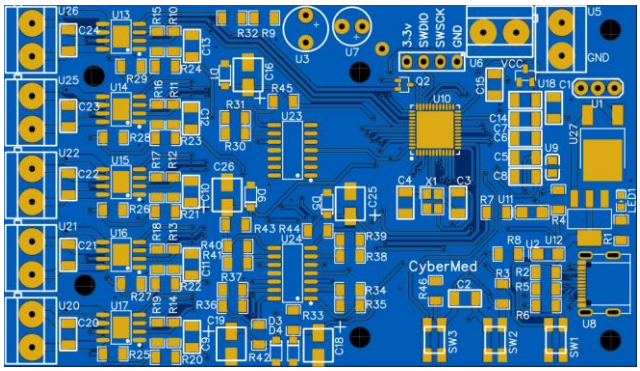


Рис. 5. Печатная плата

Обе части экзоскелета крепятся к общей “базе”, представляющей собой каркас, напечатанный на FDM принтере. Каркас состоит из блока крепления к запястью и блока актуаторов, закрепленного на предплечье. Последние соединены друг с другом шарнирами, которые обеспечивают их относительное движение. Крепление к запястью состоит из внутренней и внешней частей. Внешняя жестко закреплена с блоками приводов, обеспечивая опору для внутренней части крепления к запястью, последняя способна вращаться вместе с самим запястьем кисти. Для уменьшения трения тросов о поверхность частей каркаса, использованы тефлоновые трубки, концы которых крепятся к внутренней части крепления к запястью и блокам приводов.

Управление экзоскелетом осуществляется с приложения на персональном компьютере, представленном на рисунке 6, позволяющее устанавливать коэффициент заполнения, время работы и время задержки перед началом работы. Также имеется возможность инициализировать каналы АЦП, отдельно для каждого двигателя. Осуществляется отрисовка кривых зависимости падения напряжения на шунте канала от времени работы, время задержки не учитывается в отрисовке графика.

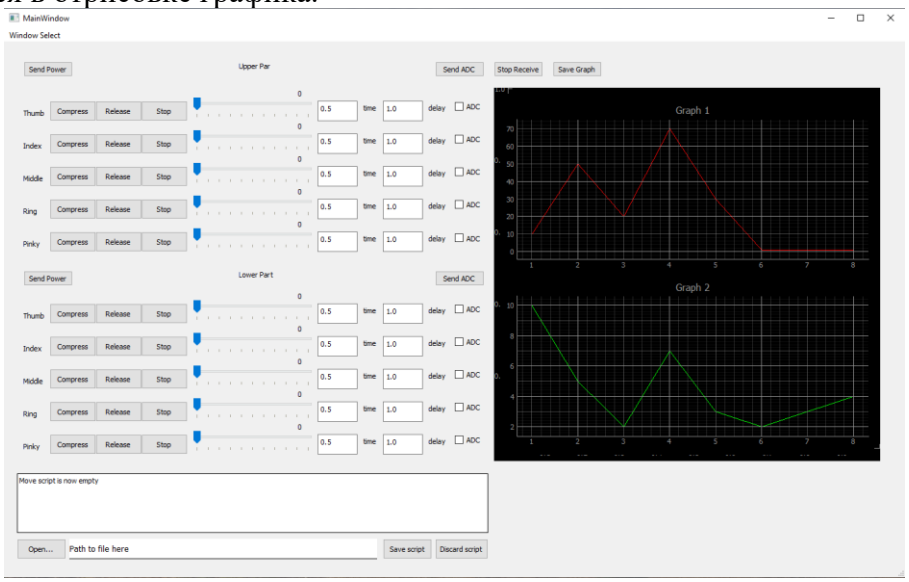


Рис. 6. Приложение для управления экзоскелетом

Заключение

Разработан макет активного экзоскелета кисти человека, выполненного по мягкой технологии. Макет позволяет реализовывать независимые движения каждым из пяти пальцев, путем натяжения тросов, проведенных через перчатку. При этом на каждый палец приходится два двигателя постоянного тока для выполнения движения сгибания и разгибания. Установленные на вал двигателя энкодеры обеспечивают обратную связь и позволяют осуществлять регулирование скорости и контроль угла поворота. Для достижения необходимой силы натяжения применяются редукторы. Контроль потребления тока двигателя дает дополнительную информацию и позволяет судить о степени подвижности пальца.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № FSWM-2025-0020.

Список использованных источников

1. Yurkewich, A., Kozak, I.J., Hebert, D., Wang, R.H., Mihailidis, A. Hand Extension Robot Orthosis (HERO) Grip Glove: Enabling Independence amongst Persons with Severe Hand Impairments after Stroke. // J. NeuroEng. Rehabil. – 2020. – Vol. 17. – P. 33.

2. Connelly, L., Jia, Y., Toro, M.L., Stoykov, M.E., Kenyon, R.v., Kamper, D.G. A Pneumatic Glove and Immersive Virtual Reality Environment for Hand Rehabilitative Training after Stroke // IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng. – 2010. – Vol. 18. – P. 551-559.

3. Thielbar, K.O., Triandafilou, K.M., Fischer, H.C., O'Toole, J.M., Corrigan, M.L., Ochoa, J.M., Stoykov, M.E., Kamper, D.G. Benefits of Using a Voice and EMG-Driven Actuated Glove to Support Occupational Therapy for Stroke Survivors // IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng. – 2017. – Vol. 25. – P. 297-306.

4. Yurkewich, A., Kozak, I.J., Ivanovic, A., Rossos, D., Wang, R.H., Hebert, D., Mihailidis, A. Myoelectric Untethered Robotic Glove Enhances Hand Function and Performance on Daily Living Tasks after Stroke // J. Rehabil. Assist. Technol. Eng. – 2020. – Vol. 7. – DOI: 10.1177/2055668320964050.

5. CyberGrasp–CyberGlove Systems LLC. [Электронный ресурс]. – URL: cyberglovesystems.com/cybergrasp (дата обращения: 21.04.2022).

6. Борзенко Е.И., Жданов Д.С., Макаров Р.Е., Селезнев А.И., Утукин В., Буреев А.Ш. Мехатронный экзоскелет кисти для реабилитации после инсульта // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2024. – Т. 25, № 2. – С. 101-107. DOI: 10.17587/mau.25.101-107.

7. Борзенко Е.И., Жданов Д.С., Макаров Р.Е., Утукин В.М. Разработка тросовой системы кистевого экзоскелета для восстановления утраченной функции конечности // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 20-22 марта 2023 г. Томск : Изд-во ТПУ. – 2023. С. 285-287.

ADAPTIVE ENCODER ALIGNMENT FOR MAXIMIZING TORQUE AND SPEED IN SYNCHRONOUS MOTORS

Dotti P.[1], Poberezkin N. I.[2]
[1]TPU, School of Computer Science and Robotics, group 8E11, e-mail: pablo1@tpu.ru
[2]TPU, School of Computer Science and Robotics, senior lecturer DAR, e-mail: nikpi@tpu.ru

Abstract

The encoder alignment dictates the resulting direction, speed and torque of the motor at any current. In this paper, an adaptive encoder alignment method and its results are presented. The proposed method achieves high torque at low rotational speeds and allows high rotational speeds simulating the effects of field-weakening techniques.

Keywords: Synchronous motor, encoder alignment, field-weakening, servo controller.

Introduction

Permanent magnet synchronous motors (PMSM) [1] have emerged as a significant technological advancement in the field of electric motors. With their efficient and reliable performance, PMSMs have gained considerable attention in various industries and applications. In contrast to traditional brushed DC motors, PMSMs offer several advantages, including higher efficiency, improved power density, enhanced speed control, and longer lifespan due to the absence of mechanical brushes, so they don't have any mechanical wear and tear. These features make these motors an ideal choice for numerous applications, such as electric vehicles, robotics, aerospace systems, industrial automation, and more [2].

It is worth noting that depending on the application of the synchronous motor, the requirements for it might be different. This paper concentrates on an encoder alignment used in a control system for a motor that was going into an anthropomorphic robotic leg. Therefore, the priorities for this actuator were getting maximum possible torque, unlike drones, for example, that require speed over torque.

Understanding the underlying principles, design considerations, and the control systems of synchronous motors is crucial for maximizing their performance and unlocking their full potential. As the name implies, the motors control system has to have feedback on the position of the rotor. This feedback can be achieved with many different devices, such as hall sensors, incremental encoders, absolute encoders and others. Using the raw feedback from the encoder, however, is not the solution. Two things have to be taken into account: rotor and encoder angle misalignment (further as angle misalignment) and number of motor pole pairs. The angle misalignment is a result of the "0" angle of the rotor not facing the same way as the "0" angle of the encoder. In this paper, a variable encoder alignment method is discussed.

Methods

Popular controllers based on the open-source project "simpleFOC" [3] utilize (field-oriented control) FOC [4] without encoder feedback in order to find the "0" position of the rotor. This is done by setting a static *Iq* current component setpoint, letting the electromagnetic field align the rotor himself. After the rotor aligns with the electromagnetic field the feedback from the encoder is saved as the angle misalignment value. This method never reaches the optimal value for this angle, since the rotor never perfectly aligns with the electromagnetic field. This can be due to many factors such as: cogging torque, spinning friction and others. This method is widely used due to its simplicity and general effectiveness.

"Open loop method" consists in making the motor spin in "open loop control" at slow speeds while tracking the position of the rotor. This way, the "0" position of the rotor can be recorded over several revolutions, that can be either clockwise or counter-clockwise. These zero positions of the rotor angle are later averaged out from all the previously taken measurements. This method is more

complicated but more accurate that the method previously mentioned. It is worth noting that this method was not tested, and will not be mentioned anymore in this paper.

"Speed maximization method" involves setting the *Iq* current to a fixed value and then adjusting the angle to find the smoothest rotation and lowest current consumption while maintaining speed or increasing it. The idea behind this method is that the angle difference that results in the smoothest rotation and lowest current consumption is likely the optimal angle difference between the encoder and the rotor. This method is focused on optimizing the motor's efficiency and performance, as the smoothest rotation and lowest current consumption indicate the best alignment between the encoder and the motor. The main drawback of this method is that it also takes into account the field-weakening effect [5], reducing the motors torque but making it spin faster while drawing less current. It is also worth mentioning that the values for the alignment for clockwise rotation are not the same as the values for anti-clockwise rotation.

One more approach to find the encoder alignment is a "torque maximization method", which consists in finding the value while measuring the torque of the motor with a constant current. The main drawback of this approach is the speed limitations, since it does not take field-weakening effects into account. It is worth noting that the result of this method is usually a single value both for clock wise and counter-clockwise rotation of the rotor.

To find the encoder misalignment value, it is necessary to measure the torque of the motor. A very easy to implement method is attaching a 3-D printed arm of known length to the rotor, and then setting a constant *Iq* current on the motor. This makes the motor spin, making the arm press the scale, measuring the weight the motor created with its torque. Using the formulas (1) and (2) the values of torque are calculated and both torque and angle are recorded:

$$F = m \cdot g\,, \tag{1}$$

$$M = F \cdot l\,, \tag{2}$$

where F is force, m is mass, g is the gravitational constant, M is torque and l is the distance from the applied force to the axis of rotation. Then the experiment must be repeated spinning the motor in the opposite direction.

The adaptive approach for encoder alignment presented in this paper is a fusion of the two last mentioned methods. At lower speeds, the control system uses the value from the torque maximization method. When approaching higher speeds, the control system checks that the motor is not under a heavy load. This is done with the help of the current, since the current is proportional to the torque. If the motor is free of heavy loads, the control system will gradually switch the encoder alignment value while the motor is running, allowing it to go faster, get a smoother speed waveform, and consume less current. When the motor slows down again, the control system will automatically return the value of the encoder alignment back to the torque optimized value.

Results

To conduct the experiments the motor BGM5208-75 was used. This motor has a 24N22P configuration, i. e. it has 11 pole pairs. Thus, the electromagnetic field of the stator has to spin 11 times for the rotor to spin once, so 360 mechanical degrees mean 3960 electrical degrees. To get the feedback of the current angle of rotor, the encoder AS5048b was used. This is an absolute magnetic encoder with a resolution of 12 bits using I2C communication protocol. This allows the feedback of the encoder to be read with a frequency of 2 kHz. As a controller, the development board STM32F411CEU6 was used. The control system has an FOC current controller with space vector PWM integration [6].

Tests using the "simpleFOC" method were conducted. After setting a stationary *Iq* current, therefore creating a static electromagnetic field to which the rotor can align itself to, the feedback from the encoder gave a value of 13.6 degrees. This meant that the electrical zero of the rotor was at a mechanical angle of 13.6 degrees. In order to account for this in the control system, the value was

turned into electrical degrees by multiplying it to the amount of pole pairs (i.e. 11). This resulted in an encoder shift of 149.6 electrical degrees or 13.6 mechanical degrees.

Using these values in the FOC based current controller resulted in sub-optimal performance. The motor was not able to spin using negative currents due to bad encoder alignment, and the angular velocity of the motor with positive currents was less than 5 revolutions per second. This showed extremely bad encoder alignment. However, this method could be improved by taking several measurements and calculating the average value.

Then, the "torque optimization method" was implemented with the same components. As mentioned before, the arm attached to the motor had a length of 0.1445 m. This arm pressed on a scale while the same FOC based current controller held the current of the motor constant, at ±0.1 A during all the experiments. The weight the motor exerted on the scale and the correspondent encoder adaptive angle were recorded. The results for the experiments are shown in tables 1 and 2.

Table 1. Results of torque maximizing method for encoder alignment with positive current values

Current, A	Angle, mechanical degrees	Weight, g	Torque, N*m
0.1	-1	26	0.03685
0.1	0	27	0.03827
0.1	1	29	0.04111
0.1	2	30	0.04252
0.1	3	32	0.04536
0.1	4	30	0.04252
0.1	5	28	0.03969

Table 2. Results of torque maximizing method for encoder alignment with negative current values

Current, A	Angle, mechanical degrees	Weight, g	Torque, N*m
-0.1	4	29	0.04111
-0.1	3	30	0.04252
-0.1	2	31	0.04394
-0.1	1	30	0.04252
-0.1	0	29	0.04111
-0.1	-1	28	0.03969
-0.1	-2	26	0.03685

As it can be seen from tables 1 and 2, the highest torque was achieved with an encoder alignment of an angle in between 2 and 3 degrees, with changes in either direction decreasing the output torque. It was decided to take the average of both values, so an encoder alignment value of 2.5 mechanical degrees was used to align the rotor with the encoder. The speed of this method was measured by setting a higher current setpoint and letting the motor spin freely, as fast as it could. The current draw and the speed of the motor are shown in the graphs in figures 1 and 2.

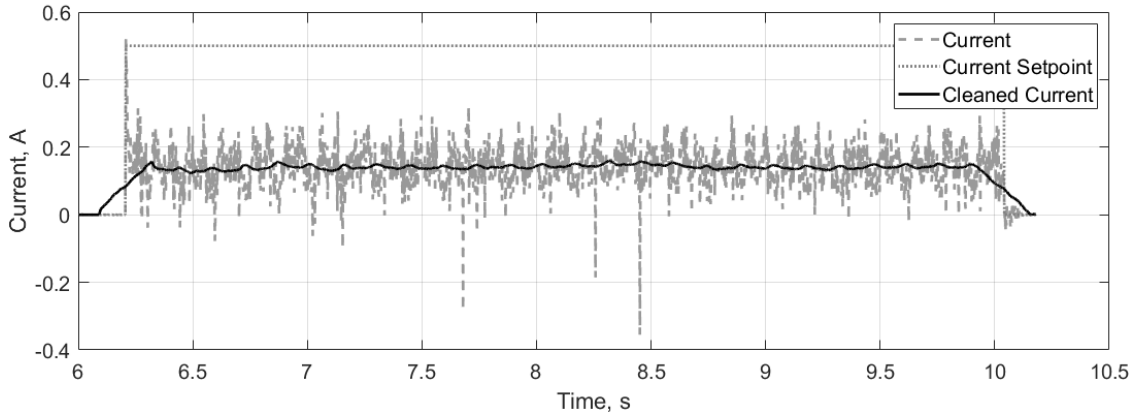


Fig. 1. Current draw of synchronous motor with an encoder alignment maximized for torque

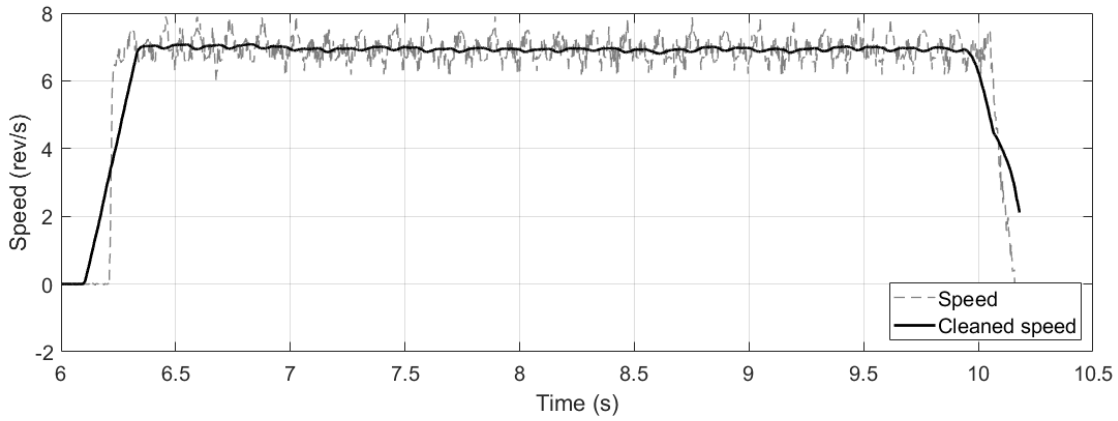


Fig. 2. Rotational speed of synchronous motor with an encoder alignment maximized for torque

From figures 1 and 2 it can be seen that the motor can reach a maximum rotational speed of around 7 revs/s consuming around 0.15 A of current. Given that the current consumption was very high under no load and the speed was very ripply, it was decided to further tune the encoder alignment variable in electrical degrees to have finer control over the angles.

Further fine tuning was done while the motor was running by the same principle of the "velocity maximizing method". The final angle, on top of the 2.5 mechanical degrees, was 45 electrical degrees, or 4.091 mechanical degrees. This resulted in a 6.591 mechanical degree shift, where the current consumption was less than 0.02 A on average and the speed was around 9.5 revolutions per second on average. It is worth noting that the lower current consumption and higher speed are due to this extra angle shift, which takes into account field-weakening.

As per the results of the torque maximizing methods testing, this angle shift would greatly reduce torque. Thus, in the control system, an adaptive encoder alignment algorithm was implemented. This algorithm checks the speed and the current of the motor. If the motor has a rotational speed higher than 5 revs/s and the current draw was less than 80 % of the maximum current, then the encoder alignment adds 45 electrical degrees to the angle, allowing the motor to spin faster, smoother and with less current consumption. If these conditions were not met, then the motor would use the 2.5 mechanical angle alignment that was previously gotten to maximize torque. The results for speed and current consumption of the motor with the adaptive method can be seen in figures 3 and 4.

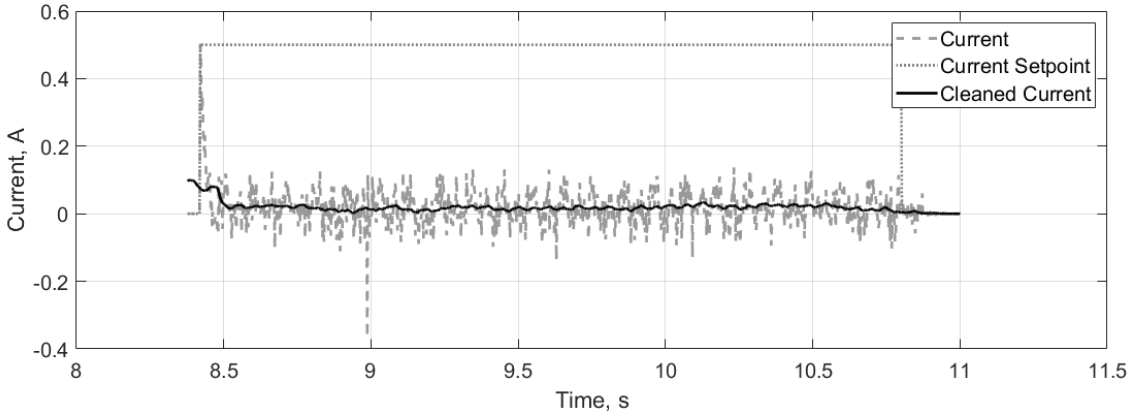


Fig. 3. Current draw of the motor with adaptive encoder alignment at maximum speed

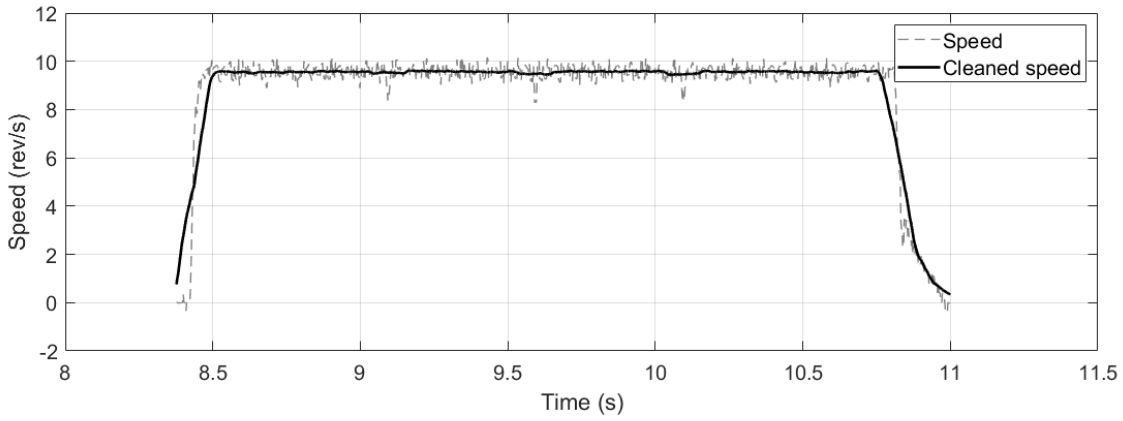


Fig. 4. Maximum speed of the motor with adaptive encoder alignment

Figures 3 and 4 show how the current consumption dropped and the rotational speed is smoother and higher in comparison to the "torque maximizing method". This creates a controller with high-speed capabilities while retaining the possibility to switch to a high torque encoder alignment when it is necessary.

A point could be made that these speeds could increase and become less ripply by making the feedback from the encoder faster. In this paper, the encoder was read with a frequency of 2 kHz, which is not fast enough for a highly dynamic system due to the communication protocols limitation. A "sin/cos" or a "quadrature output" encoder could help making this feedback loop faster.

Conclusion

By making the encoder alignment method adaptive, it was possible to give the system both high torque and speed capabilities. This allows for more complete utilization of the motor's capabilities giving it a wider possible applications range and making it suitable for the original purpose of this servomotor.

It is worth mentioning that the speeds could further be increased by replacing the components of the system, like the encoder, to meet system requirements, or implementing actual field-weakening methods instead of taking it into account in the encoder alignment value.

In the future, it is planned to change the encoder to a quadrature output or a sin/cos one, in order to further research and achieve the optimal encoder alignment method.

References

1. Thike R., Pillay P. Mathematical Model of an Interior PMSM With Aligned Magnet and Reluctance Torques // IEEE Transactions on Transportation Electrification. – 2020. – Vol. 6, no. 2. – P. 647-658.

2. Wang, Q., Wang, S., Chen, C. Review of sensorless control techniques for PMSM drives // IEEE Trans Elec Electron Eng. – 2019. – Vol. 14. – P. 1543-1552.

3. Skuric Antun, et al. SimpleFOC: a field-oriented control (FOC) library for controlling brushless direct current (BLDC) and stepper motors // Journal of Open-Source Software. – 2022. – Vol. 7, is. 74. – P. 4232.

4. Wang, F., Zhang Z., Mei X., Rodríguez J., Kennel R. Advanced Control Strategies of Induction Machine: Field Oriented Control, Direct Torque Control and Model Predictive Control // Energies. – 2018. – Vol. 11, is. 120. https://doi.org/10.3390/en11010120

5. Ji Xuewu, Lv Yingchao. Field weakening control of PMSM used in an electric power steering system // International Conference on Electric Information and Control Engineering, Wuhan, China. – 2011. – P. 2194-2199, doi: 10.1109/ICEICE.2011.5776816.

6. Ynve Solbakken. Space vector PWM intro [Электронный ресурс] – URL: switchcraft.org/learning/2017/3/15/space-vector-pwm-intro (accessed on 01 April 2022).

Секция 4. Компьютерное зрение, обработка естественного языка и интеллектуальные системы

АЛГОРИТМ СОРТИРОВКИ ИЗЮМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Язынин А.К.[1]
Научный руководитель: Фролов О. Ю[2]
[1]*НИИ ТГУ, ФТФ, гр. 102101, sasha.yazynin@gmail.com*
[2]*НИИ ТГУ, ФТФ, к.ф-м.н., доцент каф. АТП*

Аннотация

Для решения задачи об обнаружении изюма с использованием компьютерного зрения разработан алгоритм: основанный на особенности цветовой модели HSV, алгоритме сегментации MOG, бинаризации с использованием метода Оцу и определении изюма посредством функции ORB. Проведена оптимизация цветовых интервалов для повышения точности работы алгоритма.

Ключевые слова: компьютерное зрение, автоматизация, сельское хозяйство, Python

Введение

Согласно статистике [1] сервиса statista.com годовое производство изюма на сезон 2022/2023 года достигло 1,306,700 тонн, две трети из этого числа производится в развивающихся странах [2], где в основном применяется человеческий труд на всех этапах производства: от подготовки гроздей к сушке, до упаковки для дальнейшей продажи. К примеру Узбекистан, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), за 2021 год произвел до 70 тысяч тонн изюма, на более чем 30 000 фермерских хозяйствах с использованием ручного труда, поэтому сложно говорить о каком бы то ни было уровне автоматизации процесса производства изюма. Сам процесс производства подразделяется на: сбор изюма, его сушку, сбор готового изюма, сортировку и упаковку. Автоматизацию первых этапов в условиях фермерских хозяйств реализовать будет сложно, что не скажешь о его сортировке, где внимательности человеческих глаз бывает недостаточно. Ввиду этого целью работы стала разработка алгоритма сортировки изюма по цвету и очистка от мусора с использованием компьютерного зрения.

Основная часть

Первая часть данной работы посвящена внешней периферии, используемой в разработке алгоритма, основн ой идее и реализации самого алгоритма на основе движения изюма. Вторая часть посвящена постановке эксперимента по оптимизации работы и повышении точности обнаружения для дальнейшей сортировки.

Основной процесс разработки алгоритма производится на мини-эвм Raspberry Pi 5, которая несмотря на свою компактность обладает хорошими техническими показателями, а именно: 8 гигабайт оперативной памяти и 4-х ядерный процессор с частотой до 2.4 ГГц, а также интерфейсом GPIO [3]. Также Raspberry Pi обладает собственной операционной системой Pi OS, которая способна обеспечить гибкую конфигурацию мини-эвм для более комфортной работы. В качестве камеры использована smtkey SU 200-MB с частотой в 30 кадров и разрешением 4 мегапикселя, что также достаточно для качественной работы, ведь наличие такой несложной камеры позволит сэкономить мощности мини-эвм при дальнейшей обработке изображения.

С программной стороны разработка алгоритма производится на языке программирования Python с динамической типизацией в среде разработки Visual Code. Выбор языка Python обусловлен его оптимизацией для работы с мини-эвм, а также возможностью работы с компьютерным зрением посредством библиотеки OpenCV, с использованием которой и разрабатывается алгоритм.

Перед тем как перейти к структуре алгоритма необходимо внести ясность: наш видеопоток состоит из кадров. Каждый кадр состоит из пикселей, которые можно представить, как одномерный массив, содержащий числовое представление цвета. Изначально с камеры мы получаем цвет в RGB (red, blue, green − красный, синий, зеленый), который графически можно представить в декартовой системе координат, где по осям будут расположены каждые составляющие цвета, таким образом

получится RGB куб. Недостатком такой цветовой модели является необходимость изменения одной или нескольких координат для того, чтобы получить оттенки одного цвета. Это требует больших затрат вычислительных мощностей. Альтернативой RGB может быть HSV (hue, saturation, value – тон, насыщенность, значение), который можно представить в виде HSV конуса. Особенностью данной цветовой модели является то, что основной цвет кодируется значением тона, а его оттенки – насыщенностью и значением (иначе яркостью). То есть для определения некоторого объекта (в нашем случае изюма), достаточно зафиксировать интервалы насыщенности и яркости и варьировать значения тона. Таким образом для дальнейшей работы каждый кадр переведем из RGB в HSV.

В основе алгоритма лежит BackgroundSubstractorMOG [4]. Это алгоритм сегментации фона/переднего плана на основе гауссовой смеси. Он был представлен в статье "Улучшенная адаптивная модель фоновой смеси для слежения в реальном времени с обнаружением теней" КадьюТраКуПонг и Р. Боуденом в 2001 году. Он использует метод моделирования каждого пикселя фона с помощью K-гауссовских распределений (K = от 3 до 5). Те пиксели, что дольше других неподвижны, и будут представлять собой фон. В результате получается бинарное изображение, где 0 это фон, а 1 это движущийся объект. Существуют и альтернативные алгоритмы сегментации фона, такие как BackgroundSubstractorMOG2 и BackgroundSubstractorGMG, но в отличие от MOG, MOG2 выделяет тени падающие от объекта, GMG использует вероятностную сегментацию переднего плана, что создаёт лишний шум и требует дополнительной обработки для избавления от шума [5]. Сравнение методов приведено на рисунке 1.

Рис.1. Сравнение BackSubstactor методов

Из рисунка 1 видно, что методы GMG и MOG2 создают лишний шум, в отличие от MOG, что усложнило бы работу в связи с обработкой этих шумов, ввиду этого для работы воспользуемся более «чистым» BackgroundSubstractorMOG.

Третьим этапом после цветовых переходов и сегментации фона является обработка шумов и обнаружение контуров для нашего движущегося изюма. Для уменьшения количества шумов воспользуемся Гауссовским размытием с K=5, а затем посредством пороговой бинаризации посредством метода Оцу [6]. Он заключается в построении гистограммы яркости пикселей и нахождении минимальной внутриклассовой дисперсии, как взвешенной суммы дисперсий двух классов. Этот метод в совокупности с размытием по Гауссу лучше показывает себя, нежели классический метод «GLOBAL_TRHRESHOLD» представленный в OpenCV. Сравнение также приведено на рисунке 2.

Рис.2. Преимущество метода Оцу

Для обнаружения контуров используется метод OpenCV «CHAIN_APPROX_NONE», который обнаруживает полный контур от изюма, нежели «CHAIN_APPROX_SIMPLE», строящий контур только по угловым точкам. Второй метод с точки зрения памяти экономичнее, но ввиду

неровностей объекта поиска первый метод дает более точный результат. Затем необходимо сохранить этот контур для дальнейшей работы.

Заключительным этапом в обнаружении изюма является определение того, что это действительно изюм, а не другой объект. Для этого в данной работе используется функция ORB (Oriented FAST and rotated BRIEF) [7]. Она, как следует из названия, является объединением и исправлением ошибок двух методов FAST и BRIEF, что обеспечивает лучшее качество обнаружения. Функция определяет «интересные точки», которые характерны для нашего изюма, затем вычисляет расстояние между этими точками и сравнивает с заранее подготовленными изображениями, если различия достаточно малы, то можно сказать, что перед нами действительно изюм, а не условная гроздь от него. Пример работы функции можно увидеть на рисунке 3.

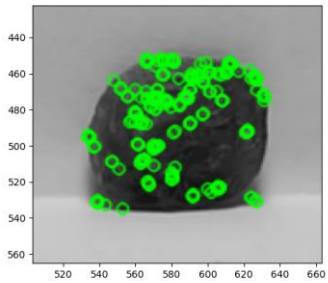


Рис. 3. ORB обнаружение изюма

Для повышения точности работы алгоритма необходимо определить оптимальные цветовые интервалы. После описания программной реализации стоит затронуть сам алгоритм сортировки. Так как целью данной работы является разработка алгоритма сортировки для развивающихся стран, а именно для фермерских хозяйств этих стран, алгоритм не должен быть сложным в практической реализации и обслуживании.

На входе мы кладем изюм разных цветов, очищенный от гроздей, затем посредством силы тяжести он начнется своё движение по желобу, где последовательно установлена пара клапанов с сжатым воздухом, создаваемым компрессором, при прохождении изюма мимо клапана посредством камеры он классифицируется и в зависимости от сорта изюма нужный клапан открывается и изюм выпадает из основного желоба в резервуар с изюмом своего цвета, весь мусор проходит дальше до конца желоба, где попадает в отходы.

В эксперименте было выбрано 50 оранжевых изюмин и 50 черных, каждую из которых медленно провели мимо камеры при разных значениях цвета в условиях: сначала комнатного, затем специального освещения. Ввиду использования ORB то что мы не можем отнести к изюму, не фиксируется программой. Также в OpenCV для фиксации обнаружения создана область, при пересечении с которой изюм считается обнаруженным. Целью эксперимента является проверка точности обнаружения и классификации изюма в зависимости от цветовых интервалов и внешнего освещения.

Результаты

В результате, представленном в таблицах 1-2, полученных в первом эксперименте, были получены оптимальные цветовые интервалы для наилучшего обнаружения изюма, а также выявлена необходимость использования дополнительного освещения для лучшей работы алгоритма. Для черного изюма фиксация первых двух координат связана с особенностью HSV, где значения очень темных оттенков, почти черных, зависит от значения value. Для оранжевого изюма были зафиксированы интервалы для saturation и value, так как необходимы всевозможные оттенки оранжевого цвета. При использовании более широких цветовых интервалов возможно возникновение ошибок или двойной обнаружений, когда один изюм определялся как два. Визуализация обнаружения показана на рисунке 4, где цифры в углу прямоугольников это счетчик обнаруженного изюма.

Таблица 1. Результаты обнаружения черного изюма

Цветовой интервал	При комнатном освещении	С дополнительным освещением
[0;0;0]-[255;255;0]	74%	70%
[0;0;0]-[255;255;5]	80%	72%
[0;0;0]-[255;255;10]	88%	78%
[0;0;0]-[255;255;15]	90%	86%
[0;0;0]-[255;255;20]	98%	100%

Таблица 2. Результаты обнаружения оранжевого изюма

Цветовой интервал	При комнатном освещении	С дополнительным освещением
[100;20;20]-[120;255;255]	30%	32%
[90;20;20]-[130;255;255]	46%	52%
[80;20;20]-[130;255;255]	64%	68%
[80;20;20]-[140;255;255]	70%	72%
[80;20;20]-[150;255;255]	92%	96%

Рис. 4. обнаружение изюма

Заключение

В ходе проделанной работы был разработан алгоритм сортировки изюма с использованием компьютерного зрения для двух разных сортов изюма на основе его цветовых характеристик. Была произведена проверка его работоспособности. Результаты обладают высокой точностью, но в дальнейшем необходимы дополнительные мероприятия по оптимизации для внедрения на практическую установку. Данный алгоритм возможно масштабировать и расширять для других сортов изюма, что поможет упростить процесс производства готового изюма для фермерских хозяйств в развивающихся странах.

Список использованной литературы

1. M. Shahbandeh «Total raisin production worldwide 2011/12-2022/2023». URL: statista.com/statistics/205021/global-raisin-production/ (дата обращения: 29.03.2025).
2. Ключевые рынки изюма: прогнозы и факты // Торговый дом Берекет: сайт. – 2021. – URL: berekat.ru/info/articles/klyuchevye-rynki-izyuma-prognozy-i-fakty/ (дата обращения: 29.03.2025).
3. Rapberry pi Documentation // Raspberry pi: сайт. – 2024. – URL: raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html (дата обращения: 29.03.2025).
4. Обнаружение движущихся объектов с помощью OpenCV с использованием обнаружения контуров и вычитания фона // Хабр: сайт. – 2024. – URL: habr.com/ru/articles/786436/ (дата обращения: 29.03.2025).
5. How to Use Background Subtraction Methods // OpenCV: сайт. – 2011. – URL: docs.opencv.org/3.4/d1/dc5/tutorial_background_subtraction.html/ (дата обращения: 29.03.2025).
6. Обнаружение объектов методом Оцу // Хабр: сайт. – 2011. – URL: habr.com/ru/articles/112079/ (дата обращения: 29.03.2025).
7. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 9, No. 1, 1979, pp. 62-66.

РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА АНОНИМИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЮРИДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Абдрашитов В.Р.[1], Сидоров В.В.[2], Сухоруков А.А.[3]
Научный руководитель: Грива Е.В.[4]
[1]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ,422-1
email: abdrashitov.v.422-1@e.tusur.ru
2Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, 422-3
email: sidlaf@yandex.ru
[3]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, 422-3
email: ars.suhorukov@gmail.com
[4]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, ассистент, email: egor.v.griva@tusur.ru

Аннотация

В статье представлен процесс реализации адаптивного алгоритма анонимизации юридических документов для их безопасного анализа с использованием больших языковых моделей. Рассматриваемый подход сочетает методы распознавания сущностей с локально развернутой языковой моделью для генерации синтетических данных. Решение может позволить использовать преимущества языковых моделей с соблюдением требований законодательства о защите персональных данных.

Ключевые слова: анонимизация данных, юридические документы, большие языковые модели, искусственный интеллект, обработка естественного языка.

Введение

В эпоху цифровизации юридической сферы обработка документов с применением искусственного интеллекта становится важной частью оптимизации юридических процессов. Однако использование внешних программных интерфейсов моделей машинного обучения для анализа юридических документов связано с серьёзными рисками в области защиты персональных данных. Юридические документы часто содержат конфиденциальную информацию, включающую в себя персональные данные физических лиц, коммерческую тайну и иную защищаемую законом информацию. Передача таких данных на внешние серверы для обработки создаёт потенциальные угрозы утечки информации и нарушения законодательства о защите персональных данных.

Необходимость разработки эффективных методов анонимизации юридических документов обусловлена несколькими ключевыми факторами. Во-первых, законодательство в области защиты персональных данных, включая Федеральный закон «О персональных данных» 152-ФЗ и аналогичные нормативные акты в других странах, предъявляет повышенные требования к обработке персональных данных [1]. Во-вторых, рост числа утечек данных и прочих угроз увеличивает риски, связанные с обработкой конфиденциальной информации. В-третьих, специфика юридических документов, содержащих структурированные персональные данные в контексте правовых отношений, требует особого подхода к их анонимизации с сохранением юридической значимости содержания.

Традиционные методы анонимизации, такие как маскирование или полное удаление персональных данных, часто приводят к потере существенной информации, необходимой для качественного анализа документов. Это создает противоречие между требованиями защиты данных и необходимостью сохранения информативности документов для их последующего анализа с помощью больших языковых моделей (LLM) [2].

Обзор существующих методов анонимизации текстовых данных

Существует множество подходов к анонимизации текстовых данных. Методы на основе правил и регулярных выражений используют предопределённые шаблоны и правила для идентификации персональных данных в тексте. Например, регулярные выражения для распознавания номеров телефонов, паспортных данных, адресов электронной почты и т. д. Преимуществом таких методов является их простота и интерпретируемость, однако они часто демонстрируют низкую гибкость при работе с неструктурированными данными и новыми форматами представления персональной информации. Подходы на основе машинного обучения используют различные алгоритмы, включая модели распознавания именованных сущностей (NER), для идентификации персональных данных в тексте [3]. Современные модели на основе глубокого обучения, такие как BERT и его модификации, показывают высокую эффективность в распознавании персональных данных в различных контекстах [4]. Однако эти методы требуют значительных вычислительных ресурсов и обучающих данных. Подход с использованием методов дифференциальной приватности основан на добавлении контролируемого шума к данным или результатам запросов, что обеспечивает математически доказуемый уровень приватности [5]. В контексте текстовых данных эти методы часто применяются для защиты статистической информации, извлекаемой из документов. Методы синтетической генерации данных используют генеративные модели для создания искусственных данных, имитирующих статистические свойства исходных данных, но не содержащих реальной персональной информации. Генеративные предобученные трансформеры (GPT) и вариационные автоэнкодеры (VAE) активно применяются для этих целей [6-7].

Несмотря на разнообразие существующих подходов, большинство из них не учитывает специфику юридических документов, включая их структурные особенности, терминологию и логические связи между элементами. Кроме того, существующие решения часто не обеспечивают необходимого баланса между защитой персональных данных и сохранением информативности документов для их последующего анализа. Разрабатываемый адаптивный алгоритм анонимизации данных направлен на преодоление этих ограничений путём комбинирования методов машинного обучения для распознавания персональных данных с генеративными моделями для создания правдоподобных синтетических замен, учитывающих контекст и специфику юридических документов. Использование большой языковой модели, развёрнутой локально, обеспечивает конфиденциальность процесса анонимизации и позволяет адаптировать алгоритм к конкретным требованиям и особенностям обрабатываемых документов.

Архитектура разработанной системы

Разработанная интеллектуальная система анализа юридических документов представляет собой многокомпонентное решение, основанное на принципах модульной архитектуры. Модуль предварительной обработки документов выполняет первичную обработку загруженных юридических документов различных форматов, включая извлечение текста, нормализацию структуры и сегментацию на логические блоки. Компонент анонимизации данных реализует адаптивный алгоритм анонимизации персональных данных, извлечённых из текста документа. Модуль анализа документов использует внешний API большой языковой модели YandexGPT 5 Pro для глубокого анализа содержания юридических документов, включая извлечение ключевых сущностей, выявление ошибок и рисков, формирование рекомендаций [8]. Модуль восстановления персональных данных осуществляет обратную замену синтетических данных на исходные персональные данные при формировании итогового результата для пользователя. Пользовательский интерфейс обеспечивает взаимодействие пользователей с системой, позволяет осуществлять загрузку документов и получение результатов.

Взаимодействие между компонентами системы организовано по принципу последовательной обработки данных с сохранением промежуточных результатов в защищенном хранилище. Схема архитектуры представлена на диаграмме компонентов системы на рис. 1.

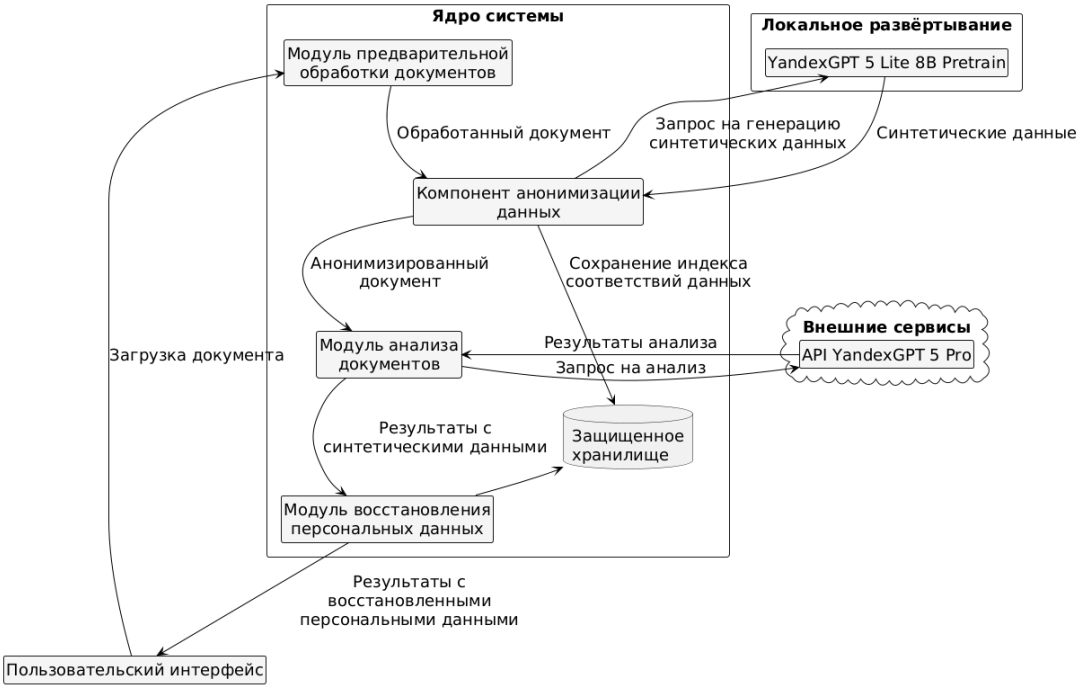


Рис. 1. Архитектура интеллектуальной системы анализа юридических документов

Принципы работы адаптивного алгоритма анонимизации

В основе работы алгоритма лежит двухэтапный процесс обработки текста. На первом этапе происходит выявление персональных данных в юридическом документе с использованием гибридного подхода. Алгоритм сочетает методы на основе правил с нейросетевыми моделями распознавания именованных сущностей.

Для юридических документов характерно наличие структурированных персональных данных определённых типов: ФИО, даты рождения, паспортные данные, адреса, контактная информация, реквизиты юридических лиц, номера счетов и иные идентификаторы. Алгоритм анализирует не только формальные признаки таких данных, но и контекст их упоминания, что позволяет корректно идентифицировать персональные данные даже при нестандартном форматировании или в сложных синтаксических конструкциях.

Особенностью решения является контекстно-зависимый анализ, учитывающий специфику юридического языка. Алгоритм способен различать случаи, когда похожие по структуре данные являются персональными, а когда относятся к общей информации. Например, даты в контексте судебных решений могут относиться как к персональным данным (дата рождения участника процесса), так и к процессуальной информации (дата вынесения решения). Такое разграничение осуществляется благодаря анализу семантического окружения и структурных особенностей документа.

Генерация синтетических данных с помощью локальной языковой модели

После выявления персональных данных активируется второй этап алгоритма – генерация синтетических данных с помощью локальной языковой модели YandexGPT 5 Lite 8B Pretrain [9]. Выбор данной модели обусловлен оптимальным соотношением качества генерации текста и требуемых вычислительных ресурсов. Модель с 8 млрд параметров обеспечивает достаточную мощность для генерации правдоподобных синтетических данных,

при этом может быть эффективно развернута на доступном аппаратном обеспечении. Для функционирования модели была создана изолированная вычислительная среда с использованием контейнеризации, что позволило обеспечить безопасность и масштабируемость решения.

Ключевая особенность подхода заключается в контекстно-зависимой генерации заменителей, сохраняющих логическую связность документа. Локальная большая языковая модель получает на вход выявленные персональные данные вместе с их типом и контекстом употребления, после чего генерирует синтетические заменители, соответствующие оригинальным данным по формату, стилистике и логической согласованности с остальным текстом. Важным аспектом работы алгоритма является сохранение внутренней согласованности документа. При генерации синтетических данных учитываются логические связи между различными упоминаниями одного и того же субъекта. Например, если в документе многократно упоминается одно и то же физическое лицо, алгоритм обеспечивает замену всех упоминаний его персональных данных на согласованный набор синтетических данных. Это позволяет сохранить логическую структуру документа и избежать противоречий, которые могут возникнуть при независимой замене каждого упоминания.

Интеграция с внешним API и обработка результатов

Процесс интеграции алгоритма с внешним API большой языковой модели YandexGPT 5 Pro организован таким образом, чтобы обеспечить бесшовную обработку документов без ущерба для качества анализа. Анонимизированный текст документа передается во внешний API для выполнения целевых аналитических задач. Важно отметить, что алгоритм не только заменяет персональные данные, но и сохраняет метаданные о произведенных заменах. Это позволяет в дальнейшем корректно интерпретировать результаты анализа и при необходимости восстановить исходные данные при формировании ответа для пользователя.

Адаптивность алгоритма проявляется в его способности настраивать степень анонимизации в зависимости от типа документа, чувствительности содержащейся в нем информации и требований к последующему анализу. Для некоторых категорий документов может применяться более агрессивная стратегия анонимизации с заменой широкого спектра данных, в то время как для других достаточно базового уровня защиты. Эта гибкость обеспечивается благодаря параметризации алгоритма и возможности его настройки под конкретные требования.

Оптимизация производительности и безопасность данных

Оптимизация производительности алгоритма достигалась за счет тщательной разработки инструкций для языковой модели. В отличие от простых текстовых запросов, использовались структурированные запросы, включающие информацию о типе анонимизируемых данных, контексте их употребления, требуемом формате замены и логических связях с другими элементами документа. Например, запрос для генерации синтетического ФИО включал информацию о роли лица в юридическом процессе, его возрасте и поле, что позволяло генерировать более правдоподобные замены. Для повышения эффективности работы с запросами была разработана специальная библиотека шаблонов, адаптированных под различные типы персональных данных и юридических документов. Инструкции динамически формировались в зависимости от контекста и требуемого уровня анонимизации. Кроме того, был интегрирован механизм кэширования результатов генерации, что позволило избежать повторных обращений к языковой модели при необходимости замены идентичных персональных данных в разных частях документа.

Особое внимание было уделено разработке механизма обратной замены синтетических данных на реальные для формирования итогового результата пользователю. Для этого в системе был реализован индекс соответствий, хранящий пары «синтетические данные –

реальные данные» в защищённом объектном хранилище с использованием шифрования на стороне сервера.

Интеграция разработанного алгоритма анонимизации с основной системой анализа юридических документов осуществлялась через обращение к программному интерфейсу системы с использованием асинхронного обмена сообщениями. Это позволило обеспечить гибкость архитектуры и возможность горизонтального масштабирования компонентов системы при увеличении нагрузки.

Заключение

Разработанный адаптивный алгоритм анонимизации данных представляет собой современный подход к обеспечению конфиденциальности при обработке юридических документов. В отличие от традиционных методов, сфокусированных на удалении или обезличивании информации, разработанное решение сохраняет семантическую целостность документов, что критически важно для качественного юридического анализа.

Подход имеет практическую значимость, поскольку алгоритм может быть успешно интегрирован в полноценную информационную систему. Реализованное решение может позволить юридическим компаниям и государственным учреждениям использовать преимущества современных больших языковых моделей без риска утечки конфиденциальной информации. Экономический эффект достигается за счет сокращения времени на ручную анонимизацию документов и минимизации юридических рисков, связанных с нарушением законодательства о персональных данных. Алгоритм был успешно внедрён в качестве модуля в разрабатываемую систему для автоматизированного выявления рисков и ошибок в юридических документах и формирования рекомендаций «ИИ-Юрист». Это позволило обеспечить безопасность данных, передаваемых на внешние серверы. Демонстрация работы решения представлена на рис. 2.

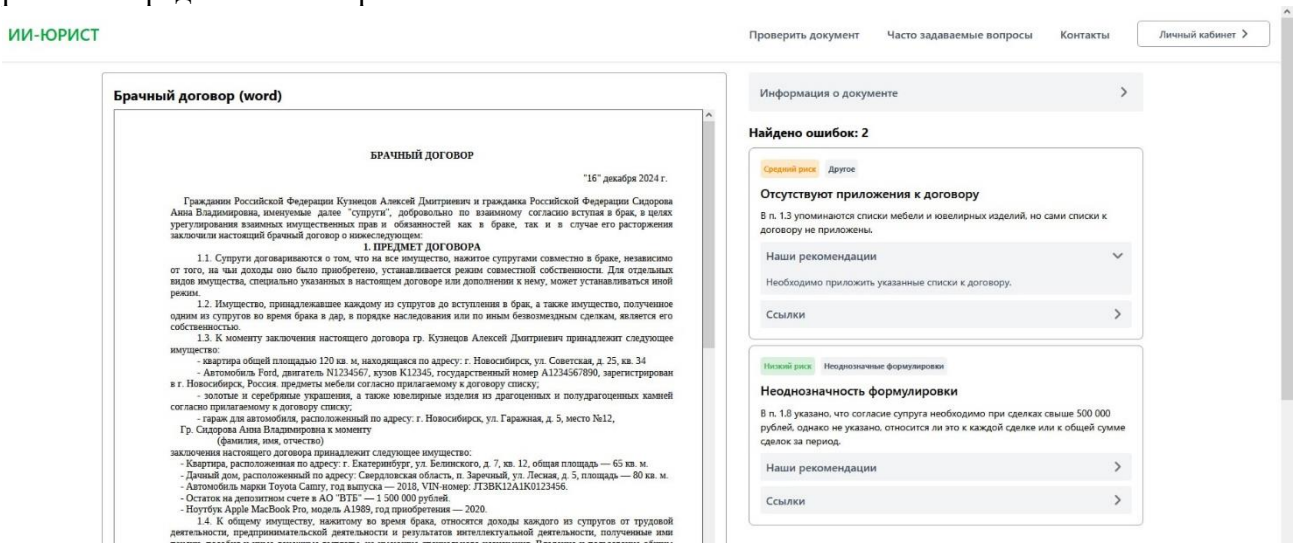


Рис. 2. Страница отчёта по документу в пользовательском интерфейсе системы «ИИ-Юрист»

Внедрение разработанного алгоритма в юридическую практику может способствовать формированию новых стандартов обработки конфиденциальной информации, сочетающих высокий уровень защиты с сохранением аналитической ценности документов. Это особенно актуально в контексте глобальной цифровизации юридической сферы и растущих требований к защите персональных данных со стороны регуляторов. В конечном итоге, разработанный адаптивный алгоритм анонимизации документов не только решает техническую задачу защиты данных, но и способствует формированию доверия к цифровым юридическим системам, что критически важно для их широкого принятия обществом.

Список использованных источников

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ "О персональных данных" // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2006. – № 31 (ч. 1). – 3451 с.

2. Большие языковые модели // Just AI: сайт. – 2023. – URL: just-ai.com/blog/bolshie-yazykovye-modeli-chto-eto-takoe-i-kak-oni-rabotayut (дата обращения: 13.03.2025).

3. Что такое распознавание именованных объектов (NER) // Shaip: сайт. – 2024. – URL: ru.shaip.com/blog/named-entity-recognition-and-its-types/ (дата обращения: 13.03.2025).

4. BERT: Инновационная языковая модель для NLP // Хабр: сайт. – 2022. – URL: habr.com/ru/companies/otus/articles/702838/ (дата обращения: 13.03.2025).

5. Дифференциальная приватность в машинном обучении // Хабр: сайт. – 2024. – URL: habr.com/ru/companies/otus/articles/788332/ (дата обращения: 14.03.2025).

6. История развития GPT-моделей // Skypro: сайт. – 2024. – URL: sky.pro/wiki/python/istoriya-razvitiya-gpt-modelej/ (дата обращения: 14.03.2025).

7. What is a variational autoencoder (VAE)? // TechTarget: сайт. – 2025. – URL: techtarget.com/searchenterpriseai/definition/variational-autoencoder-VAE (дата обращения: 14.03.2025).

8. YandexGPT 5 // Яндекс: сайт. – 2025. – URL: ya.ru/ai/gpt (дата обращения: 17.03.2025).

9. YandexGPT 5 Lite Pretrain // Hugging Face: сайт. – 2025. – URL: huggingface.co/yandex/YandexGPT-5-Lite-8B-pretrain (дата обращения: 17.03.2025).

РЕГИСТРАЦИИ ПОКАЗАНИЙ РТУТНОГО ТЕРМОМЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Чжан Юньда[1], Суханов А. В.[2]
[1]ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 158Т12, e-mail: cy017@tpu.ru
[2]ТПУ ИШИТР ОАР, Доцент ОАР, e-mail: suhanov@tpu.ru

Аннотация

Работа посвящена разработке программного решения для автоматической регистрации показаний ртутного термометра с использованием методов компьютерного зрения. В статье исследуются алгоритмы обработки изображений шкалы термометра и описывается прототип модуля, позволяющего автоматизировать считывание показаний с повышением точности и эффективности.

Ключевые слова: компьютерное зрение, автоматизация измерений, ртутный термометр.

Введение

Несмотря на активное развитие цифровых и электронных термометров, ртутные термометры остаются широко распространёнными в промышленности и лабораторных условиях. Это обусловлено их высокой точностью, стабильностью показаний в широком диапазоне температур и устойчивостью к агрессивным условиям эксплуатации. По оценкам промышленных исследований, в отдельных секторах (химическая, нефтегазовая, металлургическая промышленность) до 30-40 % применяемых измерительных приборов температуры – это ртутные термометры, которые не требуют внешнего питания и обладают высокой долговечностью.

Переход на электронные аналоги или датчики с автоматической передачей данных, несмотря на технологическое преимущество, связан с рядом экономических и технических ограничений. Электронные устройства требуют регулярного обслуживания, калибровки, а также стабильного электропитания, что не всегда возможно в удалённых или опасных условиях эксплуатации. Более того, установка дополнительных сенсорных систем в промышленных масштабах влечёт за собой значительные затраты на модернизацию инфраструктуры, обучения персонала и последующую техподдержку.

Внедрение предлагаемого решения на основе машинного зрения позволяет избежать этих проблем, обеспечивая автоматическое считывание показаний без необходимости в дорогостоящей модернизации. Модуль на основе машинного зрения представляет собой относительно малозатратное дополнение к существующей инфраструктуре, обеспечивая:

- Повышение эффективности без необходимости замены оборудования;
- Минимальные затраты на обслуживание;
- Отсутствие необходимости в калибровке и электропитании на месте измерений.

Таким образом, с точки зрения экономики и технологических процессов, предлагаемый подход позволяет минимизировать затраты при одновременном повышении точности и надёжности регистрации показаний ртутных термометров.

Конфигурация экспериментальной установки

Целью данного проекта является создание программный модуль автоматического считывания показаний ртутного термометра на основе технологий компьютерного зрения. Для реализации этой задачи была собрана экспериментальная установка, включающая в себя промышленную камеру, источник искусственного освещения и специализированное - программное обеспечение.

В качестве устройства захвата изображения использовалась промышленная камера фирмы Hikvision, отличающаяся высокой частотой кадров, разрешением и стабильностью.

Камера подключалась к компьютеру через сетевой кабель с пропускной способностью 1000 Мбит/с. Для настройки камеры был использован инструмент для работы с IP-адресами, а также выполнена калибровка и тестирование устройства. Камера и компьютер были настроены для работы в одной локальной сети с вручную установленными IP-адресами в диапазоне 192.168.1.1 – 192.168.1.254. Для повышения пропускной способности сетевого интерфейса на компьютере была активирована функция передачи больших пакетов данных (Jumbo Frame), что обеспечивало передачу больших объёмов изображений без потерь.

Сама экспериментальная сцена была тщательно организована. Расстояние между камерой и термометром составило 40 см, что обеспечивало оптимальные условия съёмки для последующей калибровки. В лабораторных условиях для равномерного освещения и минимизации отражений по бокам и сзади термометра были установлены источники искусственного света. Фон был однотонным и немарким, чтобы исключить посторонние шумы и повысить контрастность изображения. Это позволило чётко зафиксировать изображение шкалы и ртутного столбика на термометре. Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

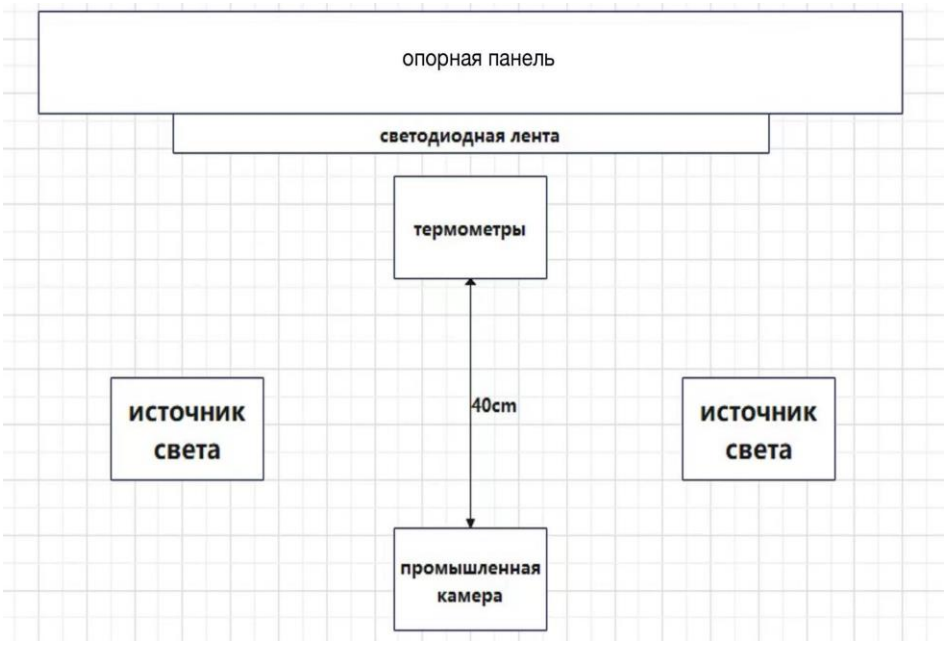


Рис. 1. Конфигурация экспериментальной установки

Специализированное программное обеспечение использовалось для реализации всех этапов алгоритма обработки изображений, от захвата и предварительной обработки до распознавания и вывода результатов. Пользователь создавал проект, импортировал изображение, выбирал шаблон области термометра и настраивал параметры сопоставления. Преобразование цветного изображения в градации серого позволяло уменьшить вычислительную нагрузку. С помощью метода шаблонного сопоставления программный модуль могла автоматически определять положение термометра на изображении, даже если он был смещён или повёрнут. Далее проводилась калибровка изображения, которая позволяла соотнести пиксельные координаты с реальными значениями температуры. Алгоритм обработки изображения представлен на рисунке 2.

Предложенный программный модуль обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными алгоритмами обработки изображений. Во-первых, с помощью шаблонного сопоставления модуль автоматически определяет положение термометра на изображении, даже если он смещён или повёрнут. Во-вторых, обеспечивается возможность распознавания положения ртутного столбика в реальном времени благодаря использованию контурного анализа и пространственной калибровки, что позволяет сохранять точность при изменении

условий освещения или угла съёмки. Кроме того, интегрированная технология OCR автоматически считывает цифровые значения на шкале, исключая необходимость ручного ввода данных. Модуль также включает проверку диапазона температуры с визуальной индикацией, что повышает удобство и безопасность эксплуатации. Дополнительно поддерживается настройка области интереса (ROI) и шаблонов, что делает решение более универсальным.

Рис. 2. Алгоритм обработки изображения

После калибровки применялась функция поиска краёв, которая определяла положение ртутного столбика вдоль заданной линии интереса. Полученные координаты сравнивались с откалиброванными значениями для определения точного значения температуры. Это значение затем визуализировалось на экране в виде текста, например, "Температура: 26°C". Процесс калибровки и поиска краёв на изображении термометра, как показано на рисунке 3.

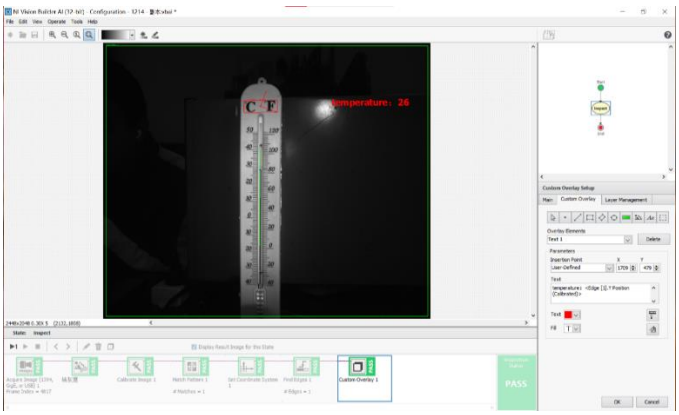


Рис. 3. Процесс калибровки и поиска краёв на изображении термометра

Описание программной реализации

Программная реализация разработанного алгоритма обработки изображения основана на использовании платформы визуального программирования, которая позволяет строить полноценные решения без необходимости традиционного программирования. Вместо написания кода пользователь работает с графическим интерфейсом, в котором последовательность действий формируется как цепочка логических шагов. Это делает разработку доступной даже для тех, кто не имеет глубоких знаний в области программирования, сохраняя при этом гибкость и мощные функциональные возможности [3] технологий машинного зрения.

Работа начинается с захвата изображения с промышленной камеры. Полученное цветное изображение автоматически преобразуется в градации серого – это снижает объём данных и упрощает последующую обработку, например, фильтрацию шума и выделение краёв. После этого выполняется шаблонное сопоставление, при котором программный модуль ищет заранее определённый фрагмент изображения – в нашем случае это участок с характерным обозначением, например, символ «°C» или форма шкалы термометра. Сопоставление позволяет программному модулю динамически находить положение термометра в кадре даже при его смещении, повороте или изменении масштаба. Благодаря этой функции область интереса (ROI – region of interest) обновляется автоматически при каждом кадре.

Как показано на рисунке 4, процесс начинается с преобразования цветного изображения в градации серого, после чего выполняются этапы фильтрации шума и выделения краёв. Рисунок 5 иллюстрирует процесс шаблонного сопоставления, в ходе которого программный модуль ищет заранее определённый фрагмент изображения, например, символ «°C» или форму шкалы термометра. Также показывается, как программный модуль динамически находит положение термометра в кадре при его смещении, повороте или изменении масштаба.

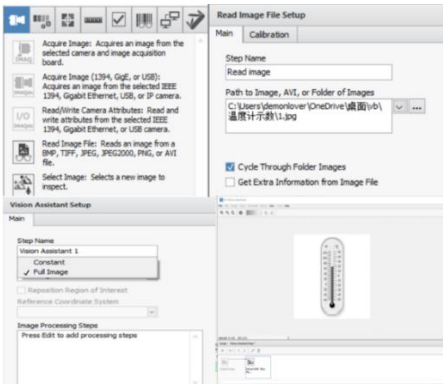


Рис. 4. Процесс преобразования изображения в градации серого и фильтрация шума

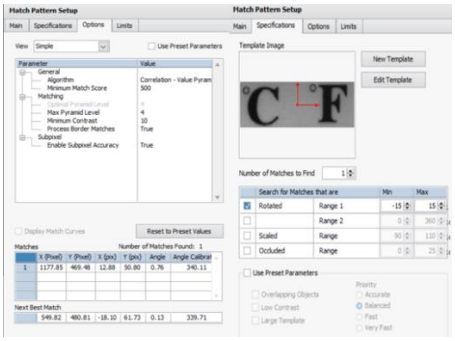


Рис. 5. Шаблонное сопоставление для поиска фрагмента изображения

Следующим шагом является пространственная калибровка. Пользователь вручную отмечает на изображении минимум четыре опорные точки – например, значения температуры 0° C, 20° C, 40° C, 50 °C.

Для каждой точки указываются как координаты на изображении, так и соответствующее ей физическое значение температуры. Это позволяет программному модулю построить математическую модель преобразования между координатами пикселей и реальными физическими величинами. Таким образом, координата Y ртутного столбика может быть напрямую преобразована в градусы Цельсия.

Как показано на рисунке 6, вручную отмечаются опорные точки на изображении, и демонстрируется, как программный модуль строит математическую модель преобразования между пиксельными координатами и реальными значениями температуры.

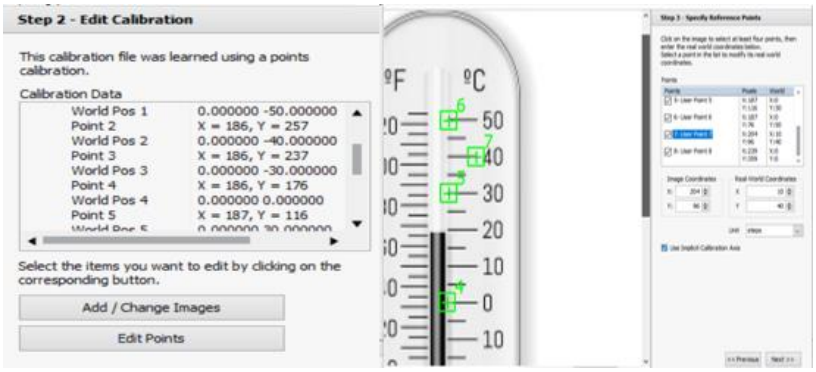


Рис. 6. Процесс пространственной калибровки изображения

После настройки калибровки активируется инструмент Find Edges. Он анализирует изображение внутри области интереса и определяет точку, где интенсивность изображения резко изменяется – то есть границу ртутного столбика. Полученное значение координаты Y передаётся на следующий этап обработки. Программный модуль сравнивает это значение с откалиброванными данными и вычисляет фактическую температуру, которая затем используется для логического анализа [3].

Испытания и анализ результатов

Программный модуль автоматического распознавания показаний ртутного термометра прошёл комплексное тестирование в лабораторных условиях, включающее статические и динамические испытания. В статических тестах при фиксированном положении термометра и стабильном освещении результаты, полученные модулем, отличались от показаний электронного термометра не более чем на ±1,1 °C, что соответствует метрологическим требованиям. Основные погрешности возникали из-за распознавания только целых значений и низкой контрастности изображения. В динамических испытаниях термометр перемещался и поворачивался, менялось освещение. Модуль стабильно распознавал ртутный столбик и отображал температуру, даже при изменении условий. Среднее время обработки кадра составило 200 мс, точность – ±2 °C, устойчивость – при изменении освещённости до ± 20 %.

Таблица 1 . Сравнение результатов с реальными значениями

Реальная температура (°C)	Показание (°C)	Отклонение (°C)
25.9	26	0.1
25.9	26	0.1
25.9	27	1.1
20.0	20	0
20.0	20	0
20.0	21	1.0
15.3	15	0.3
15.4	15	0.4
15.4	15	0.6

Был также проведён анализ ошибок, связанных с изменением расстояния между камерой и термометром. Поскольку калибровка выполнялась на фиксированном расстоянии 40 см, даже небольшое отклонение на ±2 см приводило к изменению масштаба изображения, что, в свою очередь, вызывало ошибки в интерпретации координат ртутного столбика. При отклонении на 2 см погрешность в некоторых случаях достигала ± 2 °C. Это объясняется нарушением геометрического соответствия между откалиброванными координатами и фактическим положением шкалы термометра в изменённых условиях. Кроме того, влияние оказывают возможные неточности в локализации ROI и искажения, вызванные оптическими свойствами объектива. Рисунок 7 иллюстрирует, как программный модуль адаптирует область интереса (ROI) для учёта изменений положения термометра, его поворота и изменения условий освещения в условиях динамических испытаний.

Рис. 7. Процесс динамических испытаний в реальной эксплуатации

Таким образом, результаты тестирования подтвердили работоспособность и практическую применимость программный модуль в условиях, приближенных к реальным. Высокая точность, стабильность работы при переменных внешних условиях и способность к адаптивному распознаванию делают её перспективной для использования в автоматизированных производственных или лабораторных комплексах, где требуется бесконтактный и надёжный контроль температуры.

Заключение

В ходе настоящего исследования был успешно разработан и реализован программный модуль для автоматического распознавания показаний ртутного термометра, основанный на платформе для создания алгоритмов машинного зрения и промышленном оборудовании. Разработанный модуль продемонстрировал высокую эффективность по ряду ключевых параметров: наличие полной и логически выстроенной цепочки обработки изображений, удобство использования за счёт отсутствия необходимости программирования, стабильность результатов распознавания и высокая адаптивность к внешним условиям.

Помимо реализованных на текущем этапе базовых функций, программный модуль обладает значительным потенциалом для дальнейшей оптимизации и расширения, в частности в части повышения точности распознавания температурных значений. В настоящее время модуль поддерживает отображение только целых значений температуры, однако при доработке алгоритма и внедрении методов интерполяции возможно обеспечение считывания с точностью до десятых долей градуса (например, 0.1 °C). Это существенно повысит метрологическую точность модуля.

С программной точки зрения перспективным направлением развития является внедрение функционала анализа трендов изменения температуры. Путём накопления и обработки временных рядов можно реализовать прогнозирование колебаний температуры и автоматическое формирование сигнала тревоги при выходе параметров за заданные пределы. Такой подход значительно расширит сферу применения программного модуля, включая

автоматизированные производственные линии, логистику и холодовые цепи, а также лабораторные комплексы [4].

Наконец, представленный программный модуль может служить примером практического применения технологий машинного зрения в области метрологической автоматизации. В дальнейшем возможно проведение исследований по его интеграции с системами периферийных вычислений, встроенными контроллерами или промышленными платформами автоматизации (например, PLC или SCADA), что откроет путь к внедрению решения в рамках концепции «умного производства» и повысит его коммерческую и технологическую ценность.

Список использованной литературы

5. Стема машинного зрения для автоматизации поверки ручных цифровых мультиметров [Электронный ресурс]. – URL: pg-spb.ru/news и articles/reshenie-po-avtomatizacii-poverki-multimetrov/ (дата обращения: 14.02.2025)

6. Матвей Чаусов «Машинное зрение. Что это и как им пользоваться?». – 2018г.

7. Ши Синьхуа. Введение в NI Vision Builder for Automated Inspection 2020 и 2023. – 2023.

8. Сунь Цзянь, Сюй Цзунбэнь. Масштабный космический метод в компьютерном зрении. "CNKI; ВанФанг". – 2005.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ КАСКАДНЫХ ПРОТОКОЛОВ ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК В СИСТЕМАХ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ

Репников Н.И.[1]
Научный руководитель: Фаерман В.А.[2]
[1] *ТУСУР, г. Томск (ФБ, студент гр. 711-1) e-mail: repnikov-nik@mail.ru*
[2] *ТУСУР (ФБ, младший научный сотрудник) e-mail: fva@fb.tusur.ru*

Аннотация

В работе предложена и описана программная реализация алгоритма CASCADE для коррекции ошибок в процессе согласования общего ключа в системах квантового распределения ключей. При разработке принималось во внимание целевое предназначение программного решения, а именно исследование различных вариантов реализации CASCADE, на предмет оценки количества разглашённых бит и числа передаваемых по классическому каналу связи сообщений. Программное решение допускает задание таких параметров как прогрессия размера блоков на каждом их проходов, вариацию условий останова и оставляет возможность применения дополнительных механизмов, так как удаление скомпрометированных битов после каждого прохода.

Ключевые слова: квантовая криптография, ProtoQa, СКЗИ, требования.

Введение

Продолжающееся развитие средств криптографической защиты информации, а также методов криптоанализа, делает всё более актуальной становится проблему устойчивости криптографических систем в условиях стремительного роста вычислительных мощностей. Традиционный подход к её решению носит экспансивный характер и сводится к увеличению размера ключей и повышению к числу раундов применения криптографических алгоритмов. Это хорошо прослеживается на примере задаче распределения ключей, реализуемой с помощью ассиметричных криптографических систем, так как RSA: с конца 20 века рекомендуемый размер ключей RSA увеличился с 1024 бит до 15360 бит [1].

Применительно к распределению ключей, особенно этот вопрос встает особенно остро в связи с приближением так называемой постквантовой эпохи [2], когда потенциальный злоумышленник сможет располагать практически неограниченными ресурсами для взлома традиционных ассиметричных алгоритмов шифрования. Это потенциально компрометирует криптографические схемы, основанные на вычислительной сложности математических задач, таких как факторизация, дискретное логарифмирование или криптографии эллиптических кривых.

В условиях надвигающегося квантового прорыва возрастает необходимость перехода от традиционных криптографических методов к новым средствам защиты, опирающимся не на математически односторонние функции, а на фундаментальные законы физики. Наиболее технологически зрелым решением в этом направлении является система квантового распределения ключей (КРК), позволяющая обеспечить теоретически абсолютную безопасность обмена ключевой информацией благодаря принципам квантовой механики [2].

Тем не менее, несмотря на высокую степень защищённости, системы КРК с рядом технических трудностей, ограничивающих их широкое применение на практике. Одной из таких проблем является наличие ошибок, возникающих в процессе передачи квантовых состояний по каналам связи. Эти ошибки могут быть обусловлены как несовершенством используемого оборудования, так и внешними помехами, влияющими на точность приёма и интерпретации квантовых сигналов. Решение этой проблемы требует алгоритмически сложной постобработки ключевого материала, в том числе эффективных методов коррекции

ошибок [3]. В этой работе предлагается инструментальное средство, которое предназначено для количественного исследования алгоритмов коррекции ошибок, основанных на широко известном алгоритме CASCADE, который до недавнего времени рассматривался как отраслевой стандарт [4].

Задача согласования ключей

Согласование ключей является одной из операций, которая реализуется на этапе постобработки переданных по квантовому каналу битовых значений, составляющих сырую ключевую последовательность. [3] У сторон обмена, далее Алисы и Боба, присутствуют две не вполне идентичных копии последовательностей A’ и B’ длиной N битов, причём эти последовательности различаются между собой в среднем на $e{\cdot}N$ битов. Величину e называют вероятностью битовой ошибки.

Для использования сырых ключевых последовательностей в качестве ключей, Алисе и Бобе нужно перейти от A’ и B’ к A’’ и B’’ соответственно, причём таким образом, чтобы полученные конечные последовательности A’’ и B’’ были идентичны. Процедура согласования предполагает обмен сообщениями по классическому каналу, причём базовым допущением является то, что конфиденциальность сообщений не обеспечивается, однако обеспечивается их целостность. По этой причине, любые элементы в последовательностях A’ и B’, которые были разглашены в ходе обмена, не могут быть использованы в согласованном ключе. Поэтому в результате компенсации информационной энтропии, потерянной при разглашении элементов, размер последовательностей A’’ и B’’ уменьшается относительно исходных A’ и B’ таким образом, чтобы соответствовать остаточной информационной энтропии [4-5].

Количество разглашённых при исправлении ошибок битов влияет на отношение размера результирующих последовательностей A’’ и B’’ к размеру исходных последовательностей A’ и B’, то есть на эффективность согласования ключей. Другим важным параметром, определяющим быстродействие, является количество циклов обмена сообщениями по открытому каналу между Алисой и Бобом. Наконец значение для быстродействия имеет вычислительная сложность алгоритма [4].

Отталкиваясь от описанного выше, можно поставить задачу разработки алгоритма исправления ошибок, который позволит согласовывать ключи и будет обладать оптимальным набором характеристик. Используя математический аппарат теории информации и модель двоичного симметричного канала с искажениями можно показать, что оптимальное решение задачи согласования приведёт к уменьшению длины последовательностей на $e{\cdot}N$ битов, до $(1 – e){\cdot}N$ битов [5].

Алгоритм CASCADE

Для согласования ключей применяются различные классы методов, каждый из которых имеет различные варианты. В частности, известны алгоритмы основанные на контроле чётности фрагментов последовательности [5], на применении методов помехоустойчивого кодирования [6], на эксплуатации свойств криптографических хеш-функций [5], с помощью персептронов. Первым классическим решением, нашедшим широкое применение в лабораторных и промышленных системах КРК, стал алгоритм CASCADE. Несмотря на существенные недостатки, среди которых высокая интерактивность протокола и далёкая от оптимальности эффективность, он в течение продолжительного времени фактически рассматривался как отраслевой стандарт. [7] Не в последнюю очередь, это было обусловлено его концептуальной и вычислительной простотой, а также множеством предложенных вариантов [7], ситуативно превосходящих оригинал по эффективности, некоторые из которых используются до сих пор. Для системного сравнения вариантов алгоритма CASCADE в условиях корректного вычислительного эксперимента требуется создать программный

инструмент, который, может быть легко адаптирован под воспроизведение различных вариантов алгоритма.

Принцип работы алгоритма заключается в следующем. Исходная битовая последовательность разбивается на блоки фиксированного размера, обычно такого, при котором количество несовпадающих битов в каждом блоке принадлежит интервалу (1; 2). Далее в каждом блоке производится побитовая операция сложения по модулю два (XOR) для всех битов. Полученное контрольное значение передаётся от одной из сторон к другой стороне.

На следующем этапе в тех блоках, для которых контрольные значения не совпадают, выполняется процедура бинарного поиска отличающегося бита. После идентификации различий осуществляется перестановка битов в последовательности, за которой следует повторная итерация бинарного поиска.

Передача каждого контрольного значения на любом из этапов связана с разглашением, непосредственным или опосредованным, одного бита информации. Для того, чтобы минимизировать число отправляемых контрольных значений, в процессе исправления ошибки производится рекурсивный анализ всех предыдущих конфигураций битов с целью определения наименьшего подблока, не содержащего изменённый бит в том блоке, где зафиксировано изменение чётности. В найденных подблоках снова проводится бинарный поиск для уточнения положения ошибочного бита.

Рассмотрим алгоритм на простом примере согласования последовательности из 16 бит (где ошибки обозначены как “X”, а биты с непосредственно разглашёнными значениями – как “O”) при $e = 0{,}25$. Алгоритм выполняется в рамках последовательности крупных этапов, которые обычно принято называть проходами. В рамках одного (для определённости – первого) прохода выполняются следующие шаги:

1. Определение размера блока: он должен находиться в интервале (4;8].

2. Разделение последовательности на блоки размерами 5, 5 и 6 бит.

3. Вычисление контрольных значений:

3.1. В среднем блоке присутствует двойная ошибка, поэтому чётность остаётся неизменной.

3.2. В крайних блоках происходит изменение чётности.

3.3. Дальнейшая работа ведётся с крайними блоками.

4. Выбор половины в каждом подблоке и вычисление для неё контрольного значения с последующей передачей соответствующего синдрома второй стороне.

5. Определение следующего подблока для анализа:

5.1. При совпадении контрольных значений выбирается половина текущего блока.

5.2. При несовпадении выбирается половина соседнего блока, входящего в общий надблок с текущим.

6. Редукция блоков до размера 1 бит:

6.1. При совпадении контрольного значения ошибка исправляется в текущем элементе.

6.2. При несовпадении ошибка исправляется в соседнем элементе.

Описанные выше операции поиска и устранения ошибки проиллюстрированы на рис. 1.

После завершения очередного прохода происходит переход к следующему проходу или останов алгоритма, если достигнуто предельное число проходов или иным образом заданное условие (например, проход без исправленных ошибок). Каждый проход, за исключением первого, предполагает выполнение следующих шагов:

1. Актуализация оценки доли неисправленных битов e`, определение размера блока для следующего прохода:

1.1. После исправления 2 ошибок e’=0,125.

1.2. На основе нового e` определяется размер блока.

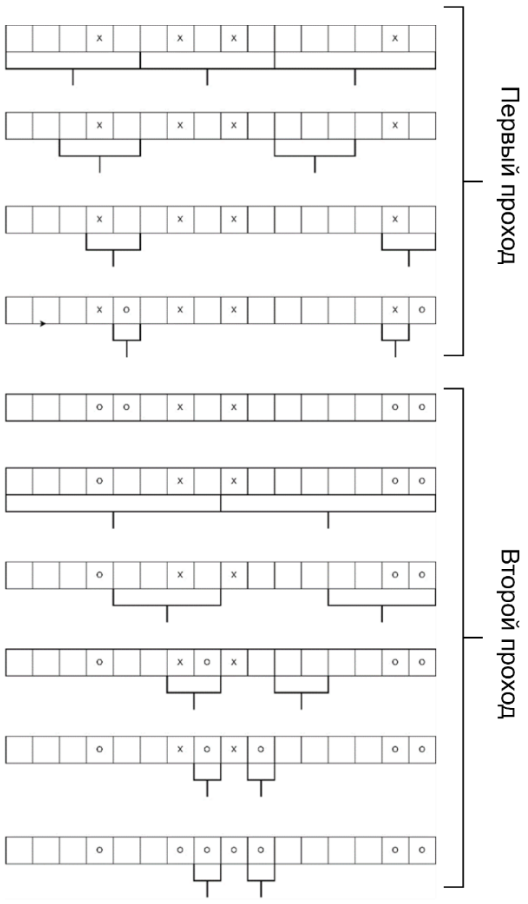


Рис. 1. Исправление ошибки в рамках двух проходов в CASCADE

2. Равномерная перестановка битов в последовательности таким образом, чтобы при очередном разбиении на блоки, каждый из битовых элементов оказался по соседству с новыми битами.

3. Разбиение перемешанной последовательности на блоки, с учётом скорректированного размера блока.

4. Выполнение очередного прохода в соответствии с описанной ранее последовательностью шагов. Однако, после исправления очередной ошибки, производятся следующие действия:

4.1. идентификация всех подблоков, чётности которых уже известны из предыдущих проходов, включающих исправленный бит и имеющих размер более двух единиц. Далее данные подблоки обозначаются как множество P.

4.2. определение смежных блоков, являющихся подблоками элементов множества P. Полученные блоки формируют множество M.

4.3. для каждого элемента множества M, упорядоченного по возрастанию размера блока, выполняется:

- вычисление контрольных значений.
- при несовпадении контрольных значений производится поиск и исправление битовой ошибки методом бинарного поиска.

4.4. в случае успешной коррекции бита производится повторное выполнение данного преобразования для всех вычисленных перестановок.

Описанные выше операции каскадного устранения ошибок показаны на рис. 2.

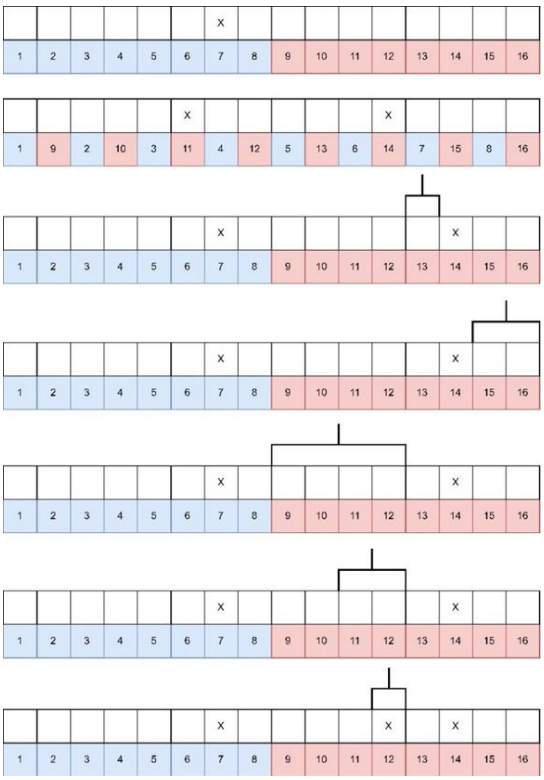


Рис. 2. Поиск ошибки на основе исправленного бита и его положения в предыдущих перестановках

Программная реализация

Для описания особенностей реализации разрабатываемого программного решения используется модель акторов. Первоначально актор инициализации на одной из сторон осуществляет передачу сообщения актору инициализации противоположной стороны. В данном сообщении содержится адрес управляющего дальнейшим потоком вычислений актора, который был ранее создан инициализирующим актором (см. рис. 3).

После получения сообщения актор инициализации второй стороны генерирует актор с идентичной актору первой стороны структурой. При этом происходит передача адреса актора поиска ошибок первой стороны к собственному актору управления вычислительным потоком.

На следующем этапе актор управления вычислительным потоком второй стороны осуществляет отправку сообщения, содержащего адрес актора поиска ошибок первой стороны. После этого актор поиска ошибок второй стороны передает сообщение актору поиска ошибок с первым синдромом.

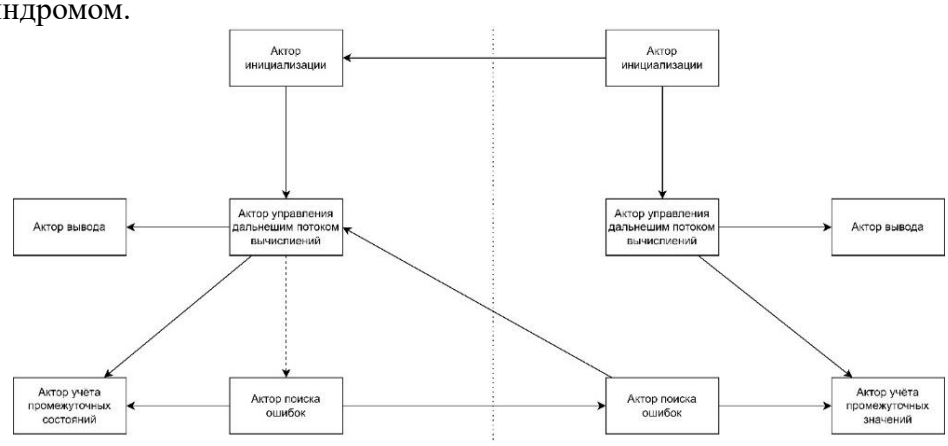


Рис. 3. Инициализация акторов

На следующем этапе акторы поиска ошибок осуществляют последовательную передачу синдромов между собой (см. рис. 4) до обнаружения ошибки. После этого выполняется следующая последовательность действий:

1. Актор поиска ошибок, на котором произошла редукция размера блока до единичного значения, осуществляет передачу сообщения, содержащего адрес собственного актора управления дальнейшим потоком вычислений.

2. Второй актор поиска ошибок направляет полученное сообщение с указанием адресов выявленных расхождений.

3. После изменения битов актор управления вычислительным потоком передает следующему актору поиска ошибок синдром от предшествующих перестановок, подвергшихся влиянию исправленного бита, а также адрес собственного актора поиска ошибок.

4. Данный процесс обмена сообщениями (см. рис. 5) повторяется до достижения условия останова.

5. В ходе вычислений все промежуточные сообщения направляются в актор учета промежуточных значений.

6. По завершении сеанса происходит формирование итогового ключа, после чего все акторы подлежат удалению.

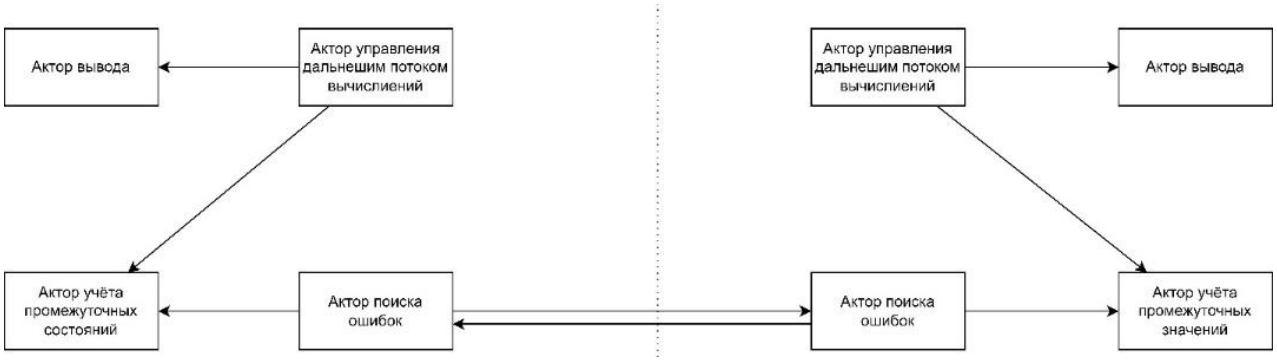


Рис. 4. Поиск ошибки

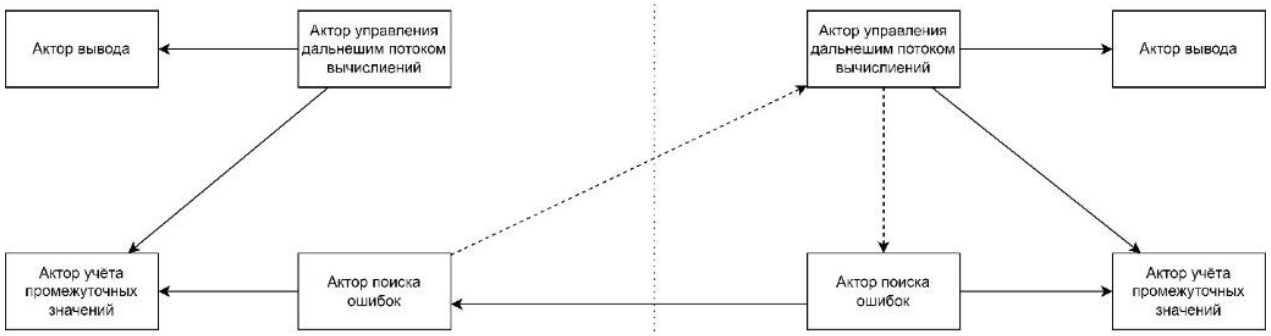


Рис. 5. Переход к каскадному поиску и исправлению ошибок

Заключение

Таким образом, в ходе работы был реализован прототип программного модуля выполняющий алгоритм согласования ключевых последовательностей CASCADE. Работоспособность решения проверена в ходе ручного тестирования, примерный фрагмент консольного вывода представлен на рисунке 6.

Архитектура решения, заложенная при разработке, учитывает потребность в обеспечении возможности быстрой реализации на его основе различных вариантов алгоритма

для их системного исследования и сравнения. Дальнейшая работа будет направлена на доработку прототипа в части реализации сбора статистики и получения оценок в соответствии с основными метриками эффективности, а именно количеством пар переданных сообщений и числом непосредственно и опосредованно разглашённых битов.

Кроме этого, предполагается исследование известных вариантов алгоритма и их модификация за счёт применения таких приёмов, как исключение непосредственно разглашённых битов из дальнейших проходов, изменение подхода к формированию передаваемых в сообщениях синдромов, а также модификации алгоритма определения размера блоков, в том числе, без априорно известного значения вероятности битовых ошибок.

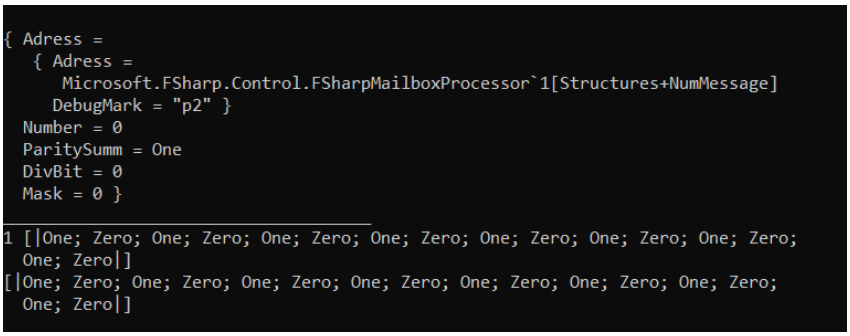


Рис. 6. Пример отправляемого актором вывода сообщения, сформированного актором учёта промежуточных значений

Список использованных источников

1. Barker E., Dang Q. Recommendation for Key Management [Электронный ресурс] // NIST Special Publication 800-57. URL: dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-57pt3r1 (дата обращения 21.03.2025).

2. Жиляев А. и др. Сети квантового распределения ключей в кибербезопасности. Горячая линия – Телеком. – 2023. – 152 с.

3. Васильев Е.И. Этапы постобработки битовых последовательностей в рамках квантового распределения ключей / Е. И. Васильев // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2024. – № 1-3. – С. 71-75.

4. Grasselli F. Quantum Cryptography: From Key Distribution to Conference Key Agreement. Cham: Springer International Publishing, 2021. – 378 p.

5. Обзор протоколов исправления ошибок Cascade и AYHI в системах квантового распределения ключей / Е.В. Антропов, В.А. Фаерман, Д.В. Курков, К.И. Чуков // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. –2024. – Т. 8, № 2. – С. 42-57.

6. Обзор протоколов исправления ошибок в системах квантового распределения ключей на основе корректирующих кодов / Д.В. Курков, Е.В. Антропов, К.И. Чуков, В.А. Фаерман // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. – 2024. – Т. 8, № 2. – С. 23-35.

7. Martinez-Mateo J. et al. Demystifying the information reconciliation protocol CASCADE // Quantum Information and Computation. – 2015. – Vol. 15. – N. 5-6. – C. 453-477.

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕНЕРАЦИИ ЗАКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Пан А.Э[1], Аксёнов С.В.[2]
[1] НИ ТГУ, ИПМКН, аспирант, tolikpan0403@gmail.com
[2] НИ ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент каф. ОИТ, axyonov@tpu.ru

Аннотация

Данный доклад представляет обзор современных методов автоматизированной генерации подписей к медицинским изображениям. Проведен анализ подходов на основе шаблонов, поиска, генеративных и гибридных моделей, оценены их преимущества и недостатки. Представлены результаты сравнительного анализа, выявляющие потенциал для клинического применения.

Ключевые слова: MIC, генерация подписей, медицинские изображения, глубокое обучение, нейронные сети, генеративные модели, гибридные методы, Transfer Learning.

Введение

В современном мире резкое увеличение объема медицинских изображений требует создания высокоэффективных систем автоматизированного анализа. Автоматизация генерации подписей к медицинским изображениям (англ. Medical Image Captioning, MIC) способствует ускоренной диагностике и снижению нагрузки на специалистов [1]. Обзор литературы демонстрирует, что исследования в области генерации подписей активно развиваются благодаря достижениям в глубоких нейронных сетях и трансформерах [2-3]. Однако остаются проблемы, такие как недостаток качественных данных и сложность генерации связного текста, что послужило основанием для постановки цели – провести сравнительный анализ существующих методов и выявить пути повышения их клинической применимости [4].

Методы решения задачи

Шаблонные методы. Шаблонный подход использует заранее подготовленные структуры, куда подставляются ключевые признаки изображения. Например, для рентгенограммы грудной клетки применяется шаблон вида: *«На рентгенограмме грудной клетки в проекции [проекция] выявлены [обнаружения]»* [1].

Преимущества:

- высокая интерпретируемость.
- простота проверки экспертом.

Ограничения:

- ограниченность при обработке сложных и редких патологий.

Методы на основе поиска. Данный метод заключается в сравнении нового изображения с обширной базой данных аннотированных медицинских изображений. Система выбирает наиболее похожие случаи и использует их подписания для формирования нового отчета [2].

Преимущества:

- адаптивность описания.
- снижение зависимости от объема размеченных данных.

Ограничения:

- эффективность зависит от полноты и актуальности базы данных.

Генеративные модели реализуют архитектуру кодер-декодер, где сверточная нейронная сеть преобразует изображение в вектор признаков, а декодер (на базе RNN/LSTM или трансформеров с механизмами внимания) генерирует текстовое описание [3]. Дополнительно, применение diffusion models и self-supervised методов позволяет улучшить

связность генерируемого текста, однако такие модели требуют больших объемов размеченных данных и могут генерировать ошибки [3-4].

Преимущества:

- создание связного и детализированного описания.

Ограничения:

- высокая потребность в размеченных данных;
- риск генерации некорректного текста.

Гибридные методы объединяют методы на основе поиска и генеративные модели, что позволяет компенсировать слабости каждого из методов. Сначала система осуществляет поиск шаблонов, а затем генеративная модель адаптирует найденное описание с учетом специфики нового изображения [5]. Использование Transfer Learning и интеграция экспертных знаний врачей повышают клиническую релевантность результата. Ограничения: высокая вычислительная нагрузка и сложность настройки системы.

Результаты и анализ

Для количественной оценки качества генерируемых подписей используются следующие метрики.

BLEU (BiLingual Evaluation Understudy) – метрика качества машинного перевода, которая основана на подсчете n-грамм слов (n варьируется от 1, до заданного значения, например, 4); чувствительна к вариациям в формулировках, не учитывает семантические связи между словами.

$$BLEU = BP \times \exp\left(\sum_n w_n \log p_n\right);$$

где BP – коэффициент краткости, p_n – точность n-грамм, w_n – веса.

ROUGE-L (Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation) основан на оценке длины наибольшей общей подпоследовательности (LCS) между сгенерированным и эталонным текстом, учитывает структурную схожесть предложений и способна оценить сохранение смысловых блоков даже при изменении порядка слов. Для ROUGE-L сначала определяются показатели Recall и Precision на основе LCS:

$$R_{LCS} = \frac{LCS(P,R)}{\text{len}(R)}, \qquad P_{LCS} = \frac{LCS(P,R)}{\text{len}(P)}.$$

Затем вычисляется F-мера:

$$ROUGE\text{-}L = F_{LCS} = \frac{(1+\beta^2) \times R_{LCS} \times P_{LCS}}{R_{LCS} + \beta^2 \times P_{LCS}}.$$

Обычно β устанавливается равным 1.

METEOR (Metric for Evaluation of Translation with Explicit ORdering) объединяет точность и полноту с использованием гармонического среднего, а также включает механизм сопоставления синонимов и вариаций в формулировках, что позволяет более гибко оценивать семантическое сходство между сгенерированным текстом и эталоном. Это делает METEOR особенно полезной при анализе качества сложных медицинских описаний.

$$METEOR = F_{\text{mean}} \times (1 - Penalty).$$

где F_{mean} – гармоническое среднее точности и полноты, $Penalty$ – штраф за несовпадения.

CIDEr (Consensus-based Image Description Evaluation) использует взвешивание n-грамм по их TF-IDF значимости и сравнивает косинусное сходство между сгенерированным и эталонным текстами. Эта метрика специально разработана для оценки описаний изображений. Большое значение придается клинически важным терминам.

$$CIDEr = \sum_n (TF\text{-}IDF_n \times \cos(\theta)),$$

где $TF\text{-}IDF$ отражает важность n-грамм, а $\cos(\theta)$ – косинусное сходство между сгенерированным и эталонным текстами.

Хочется отметить, что наличие разнообразных и качественных медицинских наборов данных является ключевым фактором для тренировки и оценки MIC-систем. Качество данных напрямую влияет на стабильность и надежность результатов работы методов (табл. 1).

Таблица 1. Основные медицинские наборы данных

Набор данных	Модальность/Описание	Объем	Комментарий
IU XRay	Рентгенограммы грудной клетки	7 468 изображений	Экспертная разметка, широко используется
MIMIC-CXR	Рентгенограммы грудной клетки	370 110 изображений	Автоматическая разметка (CheXpert labeler)
CheXpert	Рентгенограммы грудной клетки	224 316 изображений	Аннотации проверены экспертами
PadChest	Рентгенограммы грудной клетки	>160 000 изображений	Высокое качество разметки
ChestX-ray8	Фронтальные рентгенограммы грудной клетки	108 948 изображений	Дополнение к существующим коллекциям

Ниже приведена табл. 2, демонстрирующая сравнительный анализ некоторых работ в данной области.

Таблица 2. Сравнительный анализ методов MIC

Метод	Набор данных	B1	B2	B3	B4	M	R-L	CIDEr
Седа-Махмуд (2020)	Собственный	0.56	0.51	0.50	0.49	0.55	0.58	–
Ван (2019)	IU X-Ray	0.34	0.22	0.15	0.10	0.14	0.30	0.32
Шин (2016)	IU X-Ray	0.78	0.40	0.00	0.00	–	–	–
Хуан Синь (2019)	IU X-Ray	0.48	0.34	0.24	0.17	–	0.35	0.30
Цзен (2018)	Собственный	0.30	0.22	0.18	–	0.19	0.29	0.99
Се (2019)	IU X-Ray	0.44	0.34	0.24	0.18	–	0.35	0.47
Ван (2020)	IU X-Ray	0.50	0.33	0.24	0.18	–	0.36	0.33
	CX-CHR	0.71	0.64	0.59	0.55	–	0.68	0.33
Ли (2018)	IU X-Ray	0.48	0.33	0.23	0.16	–	0.34	0.28
	ChexPert	0.67	0.59	0.53	0.47	–	0.62	0.29

Методы, использующие собственные датасеты, демонстрируют умеренные показатели BLEU и ROUGE-L, однако результаты CIDEr варьируются. Наборы, такие как IU X-Ray, дают более низкие значения, возможно, из-за ограничений в качестве разметки. Использование специализированных датасетов (CX-CHR, ChexPert) приводит к существенно более высоким CIDEr, что свидетельствует о лучшей клинической релевантности.

Методы с высокими BLEU-значениями (например, Шин (2016) [6]) могут иметь проблемы с генерацией связного текста, если более высокоуровневые n-граммы отсутствуют (BLEU-3, BLEU-4 равны нулю). Гибридные методы (например, Ван (2020) [7] на наборе CX-CHR) демонстрируют значительные улучшения по метрике CIDEr, что указывает на их способность генерировать текст, максимально приближенный к клиническим стандартам.

Высокий результат по метрике CIDEr (0.99) у Цзен (2018) можно объяснить рядом особенностей их подхода и используемого датасета. В его работе использовался собственный набор данных ультразвуковых изображений, масштабированный до примерно 3 042 образцов за счёт элементарных аугментаций (флип, вращение) и feature-wise processing. При этом

описания к изображениям создавались экспертами по единой схеме, что приводило к ограниченному лексическому разнообразию и высокой консистентности эталонных текстов.

Важно отметить, что разнообразие результатов указывает на то, что эффективность каждой модели зависит не только от архитектуры, но и от качества используемого набора, что подчеркивает необходимость комплексного подхода к оценке MIC-систем. Несмотря на неплохие показатели, следует отметить, что каждая из методик имеет свои ограничения. Например, шаблонные и поисковые подходы обладают высокой интерпретируемостью, но страдают от жесткости и неадаптивности. Генеративные модели, напротив, могут создавать более связный текст, однако их успешность во многом зависит от объема качественных данных, что остается серьезным препятствием [4]. Таким образом, комбинирование методов позволяет компенсировать слабости каждого отдельного подхода и приводит к наиболее стабильным результатам.

Заключение

В работе проведен детальный обзор современных методов генерации подписей к медицинским изображениям. Гибридные архитектуры, сочетающие подходы на основе поиска и генеративные модели, демонстрируют высокий потенциал для клинического применения за счет повышения точности и адаптивности описаний. Основные вызовы, такие как ограниченность качественных данных и сложность генерации связного текста, требуют дальнейших исследований, включая развитие self-supervised методов и интеграцию экспертных знаний [4, 5]. Дальнейшие разработки в этой области способствуют созданию устойчивых и адаптивных MIC-систем, способных эффективно поддерживать клиническую диагностику.

Список использованных источников

1. Bottom-Up and Top-Down Attention for Image Captioning and Visual Question Answering / P. Anderson, X. He, C. Buehler [и др.] // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – Salt Lake City, UT: IEEE, 2018. – С. 6077-6086. – URL: ieeexplore.ieee.org/document/8578734/ (date of access: 03.01.2025).

2. Show, Attend and Tell: Neural Image Caption Generation with Visual Attention. Show, Attend and Tell / K. Xu, J. Ba, R. Kiros, [и др.] arXiv:1502.03044 [cs]. – arXiv, 2016. – URL: arxiv.org/abs/1502.03044 (дата обращения: 23.12.2024).

3. Knowing When to Look: Adaptive Attention via A Visual Sentinel for Image Captioning. Knowing When to Look / J. Lu, C. Xiong, D. Parikh, R. Socher arXiv:1612.01887 [cs]. – arXiv, 2017. – URL: arxiv.org/abs/1612.01887 (date of access: 23.12.2024).

4. Adapting Pretrained Vision-Language Foundational Models to Medical Imaging Domains / P. Chambon, C. Bluethgen, C. P. Langlotz, A. Chaudhari arXiv:2210.04133 [cs]. – arXiv, 2022. – URL: http://arxiv.org/abs/2210.04133 (date of access: 02.04.2025).

5. Hybrid Retrieval-Generation Reinforced Agent for Medical Image Report Generation / C.Y. Li, X. Liang, Z. Hu, E. P. Xing arXiv:1805.08298 [cs]. – arXiv, 2018. – URL: http://arxiv.org/abs/1805.08298 (date of access: 10.11.2024).

6. Deep Convolutional Neural Networks for Computer-Aided Detection: CNN Architectures, Dataset Characteristics and Transfer Learning / H.-C. Shin, H. R. Roth, M. Gao [и др.] // IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2016. – Т. 35. – Deep Convolutional Neural Networks for Computer-Aided Detection. – № 5. – С. 1285-1298. – URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/7404017/ (дата обращения: 10.11.2024).

7. Unifying Relational Sentence Generation and Retrieval for Medical Image Report Composition / F. Wang, X. Liang, L. Xu, L. Lin arXiv:2101.03287 [cs]. – arXiv, 2021. – URL: http://arxiv.org/abs/2101.03287 (date of access: 03.01.2025).

ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

[1]Волков В.К., [2,3]Спицын В.Г.
[1]НИ ТГУ, ИПМКН, гр. 932309, студент, vikontfx@yandex.ru
[2]НИ ТГУ, ИПМКН, д.т.н., профессор каф. ТОИ
[3]НИ ТПУ, ИШИТР, д.т.н., профессор ОИТ

Аннотация

Работа посвящена исследованию объединенного процесса оптимизации архитектуры сверточной нейронной сети и ее отдельных гиперпараметров для задачи классификации при помощи генетического алгоритма. В качестве набора данных рассматривается датасет цветных изображений EuroSAT. Также в работе проведен анализ влияния механизма наследования весов на динамику схождения генетического алгоритма.

Ключевые слова: сверточная нейронная сеть, генетический алгоритм, оптимизация архитектуры, поиск архитектур нейронных сетей.

Введение

Последнее десятилетие ознаменовалось большим количеством прорывов в области глубокого обучения. Однако с увеличением разнообразия используемых архитектур и их сложности, проведение экспериментов по оптимизации или поиску новых вариантов стали трудоёмким. Поэтому начала активно развиваться дисциплина автоматизированного поиска нейросетевых архитектур (Neural Architecture Search, NAS) [1]. Идеи AutoML [2] стали применяться в глубоком обучении. Недавние исследования показывают, что подобная практика позволяет получать модели, обеспечивающие более высокое качество работы, чем альтернативы, разработанные без применения таких методов [3,4]. Помимо оптимизации архитектуры нейронной сети, некоторые методы NAS могут производить оптимизацию гиперпараметров нейронной сети (Hyperparameter Optimisation, HPO)[5]. Процесс NAS+HPO может обеспечивать получение более эффективных архитектур по сравнению с обычным NAS, однако такой поиск заметно сложнее, чем отдельный цикл HPO.

В рамках данной работы задачей было выбрано исследование процесса NAS+HPO при помощи генетического алгоритма (ГА) для сверточных нейронных сетей на датасете EuroSAT с тестированием механизма наследования весов.

Автоматизированный поиск нейросетевых архитектур

Основными элементами NAS являются – пространство поиска, метод оптимизации и метод оценки архитектуры [1]. Согласно [1], пространство поиска задает представление архитектуры и доступные для оптимизации параметры. К основным пространствам поиска относят: макроуровневое пространство поиска (macro search space), пространство поиска с цепочечной структурой (chained structured search space), пространство поиска ячеек (cell based search space), иерархическое пространство поиска (hierarchical search space).

Методы оптимизации архитектур могут в значительной степени различаться в зависимости от задачи, типа используемого пространства, доступности вычислительных ресурсов. Двумя основными группами, по которым разделяются такие методы – оптимизации методами черного ящика (black box optimization) и one-shot оптимизация. К методам оптимизации black box относятся обучение с подкреплением (reinforcement learning), нейро-эволюционные методы, байесовская оптимизация и т. д. Альтернативой black box оптимизации выступает one-shot оптимизация. Такие методы используют понятие гиперсетей (hypernetwork) [6, 7] и суперсетей (supernetwork) [8, 9].

Методы оценки архитектуры – набор различных методов, направленных на раннее определение качества архитектуры. Основными методами являются: экстраполяция кривой обучения [10], обучение на подвыборках данных, zero-cost proxies [11]. Данные методы могут ускорять работу алгоритмов NAS, позволяя избежать необходимости полного цикла обучения модели.

Реализация NAS

Для проведения исследований был разработан собственный вариант NAS, включающий в себя механизм наследования весов и модульную структуру элементов архитектуры. В качестве метода оптимизации использован адаптированный вариант генетического алгоритма, что является распространённой практикой [12-15]. Рассматриваемая реализация обеспечивает процесс NAS+HPO.

Базовым элементом архитектуры является блок – объект, описывающий небольшую часть архитектуры нейронной сети. Общая схема блока представлена на рис. 1. «Основа блока» является универсальной и несет в себе механизмы и унифицированный набор данных, используемый для формирования отдельных слоев нейронной сети. Каждый из параметров является объектом, хранящим соответствующее вещественное число и обеспечивающий его защиту от изменения вне заданного диапазона. Отдельные значения в блоках одного типа можно заблокировать как от изменений со стороны генетического алгоритма, так и от любых изменений, которые могут возникнуть при первоначальной настройке параметров блока. «Сборщик» реализует непосредственный механизм сборки отдельных слоев. Блоки соединяются последовательно, тем самым формируя хромосому, кодирующую архитектуру нейронной сети. Каждый блок может соединяться справа только с тем блоком, который есть в списке разрешенных. Этот механизм обеспечивает корректный вид получаемых архитектур. Закодированные описанным выше образом архитектуры переводятся в последовательность слоев при помощи механизма декодирования.

Рис. 1. Структура блока

Перед процессом декодирования следует обязательный этап валидации архитектуры. При определенных значениях параметров слоя возможно несовпадение размеров конечного или промежуточных тензоров с ожидаемыми. В случае обнаружения несоответствия, архитектуре устанавливается нулевая адаптация, что ведет к ее удалению из популяции перед следующим циклом работы генетического алгоритма.

Также в рамках экспериментов проверялась работа механизма наследования весов (Weight Inheritance, WI). Изначально предложенный в работе Real et al. [16] механизм обеспечивает перенос весов отдельных слоев от родителей к потомкам. Если параметры слоя не изменяются, то его веса и смещения будут использованы в других архитектурах без изменений.

Операторы скрещивания и мутации

Оператор скрещивания (рис. 2) позволяет обмениваться центральными блоками между наборами и изменять в них значения параметров. На первом этапе происходит попытка собрать из имеющихся наборов новые. На втором этапе из центральных блоков наборов извлекаются соответствующие объекты параметров, после чего хранящиеся в них значения декодируются в коды Грэя, которые выравниваются по длине путем добавления незначащих нулей. К выравненным последовательностям применяется «однородный» оператор скрещивания, случайно распределяющий биты между двумя новыми значениями. Новые значения декодируются обратно в вещественное представление, после чего происходит проверка на принадлежность к допустимому диапазону. В случае, если значение выходит за заданный диапазон, то оно заменяется ближайшей границей диапазона.

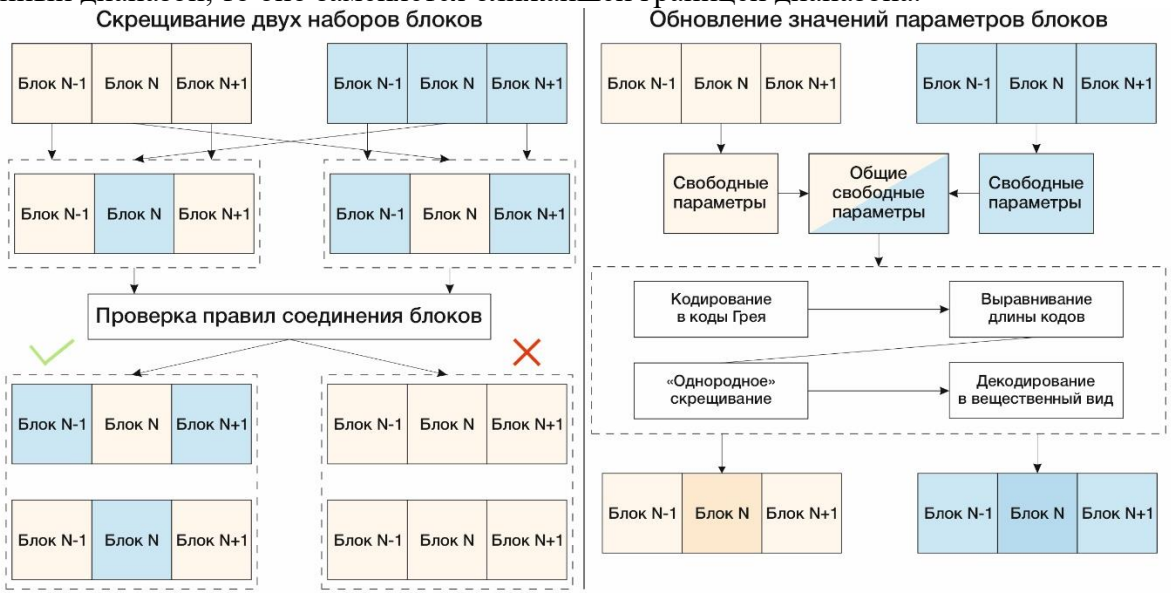


Рис. 2. Работа оператора скрещивания

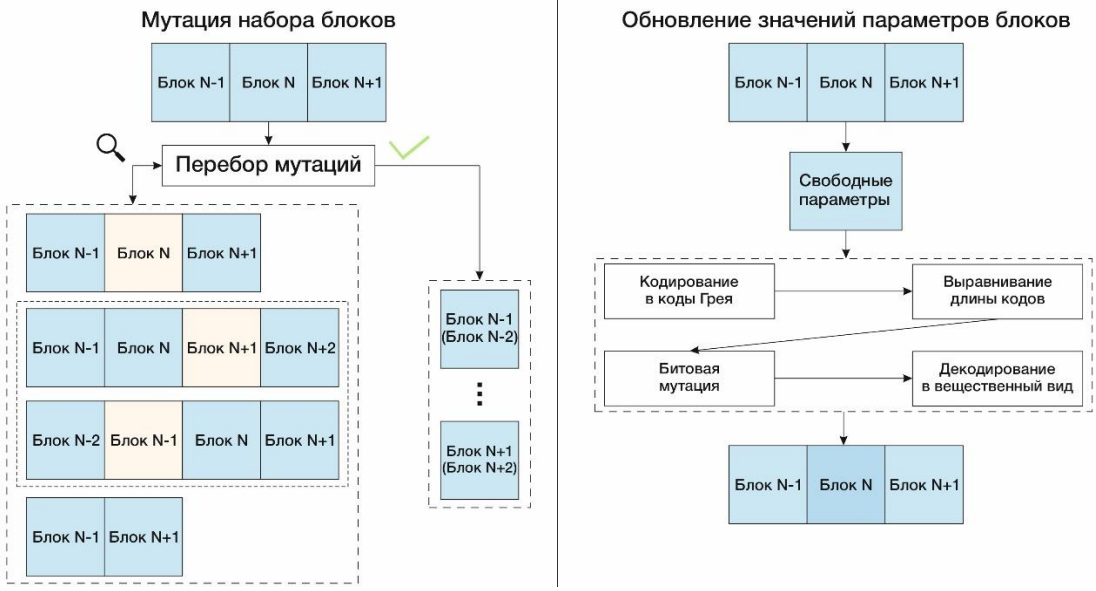


Рис. 3. Работа оператора мутации

Оператор мутации также имеет два этапа работы (рис. 3) и обладает куда более значительными возможностями. На первом этапе данный оператор может изменять тип блока на другой, добавлять новые блоки или удалять уже имеющиеся. На втором этапе оператор мутации работает схожим образом с оператором скрещивания, за исключением этапа

изменения значений - в декодированной последовательности с определенной вероятностью производится изменение отдельных битов на противоположные. Такая работа операторов скрещивания и мутации обеспечивает не только поиск оптимальной архитектуры, но и процесс HPO.

Эксперимент

В качестве набора данных для эксперимента был выбран датасет EuroSAT [17]. Этот датасет состоит из 27000 RGB изображений размера 64x64, распределенных между 10 классами. Имеющиеся исследования [17-18] демонстрируют эффективность сверточных нейронных сетей. В рамках экспериментов изображения использовались в двух формах: исходные и аугментированные. Были использованы следующие аугментации: случайный поворот изображения (до 10 градусов), горизонтальные отражения, изменение яркости (до 20 % от исходного), растяжение/сжатие/сдвиг (не более 10% от исходного размера). Применение каждого из вышеописанных преобразований при обработке изображения равновероятно. Данные были разбиты на обучающую и валидационную выборки в пропорции 80% и 20% соответственно.

Всего было проведено 4 основных эксперимента: с исходными изображениями и выключенным наследованием весов, с аугментированными изображениями и выключенным наследованием весов, с исходными изображениями и включенным наследованием весов.

Чтобы ускорить проведение экспериментов размер популяции был ограничен 20 особями, число циклов работы генетического алгоритма также было ограничено до 20. Для селекции отбиралось 5 архитектур при помощи турнирного отбора с размером турнира равного 2. Все эксперименты проводились при фиксированном значении параметра вероятности мутации 0.15, вероятность добавления нового блока в результате мутации: 0.2, вероятность изменения блока в результате мутации: 0.2, вероятность скрещивания участков хромосомы и соответствующих параметров: 0.5. Каждая из рассматриваемых моделей обучалась в течение 20 эпох. Раз в 5 эпох обучения, модель проверялась на валидационном наборе. Наибольшее значение выбиралось как итоговый уровень точности. Для ускорения сходимости генетического алгоритма используется перенос лучшей модели текущего поколения в следующее.

Виды использованных блоков: LinearReLU – блок, реализующий линейный слой вместе с функцией активации ReLU. Данный блок лежит в основе полносвязной части нейронной сети. В качестве опционального элемента при сборке нейронной сети можно добавить Dropout слой. Диапазон изменения числа нейронов в слое: [1,512]; LinearSoftmax – аналог LinearReLU блока с функцией активации Softmax; ConvReLU – блок, реализующий сверточный слой с функцией активации ReLU. В качестве опциональных элементов выступают слои Dropout и BatchNorm2d. Из данных блоков собрана сверточная часть нейронной сети. Диапазон изменения числа ядер свертки: [1, 128], диапазон изменения размера ядра свертки: [2,5], диапазон изменения padding: [1,1], диапазон изменения stride: [1,2]; Flatten – блок, используемый для соединения сверточной и полносвязной части нейронной сети путем добавления Flatten слоя. Для повышения качества результатов, в каждом из экспериментов использовались слои Dropout и BatchNorm2d.

Одной из задач в проводимых экспериментах является дополнительное изучение работы механизма наследования весов, описанного в [16]. В отличии от оригинальной работы, в экспериментах используется иное пространство поиска, представление архитектуры и иные возможности ее изменения.

Результаты

На рис. 4 представлены данные о максимальной и средней адаптации по популяции в экспериментах без использования аугментации изображений. В таком сценарии обучения

различия между обычным NAS и NAS с наследованием весов слабо выражено. В случае работы механизма WI наблюдается избыточного увеличения размера архитектуры. Такое увеличение не приносит заметного улучшения в точности.

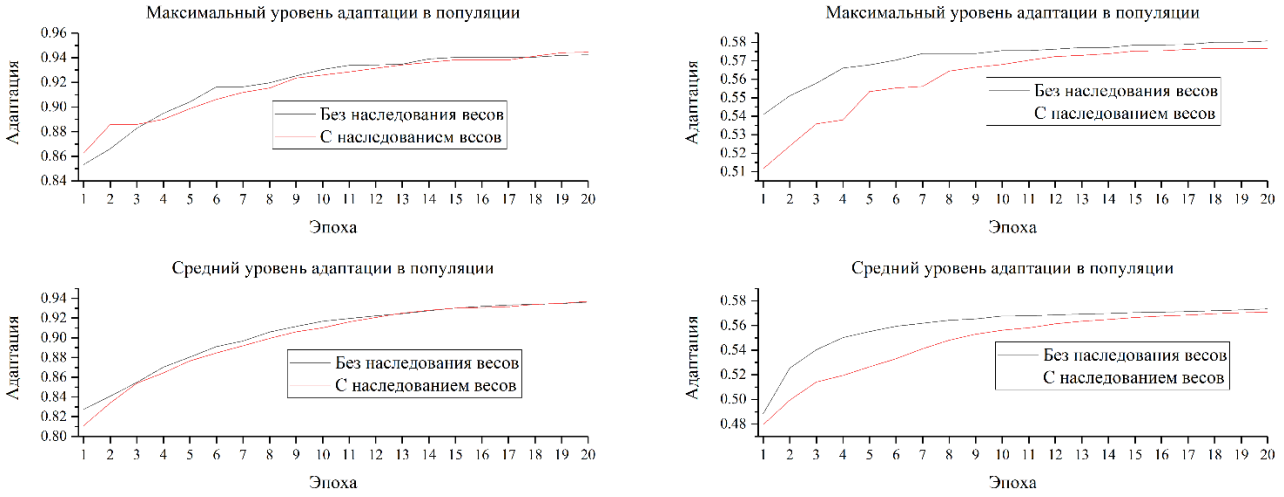


Рис. 4. Динамика изменения адаптации в популяции, слева без аугментации изображений, справа с аугментацией

В случае использования аугментаций динамика заметно изменяется. Механизм WI вызывает снижение скорости схождения генетического алгоритма (рис. 4). Особенно ярко этот эффект выражен для показателя среднего уровня адаптации в популяции. В отличии от предыдущих экспериментов избыточное увеличение архитектуры при таких параметрах не наблюдалось. Среднеквадратичное отклонение (СКО) среднего уровня без использования аугментированных изображений (рис. 5) ниже при использовании механизма WI. При использовании аугментированных изображений наблюдается быстрое уменьшение СКО. Спустя 20 эпох среднеквадратичное отклонение при обычном NAS уменьшилось на ~59%, в то же время при наследовании весов уменьшение составило ~65%. Использование механизма WI замедляет рост точности в популяции, что может быть сигналом снижения эффективности операторов ГА и увеличении шанса преждевременного схождения.

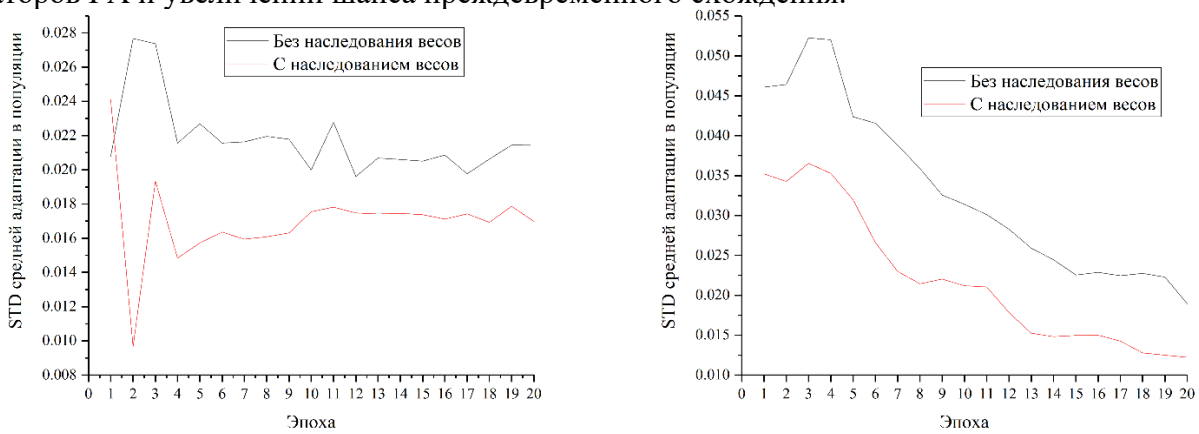


Рис. 5. Динамика изменения среднеквадратичного отклонения средней адаптации в популяции. Слева без аугментации изображений, справа с аугментацией

Заключение

Осуществлена реализация автоматизированного поиска нейросетевых архитектур (NAS) на датасете EuroSAT и проанализирована динамика параметров популяций в различных сценариях работы, в частности с механизмом наследования весов. Полученные

данные свидетельствуют об успешной работе данного вида NAS, однако также в процессе работы были получены данные, свидетельствующие о ряде особенностей работы механизма WI, часть из которых не отмечена в оригинальной работе [16]. Из-за различия в используемых видах пространства поиска, данных и параметрах эксперимента невозможно однозначно определить их источник, данный вопрос нуждается в дальнейшем исследовании.

Список использованных источников

1. White C. и др. Neural Architecture Search: Insights from 1000 Papers // arXiv. – 2023. [Электронный ресурс] – URL: arxiv.org/abs/2301.08727 (дата обращения: 14.11.2024).
2. Salehin I. и др. AutoML: A systematic review on automated machine learning with neural architecture search // Journal of Information and Intelligence. – 2024. – Т. 2, № 1. – С. 52–81.
3. Hu H. и др. Efficient Forward Architecture Search // arXiv. – 2019. – [Электронный ресурс] – URL: arxiv.org/abs/1905.13360 (дата обращения: 14.11.2024).
4. Chen B. и др. MnasFPN: Learning Latency-aware Pyramid Architecture for Object Detection on Mobile Devices // arXiv. – 2020. – [Электронный ресурс] – URL: arxiv.org/abs/1912.01106 (дата обращения: 14.11.2024).
5. Yu T., Zhu H. Hyper-Parameter Optimization: A Review of Algorithms and Applications // arXiv. – 2020. [Электронный ресурс] – URL: arxiv.org/abs/2003.05689 (дата обращения: 14.11.2024).
6. Chauhan V.K. и др. A Brief Review of Hypernetworks in Deep Learning // Artificial Intelligence Review. – 2024. – Т. 57, № 9. – С. 250.
7. Zhang C., Ren M., Urtasun R. Graph HyperNetworks for Neural Architecture Search // arXiv. – 2020. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/1810.05749 (дата обращения: 14.11.2024).
8. Saxena S., Verbeek J. Convolutional Neural Fabrics // arXiv. – 2017. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/1606.02492 (дата обращения: 14.11.2024).
9. Bender G. и др. Understanding and Simplifying One-Shot Architecture Search. – [Электронный ресурс]. – URL: proceedings.mlr.press/v80/bender18a/bender18a.pdf (дата обращения: 14.11.2024).
10. Domhan T., Springenberg J.T., Hutter F. Speeding up Automatic Hyperparameter Optimization of Deep Neural Networks by Extrapolation of Learning Curves. – [Электронный ресурс]. – URL: ml.informatik.uni-freiburg.de/wp-content/uploads/papers/15-IJCAI-Extrapolation_of_Learning_Curves.pdf (дата обращения: 14.11.2024).
11. Mellor J. и др. Neural Architecture Search without Training // arXiv. – 2021. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/2006.04647 (дата обращения: 14.11.2024).
12. Gibb S., La H.M., Louis S. A Genetic Algorithm for Convolutional Network Structure Optimization for Concrete Crack Detection // 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). – Rio de Janeiro: IEEE, 2018. – С. 1-8.
13. Suganuma M., Shirakawa S., Nagao T. A Genetic Programming Approach to Designing Convolutional Neural Network Architectures // arXiv. – 2017. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/1704.00764 (дата обращения: 14.11.2024).
14. Sun Y. и др. Automatically designing CNN architectures using genetic algorithm for image classification // IEEE Trans. Cybern. – 2020. – Т. 50, № 9. – С. 3840-3854.
15. Xie L., Yuille A. Genetic CNN // 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – Venice: IEEE, 2017. – С. 1388-1397.
16. Real E. и др. Large-Scale Evolution of Image Classifiers // arXiv. – 2017. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/1703.01041 (дата обращения: 14.11.2024).
17. Helber P. и др. EuroSAT: A Novel Dataset and Deep Learning Benchmark for Land Use and Land Cover Classification [Электронный ресурс] // arXiv. – 2019. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/1709.00029 (дата обращения: 14.11.2024).
18. Verma M. и др. Explainable Custom CNN Architecture for Land Use Classification using Satellite Images // 2021 Sixth International Conference on Image Information Processing (ICIIP). – Shimla, India: IEEE, 2021. – С. 304-309.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ КАНАЛА WI-FI

Борн Р.С.
Научный руководитель: Брагин А.Д.
Студент НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8В13, rsb8@tpu.ru
Ст. преподаватель НИ ТПУ, ИШИТР, bragin@tpu.ru

Аннотация

Статья представляет метод локализации объектов на основе анализа состояния канала Wi-Fi с использованием одной антенны. Предложенная нейросетевая архитектура включает: CSI энкодер, модуль слияния с механизмом внимания и обучается по парадигме учитель-ученик с псевдо-метками от YOLOv8-pose, обеспечивая определение ключевых точек человеческого тела без использования камер.

Ключевые слова: Wi-Fi сенсинг, информация о состоянии канала (CSI), локализация объектов, ключевые точки тела, дистилляция знаний.

Введение

В последние годы технологии беспроводной передачи данных получили широкое распространение, став неотъемлемой частью повседневной жизни. Одновременно с этим возрос интерес к использованию этих технологий не только для коммуникации, но и для задач сенсорного восприятия окружающей среды. Особое внимание привлекают системы, основанные на анализе состояния канала Wi-Fi (Channel State Information, CSI), которые позволяют определять положение и движения объектов в пространстве без использования традиционных средств наблюдения, таких как камеры видеонаблюдения или специализированных датчиков.

Традиционные методы локализации и отслеживания объектов в основном опираются на системы компьютерного зрения, использующие камеры. Однако такие системы имеют существенные ограничения: они требуют прямой видимости, чувствительны к условиям освещения, могут вызывать опасения, связанные с конфиденциальностью, и часто оказываются неэффективными в сложных условиях, например, при недостаточном освещении или наличии препятствий. В отличие от оптических систем, методы, основанные на анализе CSI Wi-Fi, свободны от большинства этих ограничений, что делает их перспективной альтернативой.

В настоящей статье представлен метод локализации объектов на основе анализа состояния канала Wi-Fi с использованием модели глубокого обучения. В отличие от существующих подходов, требующих нескольких точек доступа или множества антенн, предлагаемый метод позволяет эффективно определять ключевые точки человеческого тела с использованием CSI данных, полученных всего с одной антенны Wi-Fi. Это существенно упрощает практическое внедрение системы и расширяет спектр ее возможных применений.

Стенд

В данной работе использовался для сбора данных о состоянии канала Wi-Fi стенд, состоящий из двух микроконтроллерных модулей ESP32 с интерфейсом USB-C [1], оснащенных внешними антеннами (рис. 1).

Один из модулей выполняет функцию передатчика, а второй – приемника радиочастотного сигнала Wi-Fi в диапазоне 5 ГГц (стандарт IEEE 802.11ac). Антенны всенаправленного типа обеспечивают устойчивую передачу и прием сигнала в контролируемой экспериментальной среде. Конфигурация стенда позволяет осуществлять непрерывный мониторинг изменений состояния канала Wi-Fi с частотой дискретизации около 200 Гц.

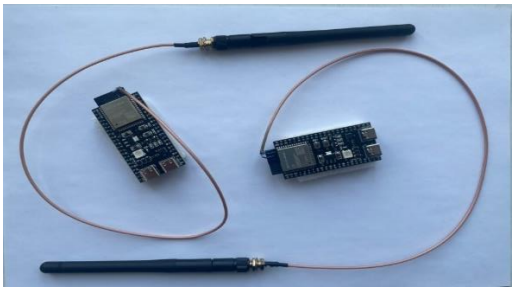


Рис. 1. Экспериментальный Стенд

Данные

Информация о состоянии канала Wi-Fi

В качестве основного источника информации используются данные о состоянии канала Wi-Fi. CSI представляет собой комплексное описание характеристик канала передачи между передатчиком и приемником, отражающее влияние физической среды на распространение радиосигнала. Эти данные содержат информацию о том, как сигнал трансформируется при прохождении через среду, включая затухание, фазовый сдвиг и другие параметры для каждой поднесущей в OFDM-модуляции (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), применяемой в современных стандартах Wi-Fi.

Сбор данных Wi-Fi CSI

В рамках исследования был собран экспериментальный набор данных, состоящий из информации о состоянии канала Wi-Fi и соответствующих изображений. Сбор CSI данных осуществлялся путем захвата пакетов Wi-Fi в реальном времени с частотой дискретизации приблизительно 200 Гц. Для каждого временного интервала фиксировались как метаданные пакетов, так и детальная информация о состоянии канала. Метаданные включали в себя следующие параметры (таблица 1):

Таблица 1. Метаданные CSI

Обозначение	Расшифровка
type	Тип пакета
seq	Порядковый номер пакета
mac	MAC-адрес устройства-отправителя
rssi	Уровень принимаемого сигнала
rate	Скорость передачи данных
sig_mode	Режим сигнала
mcs	Индекс модуляции и кодирования
bandwidth	Ширина канала
smoothing	Флаги сглаживания
not_sounding	Звучание
aggregation	Агрегации
stbc	Пространственно-временного блочного кодирования
fec_coding	Кодирования с прямым исправлением ошибок
sgi	Использования короткого защитного интервала
noise_floor	Уровень шума
ampdu_cnt	Количество подпакетов в A-MPDU
channel, secondary_channel	Основной и вторичный каналы
local_timestamp	Временную метка
ant	Индекс антенны
sig_len	Длина сигнала
rx_state	Состояние приемника
len	Длина полезной нагрузки CSI
first_word	Служебная информацию
data	Массив данных CSI

Наиболее важной составляющей сырых данных является массив data, содержащий комплексные значения поднесущих Wi-Fi, которые представляют собой квадратуры (I/Q-компоненты) сигнала для каждой поднесущей. В исследовании использовались данные одной антенны в частотной полосе 40 МГц, что соответствует 56 поднесущим.

Параллельно с CSI данными производилась видеосъемка с синхронизированной временной меткой, что позволило создать согласованный набор данных, где каждой CSI записи соответствует кадр видеоизображения. Эти изображения были использованы для генерации псевдо-меток ключевых точек, необходимых для обучения модели.

Временные окна и агрегация данных

Поскольку движения человека представляют собой динамический процесс, для их эффективного анализа используется подход на основе временных окон. В данном исследовании применяются окна размером 5 последовательных CSI записей, что позволяет учитывать временную динамику изменений канала связи при перемещении объектов в пространстве. Такой подход обеспечивает возможность отслеживания движений и более точной локализации ключевых точек, по сравнению с использованием изолированных CSI записей. Данные в пределах временного окна подвергаются нормализации и центрированию для устранения влияния различных аппаратных факторов и условий среды, не связанных с наличием и движением объектов. Это позволяет сконцентрироваться на изменениях CSI, вызванных непосредственно присутствием и перемещением человека в зоне действия Wi-Fi сигнала.

Преобразование CSI данных

Комплексные значения CSI, полученные из сырых данных, преобразовывались в амплитудные и фазовые компоненты. Полученные амплитудные и фазовые характеристики нормализовались и структурировались в виде тензора размерности (1, N, 1), где N – количество используемых поднесущих. Первое измерение соответствует одной используемой антенне, а последнее – одному временному отсчету.

Формирование окон наблюдения

Для учета временной динамики CSI сигналов и повышения устойчивости модели к шумам был использован подход на основе скользящего окна. Для каждого момента времени t формировалось окно из W последовательных CSI наблюдений (t-W+1, t-W+2, ..., t), где W = 5 – размер окна. Таким образом, входные данные для модели представляли собой тензоры размерности (W, N) для амплитуд и фаз соответственно, где W = 5 – размер окна, а N = 30 – количество поднесущих. В процессе формирования окон также производилась дополнительная валидация данных и обработка краевых случаев. При недостаточном количестве поднесущих в исходных данных применялось дополнение нулями до требуемого размера.

Генерация псевдо-меток

Поскольку непосредственная разметка ключевых точек человеческого тела на основе CSI данных является сложной задачей, в исследовании был применен подход с использованием псевдо-меток. Для этого на синхронизированных по времени изображениях применялась предобученная модель YOLOv8-pose [2], которая позволяет детектировать 17 ключевых точек человеческого тела (включая нос, глаза, уши, плечи, локти, запястья, бедра, колени и лодыжки). Полученные ключевые точки сохранялись в формате плоского вектора $[x_1, y_1, x_2, y_2, ..., x_{17}, y_{17}]$, где (x_i, y_i) – координаты i-й ключевой точки в пространстве изображения. Эти координаты нормализовались относительно размеров изображения, что обеспечивало инвариантность к масштабу. Синхронизация между CSI данными и изображениями осуществлялась на основе временных меток, что позволяло сопоставить каждому окну CSI данных соответствующие координаты ключевых точек. Таким образом, для каждого временного окна формировался обучающий пример, состоящий из входных данных (амплитуды и фазы CSI) и целевых значений (координаты ключевых точек).

Структура набора данных

Итоговый набор данных, использованный для обучения и валидации модели, имел следующую структуру:

1. Входные данные:

- Амплитуды CSI: тензор размерности (B, W, N)
- Фазы CSI: тензор размерности (B, W, N), где B – размер обучающего батча, W = 5 – размер временного окна, N = 30 – количество поднесущих.

2. Целевые значения:

- Координаты ключевых точек: тензор размерности (B, 34), где 34 соответствует 17 ключевым точкам по 2 координаты (x, y).

Общий объем экспериментального набора данных составил несколько временных последовательностей, каждая содержащая в среднем 100 CSI записей, что после применения метода скользящего окна позволило сформировать обучающий набор для разработки и валидации модели.

Архитектура модели и ее обучение

Предлагаемая архитектура, представляет собой композицию нескольких нейросетевых модулей: энкодера для CSI данных (CSIEncoder), энкодера для ключевых точек (KeypointsEncoder) и модуля мультимодального слияния (MultimodalFusion).

Общая архитектура модели состоит из следующих основных компонентов:

1. CSI энкодер: извлекает признаки из амплитудных и фазовых компонент CSI данных.
2. Энкодер ключевых точек: используется только на этапе обучения для обработки псевдо-меток.
3. Модуль мультимодального слияния: объединяет признаки из различных источников с использованием механизма внимания.
4. Выходной слой: преобразует объединенные признаки в предсказания координат ключевых точек.

Для обучения предложенной модели используется парадигма учитель-ученик (Teacher-Student Training), которая позволяет эффективно передавать знания от предварительно обученной модели компьютерного зрения к модели, работающей с CSI данными.

В данном подходе роль учителя выполняет предварительно обученная модель YOLOv8-pose, которая анализирует визуальные данные (изображения) и предоставляет высокоточные оценки положения ключевых точек человеческого тела. Эти оценки используются в качестве псевдо-меток для обучения модели-ученика, работающей исключительно с CSI данными.

Процесс обучения включает следующие этапы:

1. Генерация псевдо-меток: модель-учитель (YOLOv8-pose) применяется к набору изображений, синхронизированных с CSI данными, для получения координат ключевых точек. Только оценки с уверенностью выше порогового значения (0.5) принимаются во внимание.
2. Дистилляция знаний: модель-ученик обучается минимизировать расхождение между своими предсказаниями и псевдо-метками учителя. В качестве функции потерь используется среднеквадратичная ошибка (MSE).

Такой подход позволяет модели научиться извлекать релевантную информацию о позе человека непосредственно из CSI данных, без необходимости доступа к визуальным данным во время инференса.

Результаты

Для оценки качества работы модели используется процентное соотношение корректно определенных ключевых точек (PCK), т.е. доля ключевых точек, предсказанных с ошибкой не более заданного порога.

Модель демонстрирует следующие показатели эффективности на тестовом наборе данных:

1. Среднеквадратическая ошибка (MSE) составила 0.0274 для нормализованных координат, что соответствует средней абсолютной ошибке приблизительно 4.8 см в реальном физическом пространстве при условиях экспериментальной среды размером 3×4 м.

2. Метрика PCK@0.5 составила 76.3 %, что указывает на то, что более трех четвертей ключевых точек локализованы с точностью до 50 % от размера ограничивающей рамки человека.

Анализ результатов по отдельным ключевым точкам выявил закономерность в точности их локализации: наиболее точно определялись крупные суставы (плечи, бедра) и центральные точки тела (например, центр туловища), в то время как дистальные точки конечностей (запястья, лодыжки) и лицевые ориентиры (нос, глаза) локализовались с относительно большей погрешностью. Данное наблюдение коррелирует с физическими характеристиками отражения и дифракции радиоволн от объектов различного размера и свойств.

1. Сравнение с существующими методами

Сопоставление результатов с аналогичными исследованиями в области Wi-Fi сенсинга [3] показало, что предложенная модель достигает сопоставимой точности при существенно меньших аппаратных требованиях. В частности, в сравнении с методом «DensePose From WiFi» [4], требующим множественных точек доступа, предложенное решение с одной антенной демонстрирует лишь незначительное снижение точности (приблизительно на 8-12 % по метрике PCK), при этом значительно упрощая практическую реализацию системы.

2. Вычислительная эффективность

Оценка вычислительной эффективности модели показала, что время инференса на современном CPU составляет в среднем 23 мс на образец, что позволяет осуществлять обработку в режиме, близком к реальному времени, при частоте дискретизации CSI данных около 200 Гц. При использовании графического ускорителя время инференса сокращается до 5 мс, что обеспечивает возможность применения модели в системах, требующих обработки данных в реальном времени.

Размер модели в сериализованном виде составляет около 12 МБ, что делает её пригодной для развертывания на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами, включая встраиваемые системы и устройства Интернета вещей.

Заключение

Проведенная экспериментальная оценка подтверждает эффективность предложенного подхода к локализации ключевых точек человеческого тела на основе анализа CSI данных, полученных с одной антенны Wi-Fi. Модель демонстрирует достаточно хорошую точность в определении общей позы и положения основных суставов, сохраняя работоспособность в различных сценариях, включая отсутствие прямой видимости.

Полученные результаты свидетельствуют о потенциальной применимости разработанной технологии в практических системах умного дома, здравоохранения и человеко-машинного взаимодействия, где требуется неинвазивное отслеживание положения и движений человека без использования оптических средств наблюдения.

Список использованной литературы

1. Espressif. esp-csi: CSI (Channel State Information) Tools for ESP32 [Электронный ресурс]. – URL: github.com/espressif/esp-csi (дата обращения 15.01.2025).

2. Ultralytics. YOLOv8: Supported Tasks and Modes [Электронный ресурс]. URL: https://docs.ultralytics.com/ru/models/yolov8/#supported-tasks-and-modes (дата обращения 15.01.2025).

3. Кучин И.Ю. Разработка системы позиционирования и контроля объектов с помощью беспроводной технологии Wi-Fi / Кучин И.Ю., Иксанов Ш.Ш., Рождественский С.К., Коряков А.Н. // Системы анализа и обработки данных. – 2015. – № 3 (60).

4. Jiaqi Geng, Dong Huang, Fernando De la Torre // arXiv:2301.00250 [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/2301.00250 (дата обращения 15.01.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ И МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА

Бабинович А.Е.[1,2]
Научный руководитель: Коношонкин А.В.[3,4]
[1]*НИ ТГУ, ФТФ, студент, anastasiababinovich@gmail.com*
[2]*ИОА СО РАН, техник ЛРЭВ*
[3]*НИ ТГУ, ФТФ, д.ф.-м.н. профессор каф. прикладной аэромеханики*
[4]*ИОА СО РАН, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ЛРЭВ*

Аннотация

В данной работе рассмотрена методика, позволяющая определить, является ли наблюдаемый объект беспилотным летательным аппаратом, расстояние до него, размер объекта и его линейную скорость. Параметры определяются с помощью методов машинного зрения и алгоритмов триангуляции для видеопотока со стереоскопических камер. Данный подход отличается простотой в реализации, а система на его основе – в развертке и установке.
Ключевые слова: БПЛА, машинное зрение, триангуляция, мониторинг

Введение

Сфера беспилотных летательных аппаратов стремительно развивается [1]. В различных регионах создаются специализированные центры, занимающиеся разработкой как самих дронов для множества задач – от сельскохозяйственных до разведывательных и боевых, ‑ так и систем противодействия возможным угрозам, включая контратаку и слежку. Острой проблемой остаётся защита охраняемых территорий, таких как стратегически важные объекты, исследовательские учреждения, базы спецподразделений и элементы городской инфраструктуры, от несанкционированного проникновения и потенциальных атак.

Для решения этой задачи часто применяются нейросетевые алгоритмы для распознавания беспилотников [2], радарные системы и акустические методы. Однако такие подходы не всегда оправданы, поскольку характеризуются высокой стоимостью, крупными габаритами оборудования и сложностью быстрого развертывания. Ключевым аспектом также является своевременное оповещение оператора или автоматизированной системы о приближении дрона. Это подразумевает необходимость обнаружения объекта уже в момент его первого появления на горизонте, когда он может выглядеть как едва заметная точка размером всего лишь в один пиксель.

Используемые методы и алгоритмы

Таким образом, была поставлена задача о создании системы раннего обнаружения БПЛА, которая с помощью компьютерного зрения могла бы достаточно рано отличить один тип движущегося объекта от другого при условии, что они оба могут представлять собой один пиксель на матрице камеры (см. рисунок 1) [3].

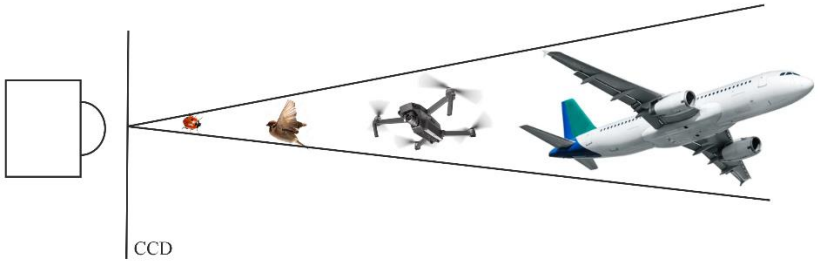


Рис. 1. Проблема восприятия объектов, расположенных на разных расстояниях от камеры

Для решения этой задачи разработана система, состоящая из двух микрокомпьютеров Raspberry Pi и двух камер полного неба. С помощью алгоритмов компьютерного зрения изображения преобразуются, после чего обрабатываются и ключевые характеристики о наблюдаемом объекте (углы отклонения от статических векторов, время появления, угловая скорость) передаются на сервер, где с помощью алгоритмов сопоставления потоков информации с двух камер и триангуляции определяются координаты объекта, его абсолютная скорость и оценка: является ли наблюдаемый объект беспилотным летательным аппаратом.

Обработка видеопотоков с камер

Решение задачи сегментации объекта в видеопотоке достаточно часто решается с помощью нейросетей. Однако в случае обнаружения БПЛА данный подход не может быть эффективным. Причиной этому является, во-первых, большая вариативность и возможность мануального изменения внешнего вида беспилотного аппарата, во-вторых, высокие требования к вычислительным мощностям ЭВМ, в-третьих, отсутствие большой базы данных, на которых модель сможет обучиться. Даже при соблюдении всех условий подобная система не сможет достоверно оценивать объекты, меньше определенного порога.

Следовательно, требуется применить иной алгоритм для обнаружения объекта и получения о нем сведений. Первым шагом является обнаружение движущегося объекта в видеопотоке. В рамках данной работы принимается за данность что фоном является небо с достаточно высокой гомогенностью (с отсутствием ясно отличимых облаков с высокой скоростью движения). В дальнейшем возможно усовершенствование алгоритмов, что позволит определять нужные характеристики объекта при разных условиях освещения и особенностей фона (уточнение может достигаться как программными способами, так и инструментальными – например, введением или заменой камер видимого диапазона инфракрасными матрицами).

Сегментация объекта на видеопотоке

В теории компьютерного зрения существуют различные подходы по выявлению движущихся объектов – в основном задача состоит в сравнении покадрово изображений: *i*-е изображение сравнивается с (*i-1*)-м с помощью различных алгоритмов. Наиболее применимым из перечисленных является алгоритм вычитания фона – с его помощью из изображения можно выделить статичный фон, который мало подвержен изменениям и не учитывать его в расчетах. Однако в случае задачи определения положения БПЛА фон не всегда стационарен – особенно при направлении камер на небо: облачность может существенно понизить точность работы программы, если не полностью нарушить её логику. Гораздо сложнее будет выделять объекты на фоне лесного массива, когда движение деревьев может затруднить отделение фона. Тем не менее, данные проблемы могут быть решены. В случае с небом следует ввести ограничение на возможный размер объекта: облака представляют собой достаточно большие структуры и не составляет труда отделить их от интересующих потенциальных летательных аппаратов. В случае же с лесным массивом (который также создает дополнительные сложности в виде возможности маскировки БПЛА) следует ввести в использование инфракрасные датчики, которые смогут лучше фильтровать поступающую информацию.

Впрочем, главной целью данной работы выступает проверка применимости триангуляционных алгоритмов для определения положения БПЛА с помощью камер видимого диапазона, поэтому рассматривать на данном этапе задачу можно упрощенно. Пусть камеры направлены на небо, а движущиеся потенциальные объекты всегда темнее чем фон (рассматривается только отрезок светового дня). Тогда отделение объекта не составляет труда – достаточно с помощью маски отфильтровать все пиксели, которые светлее определенного порога. Для этого входное изображение из палитры BGR (представление изображения в формате BGR является исторической особенностью библиотеки OpenCV и при визуализации данных с камеры должна учитываться для верной интерпретации цветов) переводится в черно-

белый формат, после чего устанавливается некий порог dark_threshold. Пиксели, которые в диапазоне от 0 до 255 находится ближе к правой границе более светлые, где 255 – абсолютно белый цвет, к левой – более темные, 0 – абсолютно черный цвет. После этого применяется инвертированная маска, которая все пиксели светлее границы делает абсолютно черными, а ниже границы –абсолютно белыми, что позволяет четко определить наблюдаемый объект (см. рис. 2).

Рис. 2. Процесс преобразования входного изображения для последующей обработки

Далее применяются морфологические операции для улучшения маски объектов. Для устранения мелких разрывов и шумов используется операция замыкания (Closing). Для этого создается ядро в форме эллипса 5 на 5 пикселей (форма эллипса лучше сохраняет структуру объектов по сравнению с квадратными ядрами, снижая искажения при обработке). После чего к маске применяется сама операция закрытия (посредством применения дилатации, а после эрозии). Данное действие позволяет заполнить пробелы внутри объектов и устранить мелкие шумы, улучшая выделение объектов. Такое предварительное улучшение маски повышает точность выделения контуров и снижает вероятность ложных срабатываний.

Поиск контуров происходит с помощью функции cv2.findContours, которая позволяет, во-первых, извлекать только внешние контуры, игнорируя вложенные, что позволяет ускорить обработку и снизить количество ложных объектов). Общий принцип работы, следующий: функция просматривает бинарное изображение пиксель за пикселем, обнаруживает области с одинаковым значением (в нашем случае – белые объекты на черном фоне) и создает список контуров, набор координат точек, формирующих границы найденных объектов.

Однако очевидно, что для анализа движения объекта можно упростить его представление – использовать не весь контур объекта, а его центр, и данные сообщать о нем. Кроме того, объектов может быть больше одного и необходимо их различать. В таком случае добавляется список объектов: id и центров соответствующих им контуров. Так как объекты движутся необходимо исключить создание большого числа отдельных объектов для каждого нового кадра. Во избежание подобного поведения перед добавлением обнаруженного контура в список нужно проверить является ли этот объект действительно новым или это движущийся ранее обнаруженный. Для определения относительных координат объектов на матрице используется функция moments библиотеки OpenCV (также известная как моменты изображения). Когда найден контур его координаты преобразуются в центр масс с помощью моментов изображения: площадь контура (сумма всех пикселей внутри него) делится на суммы координат пикселей, взвешенных по их значению соответственно для осей ординат и абсцисс, что дает координаты центра масс контура. Наглядный пример работы алгоритма представлен на рисунке 3.

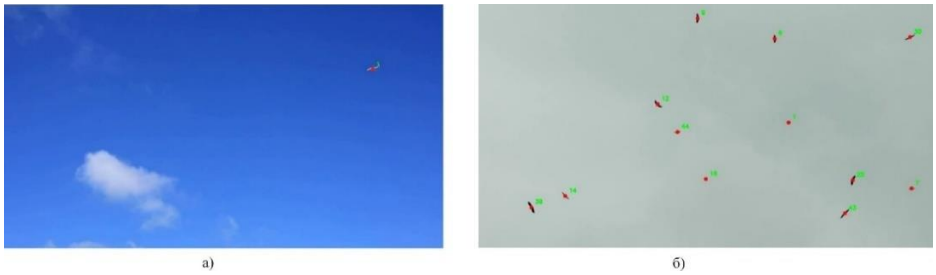


Рис. 3: а) отслеживание центра масс летящего самолета,
б) отслеживание центра масс летающих птиц

Применение триангуляции

Для применения алгоритма триангуляции необходимо использовать как минимум 2 камеры. Сам алгоритм сводится к построению треугольников, и наличие двух камер позволяет определить необходимые углы для определения расположения наблюдаемого объекта, его размер и скорость перемещения. В представленном проекте используются камеры полного неба, позволяющие определить зенитный и азимутальный углы в сферической системе координат. Однако особенности использования подобных камер, детали звездной механики для определения точных координат и прочие детали реализации проекта являются темой отдельного доклада и в рамках приведенной работы не рассматриваются. Чтобы проверить работу триангуляционного алгоритма на примере реального видеопотока можно воспользоваться упрощенной системой из двух камер, имитирующих стереоскопическое зрение и использующие «плоский» случай системы без зенитного угла. В данном упрощенном виде вектор от которого ведется отсчет углов принимается направленным вертикально вверх и проходящим через середину изображения. Схема представлена на рисунке 4. Полученные углы позволяют определить расстояние до объекта, его угловую и линейную скорость, что в свою очередь позволяет классифицировать объект по характерным признакам.

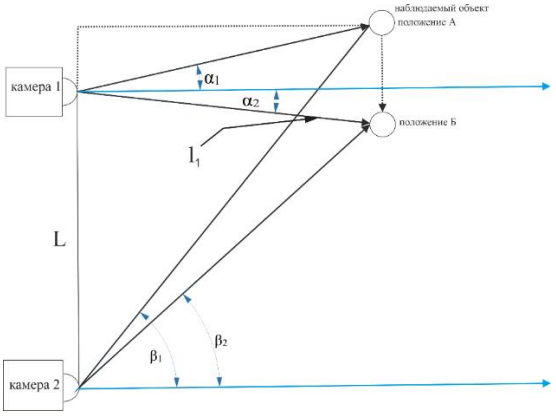


Рис. 4. Упрощенная схема плоского случая триангуляции на двух камерах

Например, для нахождения расстояния l_1 от камеры 1 до наблюдаемого объекта во второй момент времени (положение Б) можно воспользоваться формулой (1).

$$l_1 = \frac{L \cdot \cos(\beta_2)}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} \quad (1)$$

где L – расстояние между камерами (заранее известное, порядка 100 метров), α_2 и β_2 – углы отклонения наблюдаемого объекта от перпендикуляров относительно первой и второй камер соответственно.

Так как и в реальной системе видеопотока два, ставится задача о соотношении объектов между камерами. Эта задача не является тривиальной, и требует отдельного рассмотрения. Для отслеживания объектов между кадрами, как и ранее используется уникальный идентификатор. После определения координат объекта в каждом кадре вычисляется его «азимутальный» угол – угол отклонения относительно вертикалей для каждой из камер соответственно. В рамках симуляции опорные линии задаются разными смещениями относительно центра кадра. Расстояние от центра объекта до опорной линии используется для вычисления угла отклонения по формуле (2).

$$\theta = \arctan\left(\frac{dx}{width}\right) \quad (2)$$

где **dx** – разница между координатой X объекта и координатой опорной линии, **width** – ширина кадра.

Далее учитывая смещение объекта между кадрами углы вычисляются отдельно для каждого потока, после чего результаты сопоставляются. Полученный угол переводится в

градусы и фиксируется для дальнейшего анализа (непосредственные расчеты проводятся на сервере (пример работы см. рис. 5)). Стоит отметить, что в памяти достаточно хранить всего два состояния объекта: *i*-ый и *(i-1)*-ый. Далее не составляет труда рассчитать расстояние до наблюдаемого объекта по формуле (2).

```
Object ID: 1 | Angle 1: 81.36° | Angle 2: 4.78° | Distance: 99.88 m
Object ID: 1 | Angle 1: 81.36° | Angle 2: 4.65° | Distance: 99.91 m
Object ID: 1 | Angle 1: 81.36° | Angle 2: 4.51° | Distance: 99.95 m
Object ID: 1 | Angle 1: 81.35° | Angle 2: 4.33° | Distance: 100.00 m
Object ID: 1 | Angle 1: 81.35° | Angle 2: 4.24° | Distance: 100.02 m
Object ID: 1 | Angle 1: 81.35° | Angle 2: 4.16° | Distance: 100.04 m
```

Рис. 5. Пример программы, которая выводит информацию об углах отклонения

Результаты

В ходе проделанной работы был протестирован алгоритм триангуляции и машинного зрения для получения информации о движущемся объекте. Для этого объект сначала сегментируется, далее определяется контур объекта и его центр масс. Учитывается случай множества объектов, для чего вводится уникальные идентификаторы для сохранения данных о конкретном объекте. Алгоритмы триангуляции позволяют определять расстояние до объекта и его скорость. По совокупности размера объекта и его скорости можно определить тип объекта и передать предупреждение о приближении БПЛА.

Заключение

Задача раннего обнаружения БПЛА в современном мире стоит достаточно остро. Применение разработанной системы, состоящей из двух камер стереоскопического зрения и микрокомпьютеров семейства Raspberry Pi позволяет с помощью алгоритмов компьютерного зрения и триангуляционных алгоритмов определить характеристики наблюдаемого объекта. Использование данного подхода позволяет не только фиксировать факт присутствия объекта в заданной зоне, но и проводить точные расчёты его местоположения в реальном времени. В дальнейшем возможно расширение метода за счёт улучшения алгоритмов обработки изображений и внедрения дополнительных сенсоров, что повысит точность и надёжность системы. В рамках данного доклада рассмотрены программные особенности упрощенной системы в плоской системе координат.

Список использованной литературы

1. Noorwali A., Awais Javed M., Khan Zubair M., Eficient UAV Communications: Recent Trends and Challenges // Computers, Materials and Continua. – 2020. – Vol. 67. Is. 1. – P. 463-476.

2. Классификация беспилотных летательных аппаратов (в контексте современных войн в арабском мире) / С.И. Безруков, В.Ю. Гумелев, А.В. Пархоменко, Д.А. Филиппов // Оригинальные исследования. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 66-81.

3. Кучин И.Ю. Разработка системы позиционирования и контроля объектов с помощью беспроводной технологии Wi-Fi / Кучин И.Ю., Иксанов Ш.Ш., Рождественский С.К., Коряков А.Н. // Системы анализа и обработки данных. – 2015. – № 3 (60).

4. Коношонкин А.В., Бабинович А.Е. Определение положения БПЛА на основе триангуляционных алгоритмов и камер полного неба // Международный молодежный форум Беспилотные аппараты «БПЛА-2024». – Минск, 2024 – С.187-190.

ВЛИЯНИЕ АДДИТИВНЫХ ПОМЕХ НА КАЧЕСТВО СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ СНИМКОВ ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ, ВЫПОЛНЯЕМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ MO-U-NET

Булько С.В. [1], Малкин А.Ю.[2]
[1]НИ ТПУ, ИШИТР, студент, гр. 8К12, e-mail: svb44@tpu.ru
[2]НИ ТПУ, ИШИТР, аспирант, e-mail: aym27@tpu.ru

Аннотация

Исследуется влияние аддитивного гауссового шума на качество семантической сегментации снимков деревьев пихты сибирской, проводимой с помощью модели сверточной нейронной сети Mo-U-Net. Показано, что наличие аддитивных шумов на обучающих фрагментах датасета ухудшает качество семантической сегментации тестового снимка.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, семантическая сегментация снимков деревьев пихты сибирской, аддитивный гауссов шум, помехоустойчивость сверточной нейронной сети

Введение

В настоящее время специалисты лесной отрасли вынуждены проводить оперативный мониторинг пораженных уссурийским полиграфом деревьев пихты сибирской на довольно значительной территории России. Очаги такого вредителя пихтовых лесов сегодня выявлены в Томской области, Удмуртии, Прибайкалье и т. д. [1, 2]. Для оперативного мониторинга применяются (БПЛА), оснащенные устройствами цифровой фото- и (или) видеосъемки. Для автоматической семантической сегментации (попиксельной классификации) на таких снимках деревьев пихты по классам здоровья (степени поражения уссурийским полиграфом) активно применяются сверточные нейронные сети (СНС) [3]. В результате работы аппаратуры БПЛА на снимках могут возникать аддитивные помехи (часто говорят - шумы), что влияет на качество семантической сегментации (на точность попиксельной классификации) деревьев на снимках моделями СНС. Для снижения влияния аддитивного шума на качество сегментации в моделях СНС применяются функции потерь, являющиеся робастными: они обладают определенной устойчивостью к шумам. Примером таких функций является робастная функция потерь Уэлша [4], которая может быть применена при обучении выбранной нами для исследования модели СНС Mo-U-Net [5].

В данной работе изучается устойчивость модели СНС Mo-U-Net, обученной с робастной функцией потерь Уэлша, к аддитивному гауссовому шуму на снимках с БПЛА пораженных уссурийским полиграфом деревьев пихты сибирской.

Подготовка датасета

Для обучения, валидации и исследования выбранной и описанной ниже модели СНС необходимо иметь соответствующие наборы данных.

В качестве исходного набора данных используется датасет, подготовленный в рамках исследования [3]. Исходные снимки, полученные в [3] с помощью фотокамеры на БПЛА, были размечены авторами этой статьи с учетом следующих классов здоровья деревьев пихты сибирской: «Живые», «Отмирающие», «Свежий сухостой» и «Старый сухостой». Кроме того, был объявлен класс «Фон», куда входят деревья, не относящиеся к деревьям породы пихты сибирской, или прочие объекты на снимке. По размеченным снимкам датасета подготовлены обучающая выборка, которая состоит из 2004 фрагментов, а также валидационная выборка – 672 фрагмента и тестовая выборка – 91 фрагмент. Все фрагменты каждого RGB - канала имеют размер 256x256 пикселей.

На основе исходного датасета нами создается новый датасет, содержащий фрагменты с искусственным образом вводимыми аддитивными помехами. В новом датасете зашумляется 25% площади обучающих фрагментов, то есть 25% пикселей от всего количества пикселей каждого фрагмента. Пиксели фрагмента, подлежащие зашумлению, выбираются случайным образом по дискретному равномерному закону распределения. Измененные значения амплитуд яркости каждого из RGB-каналов ω(x,y) зашумленного пикселя вычисляются по формуле:

$$\omega(x,y) = s(x,y) + n(x,y), \quad (1)$$

где x и y – координаты пикселя, на который будет накладываться шум; s(x,y) – начальные (исходные) значения амплитуды яркости пикселей каждого из RGB-каналов; n(x,y) – случайная амплитуда накладываемого на полезный сигнал шума (изменения значений амплитуды яркости пикселей RGB-каналов).

Пусть амплитуда аддитивной помехи представлена случайной величиной, полученной из распределения Гаусса (нормальное распределение), задаваемого функцией плотности вероятности:

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где z – значение амплитуды помехи, вычисляемое как вероятность включения этого значения в диапазон [μ-σ; μ+σ]; μ – математическое ожидание случайной величины, σ – ее среднеквадратичное отклонение.

На рисунке 1 представлены примеры зашумления фрагмента снимка деревьев пихты аддитивными помехами с различными параметрами. Визуальный анализ этих примеров позволяет считать, что наличие таких помех с определенными значениями параметров на фрагменте оказывает некоторое влияние на его качество.

Рис. 1. Зашумление фрагмента снимка деревьев пихты: a – исходный фрагмент; наложение аддитивного шума, математическое ожидание μ *и среднеквадратичное отклонение которого, соответственно, составляют: b – 15 и 0,5; c – 20 и 0,5; d – 20 и 2.0*

Задача классификации снимков с аддитивными помехами

Пусть для решения задачи семантической сегментации снимков с БПЛА деревьев пихты сибирской, пораженных уссурийским полиграфом, применяется модель СНС Mo-U-Net [5]. Эта модель является модификацией классической архитектуры U-Net [6]. Особенностью модели Mo-U-Net является сочетание пространственной информации и контекстных признаков, что показало эффективность ее в решении задач семантической сегментации (попиксельной классификации) снимков деревьев пихты.

При обучении модели будет применяться робастная функция потерь Уэлша, определяемая в [4] как:

$$L = 1 - exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{\beta}\right)^2\right), \quad (3)$$

где β – коэффициент функции потерь; k – величина ошибки предсказания модели. Производная данной функции имеет вид:

$$L' = \frac{1}{\beta^2} k\ exp\ (-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{\beta}\right)^2). \quad (4)$$

Выражение (4) является непрерывным во всем множестве вещественных чисел, что позволяет использовать (3) в качестве функции потерь в алгоритме обратного распространения ошибки при обучении модели СНС. В проводимом эксперименте будут браться значения коэффициента β в диапазоне [0,001; 9,000].

Проводится серия экспериментов, на первом этапе которых создается новый датасет. Для этого искусственно зашумляются обучающие фрагменты исходного датасета с фиксированной площадью зашумления, равной 25%, при различных значениях параметров нормальной (гауссовской) плотности распределения вероятности. Так параметр μ, принимает значения 10, 15 и 20 при фиксированном среднеквадратичном отклонении распределения вероятности σ, равном 2,0. Затем готовятся фрагменты нового датасета для исследования влияния σ, принимающего значения 0,5, 1,0, 1,5, при фиксированном математическом ожидании μ, равном 20. Результаты исследования эффективности модели Mo-U-Net в этих экспериментах будут также сравниваться с результатами обучения, валидации и тестирования этой модели на исходном датасете из [3], то есть на датасете без аддитивных помех.

При очередных значениях параметров аддитивных помех в течение 50 итераций с применением байесовского алгоритма оптимизации определяется квази-оптимальное значение коэффициента робастной функции потерь Уэлша, при котором обученная и валидированная модель будет демонстрировать максимальное значение метрики mIoU на валидационной выборке. Такая модель затем будет исследоваться на тестовой выборке датасета.

Для оценки точности классификации снимков в качестве критерия точности модели использовались следующие метрики. Во – первых, это IoU_c (Intersection over Union for Class) – мера оценки степени перекрытия между предсказанными и истинными областями для одного класса *c* деревьев:

$$\mathrm{IoU}_c = \frac{TP_c}{TP_c+FP_c+FN_c}, \quad (5)$$

где True Positive *c* (TP*c*) – количество пикселей, которые правильно предсказаны как принадлежащие классу *c*; False Positive *c* (FP*c*) – количество пикселей, которые предсказаны как принадлежащие классу *c*, но на самом деле принадлежат другому классу; False Negative *c* (FN*c*) – количество пикселей, которые должны принадлежать данному классу, но были классифицированы как принадлежащие другому классу.

Еще одной метрикой является Mean Intersection over Union – мера оценки степени перекрытия между предсказанными и истинными областям, усредненная по всем классам:

$$\mathrm{mIoU} = \frac{1}{N}\sum_{c=1}^{N} \mathrm{IoU}c\ , \quad (6)$$

где N – количество классов деревьев пихты в датасете, равное пяти. Будем считать, что обученная и валидированная модель Mo-U-Net является эффективной в решении задачи мультиклассификации деревьев пихты на снимках, если в результате сегментации тестового снимка моделью значения метрик IoU_c и mIoU превышают 0,5. Кроме того, будем считать метрику mIoU мерой устойчивости исследуемой модели Mo-U-Net к помехам.

На языке Python с применением фреймворка PyTorch программно реализована модель СНС Mo-U-Net, а также робастная функция потерь Уэлша. Проведены обучение и валидация модели на новом датасете, получены следующие результаты.

Результаты экспериментов

Алгоритм проведения каждого из экспериментов следующий. Покажем его на конкретном примере. В результате обучения и валидации модели Mo-U-Net на фрагментах,

содержащих аддитивный шум, математическое ожидание которого составляет 10, а среднеквадритичное отклонение – 2,0, максимальное значение метрики mIoU было достигнуто при значении коэффициента β РФП Уэлша, равном 1,4453. В этом случае значение метрики mIoU равно 0,6751. На рисунке 2 представлен ход эксперимента по подбору квази-оптимального значения коэффициента β функции потерь в рассматриваемом случае. Из рисунка следует, что квази-оптимальное значение коэффициента β РФП Уэлша было получено на 22 итерации проводимого эксперимента при достижении максимального значения метрики mIoU, равного 0,6751.

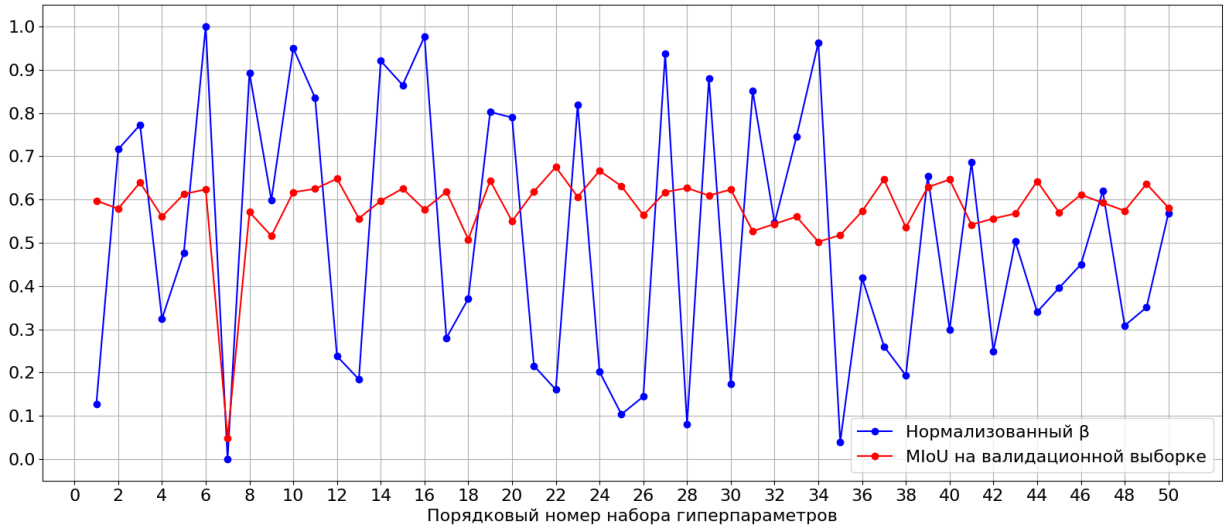


Рис. 2. Валидация модели, обученной на зашумленных аддитивными помехами данных с математическим ожиданием, равным 10, на фрагментах

Получены аналогичные результаты при анализе подобных рисунков для других рассматриваемых сценариев зашумления обучающих фрагментов. Так, при математическом ожидании аддитивных помех на обучающих фрагментах, равном 15, квази-оптимальное значение коэффициента β составляет 7,1352. В таком случае метрика mIoU на валидационной выборке примет значение 0,7057. При величине математического ожидания аддитивных помех, равном 20, квази-оптимальным значением коэффициента функции потерь является 3,7540. Значение метрики mIoU на валидационной выборке при этом составляет 0,7048.

При обучении модели на фрагментах, содержащих аддитивные шумы с различным среднеквадратичным отклонением при постоянном математическом ожидании, равном 20, были получены квази-оптимальные значения коэффициента β функции потерь: 1,9193, 3,9096, 5,1552 при σ, равном, соответственно, 1,5, 1,0, 0,5. В таких случаях моделью Mo-U-Net получены следующие значения метрики mIoU на валидационной выборке: 0,6914, 0,6968, 0,7404. При обучении модели на фрагментах без аддитивных помех квази-оптимальное значение коэффициента β функции потерь Уэлша равно 5,8181. Метрика mIoU на валидационной выборке в данном случае составляет 0,7156.

Обученная и валидированная модель Mo-U-Net была протестирована на тестовой выборке. Все полученные результаты тестирования в виде значений метрики mIoU представлены в таблице 1. Из нее следует, что наличие аддитивных помех на обучающих фрагментах уменьшает точность классификации валидационных и тестовых фрагментов. Однако, максимальное уменьшение значения метрики mIoU на тестовой выборке составляет 0,0668 относительно случая отсутствия аддитивных помех и является небольшим. Стоит обратить внимание, что довольно значительное изменение параметров μ и σ нормальной (гауссовской) плотности распределения вероятности помех не оказывает значимого влияния на точность классификации деревьев пихты на снимках, выполняемой с помощью модели СНС Mo-U-Net.

Таблица 1. Квазиоптимальные значения коэффициента функции потерь модели и значения метрики mIoU

Параметры аддитивного шума обучающих фрагментов		Коэф-т функции потерь	mIoU на валидационной выборке	mIoU на тестовой выборке
μ	σ			
отсутствует аддитивный шум		5,8181	0,7156	0,6864
10	2,0	1,4453	0,6751	0,6272
15	2,0	7,1352	0,7057	0,6196
20	2,0	3,7540	0,7048	0,6235
20	1,5	1,9193	0,6914	0,6334
20	1,0	3,9096	0,6968	0,6309
20	0,5	5,1552	0,7404	0,6274

Заключение

Проведено исследование влияния аддитивных помех на фрагментах снимков деревьев пихты сибирской при обучении модели СНС Mo-U-Net в случае различных значений параметров аддитивных помех. Было установлено, что наличие аддитивных помех на обучающих фрагментах датасета оказывает влияние на качество сегментации тестового снимка в сторону его ухудшения. Тем не менее, в случае изменения как математического ожидания, так и среднеквадратичного отклонения нормальной (гауссовской) плотности распределения вероятности помех не привносит значительных изменений в точность классификации деревьев пихты на зашумленных аддитивными помехами снимках, получаемой с помощью модели Mo-U-Net. Это говорит о том, что РФП Уэлша способствует устойчивости исследуемой модели Mo-U-Net к аддитивным помехам для довольно больших диапазонов изменения параметров μ и σ нормального распределения случайных амплитуд этих помех.

Список использованных источников

1. Бисирова Э. М., Кривец С. А., Черногривов П. Н. Распространение и популяционные характеристики уссурийского полиграфа Polygraphus proximus на севере Томской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – №. 244. – С. 7-25.

2. Пашенова Н. В. и др. Чувствительность флоэмы хвойных Сибири к Grosmannia aoshimae (Ohtaka, Masuya & Yamaoka) Masuya & Yamaoka–симбионту уссурийского полиграфа // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева). – 2020. – С. 247-248.

3. Керчев И. А. и др. Семантическая сегментация поврежденных деревьев пихты на снимках с беспилотных летательных аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18. – №. 1. – С. 116-126.

4. Сивак М. А. Робастное обучение нейронных сетей с простой архитектурой для решения задач классификации: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.17. – Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, 2022. – 117 с.

5. Марков Н.Г., Мачука К. Модели и методы глубокого обучения для решения задач дистанционного мониторинга лесных ресурсов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 6. – С. 55–74. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4600

6. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical image computing and computer-assisted intervention–MICCAI 2015: 18th international conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III 18. – Springer international publishing, 2015. – С. 234-241.

ВЫБОР МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ АЛГОРИТМА КЭННИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАНИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Сюэ Юйнин [1]
Научный руководитель: Худоногова Людмила Игоревна [2]
[1]ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 158Т12, e-mail: sy010@tpu.ru
[2]ТПУ ИШИнЭС ОИС/ ИШИТР ОАР, доцент e-mail: likhud@tpu.ru

Аннотация

В данной работе исследуются методы выбора порогов для алгоритма Кэнни: метод глобальной пороговой обработки и метод глобальной пороговой обработки на основе выбора области. Второй метод показал более точное обнаружение границ с меньшим уровнем шума по сравнению с глобальным подходом.

Ключевые слова: обнаружение границ, алгоритм Кэнни, метод Оцу, глобальная пороговая обработка.

Введение

В цифровой обработке изображений обнаружение границ играет ключевую роль, позволяя выделить важные объекты и структуры. В частности, для задач контроля качества сварных соединений, точное обнаружение границ необходимо для определения их геометрии, выявления дефектов и обеспечения соответствия стандартам. Одним из наиболее популярных методов обнаружения границ является алгоритм Кэнни, предложенный Джоном Кэнни в 1986 году [1]. Он обеспечивает хорошую локализацию границ и минимальное количество ложных срабатываний. Ключевым этапом его реализации является определение порогов, которые напрямую влияют на качество и точность обнаружения границ. Существующие методы определения пороговых значений, в том числе часто используемый метод глобальной пороговой обработки (GT), не всегда могут обеспечить результат с требуемой точностью.

В данной работе предложен модифицированный метод глобальной пороговой обработки на основе выбора области (RBGT), который адаптивно определяет пороговые значения с учетом локальных особенностей изображения. Целью работы является проведение экспериментальных исследований методов GT и RBGT, сравнение точности и эффективности двух методов для различных типов изображений, анализ их преимуществ и недостатков, а также определение оптимальных сценариев их применения. Оба метода используют алгоритм Оцу для автоматического расчета оптимального порога [2], основанный на максимизации межклассовой дисперсии для эффективного разделения пикселей изображения на передний план и фон. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения RBGT для широкого круга задач компьютерного зрения. Результаты могут быть использованы для совершенствования систем машинного зрения в промышленности и научных исследованиях, в частности, для определения дефектов сварных швов и построении траектории при выполнения сварного шва.

Методы определения пороговых значений на основе алгоритма Оцу

Алгоритм Оцу, также известный как метод максимальной межклассовой дисперсии, является классическим алгоритмом сегментации изображений, предложенным Масаюки Оцу. Алгоритм известен своей высокой эффективностью и надежностью, может автоматически определять оптимальный порог сегментации изображения и обладает сильной адаптивностью к изменениям яркости и контрастности изображения, в следствие чего широко используется в области цифровой обработки изображений [3]. Алгоритм Оцу является одним из наиболее эффективных методов для автоматического определения порога сегментации, особенно в случаях, когда изображение имеет неравномерное освещение или низкий контраст [4].

Межклассовая дисперсия определяется по формуле:

$$\sigma_b^2(t) = \omega_0(t)\omega_1(t)[\mu_0(t) - \mu_1(t)], \quad (1)$$

где t − оптимальный порог, $\omega_0(\mathrm{t})$ и $\omega_1(\mathrm{t})$ − коэффициенты пикселей переднего и заднего планов соответственно, $\mu_0(\mathrm{t})$ и $\mu_1(\mathrm{t})$ −средние значения пикселей переднего и заднего планов соответственно.

В данной работе были рассмотрены два метода для определения верхнего и нижнего порогов для алгоритма Кэнни: метод глобальной пороговой обработки (GT) и метод глобальной пороговой обработки на основе выбора области (RBGT). Для обоих методов алгоритм Оцу используется как основа для самого простого определения порога изображения.

1) GT – это метод сегментации изображений, основанный на характеристиках распределения серой шкалы изображения. Данный метод эффективен для обработки изображений с равномерным освещением, однако имеет ограничения при работе с изображениями, содержащими сложные текстуры или неравномерное распределение цвета [5]. Его суть заключается в бинарной сегментации изображения путем вычисления глобального порога, который делит пиксели изображения на две категории (обычно передний план и фон).

Изображение преобразуется в бинарное на основе определенного порога *T:*

$$\text{бинарное изображение:}(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } I(X,Y) > T \\ 0 & \text{if } I(X,Y) \le T \end{cases}, \quad (2)$$

где $I(X,Y)$ – значение шкалы серого для исходного изображения, 255 означает передний план (белый), 0 - фон (черный).

2) RBGT предполагает вычисление порога путем выбора важной области (или репрезентативной области) на изображении и применении этого порога ко всему изображению. Выбор области осуществляется в соответствии с характером изображения по следующим правилам:

1) Для низкоконтрастных изображений с небольшой разницей в значении серого или цвета между объектом и фоном выбирается область внутри объекта, т.к. значение серого внутри обычно более равномерно.

2) Для высококонтрастных изображений с большой разницей в значении серого или цвета между объектом и фоном выбирается область на стыке объекта и фона, т.к. контрастность здесь самая высокая и подходит для расчета порогового значения.

3) Для изображений, которые содержат несколько целевых объектов и фонов, выбирается область, где объект сконцентрирован, а фон прост.

Результаты экспериментальных исследований

Для экспериментального исследования эффективности двух рассмотренных выше методов определения пороговых значений была разработана программа в среде программирования.

Алгоритм был реализован в несколько шагов:

1) считывание изображения;

2) замена считанного изображения на изображение в серой шкале;

3) вычисление порога изображения с помощью алгоритма Оцу;

4) применение порога, а затем использование алгоритма Кэнни для определения границ.

Для выделения областей также потребовалась отдельная функция извлечения изображения.

В качестве входных данных использовались несколько различных по своим характеристикам изображений. Результаты обработки этих изображений GT представлены в таблице 1. Результаты обработки изображений RBGT представлены в таблице 2.

Таблица 1. Результаты обнаружения границ методом GT

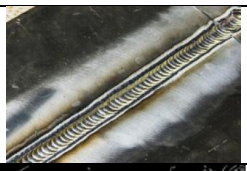
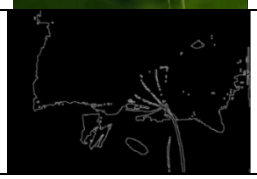
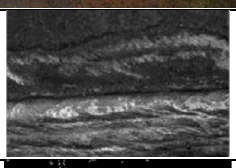
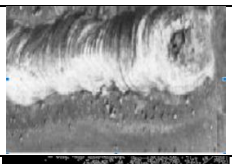
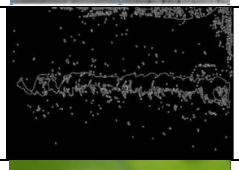
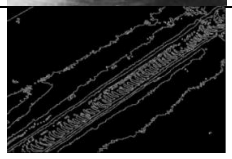
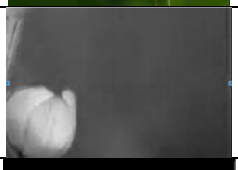
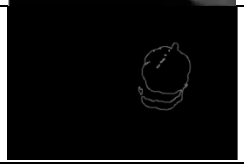
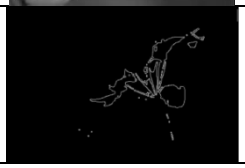
Изображение			
Результаты обнаружения краев			
Изображение			
Результаты обнаружения краев			

Таблица 2. Результаты обнаружения границ методом RBGT

Изображение			
Выбранная область			
Результаты обнаружения краев			
Изображение			
Выбранная область			
Результаты обнаружения краев			

Из таблиц 1 и 2 видно, что RBGT, обладает лучшим эффектом обнаружения, с большей вероятностью выделяет объект и имеет меньше шума. Чтобы проверить этот вывод, сделанный на основе визуального сравнения, проанализируем полученные изображения после обнаружения границ.

Шум обычно проявляется в виде случайных колебаний яркости изображения, что увеличивает флуктуации значений пикселей и делает стандартное отклонение больше. Поэтому в качестве количественной метрики точности было выбрано стандартное отклонение изображений, полученных в результате обнаружения границ различных изображений.

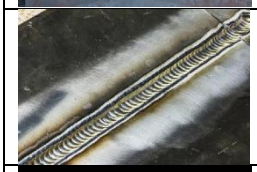
Стандартное отклонение рассчитывалось по следующей формуле:

$$\sigma = \sqrt{(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2)}, \quad (3)$$

где x_i – значение i-го пикселя; N – общее количество пикселей в изображении; μ – среднее значение пикселей изображения.

В таблице 3 приведены значения стандартного отклонения изображений после обнаруженных границ.

Таблица 3. Стандартное отклонение различных изображений после обнаружения

Обнаружены изображения	Стандартное отклонение графика после обнаружения границ	
	GT	RBGT
	61.24	56.66
	62.01	52.81
	61.59	61.36
	17.43	16.02
	35.06	25.85
	49.36	51.48

Из данных таблицы 3 видно, что стандартное отклонение RBGT, в большинстве случаев меньше, чем GT, что говорит о том, что метод обеспечивает более точное обнаружение границ с меньшим уровнем шума, особенно для изображений с неравномерным освещением или сложным фоном, что подтверждает вывод, сделанный в ходе визуального сравнения.

На основании анализа полученных результатов экспериментальных исследований и теоретической информации были выявлены преимущества и недостатки обоих методов, определены оптимальные сценарии применения, а также выполнен сравнительный анализ по таким критериям, как сложность реализации, устойчивость к шуму и чувствительности к контрастности. Результаты комплексной оценки методов представлены в таблице 3.

Таблица 4. Комплексная оценка методов

Оценка	GT	RBGT
Преимущества	Простота реализации, подходит для стандартных задач обработки изображений. Эффективен для изображений с высокой контрастностью между объектом и фоном	Способность адаптироваться к различным условиям освещения в разных областях изображения. Лучший эффект обнаружения, меньше шума, лучше непрерывность границ. Подходит для изображений с неравномерным освещением или сложным фоном
Недостатки	Менее эффективен для изображений с неравномерным освещением или сложным фоном. Больше шума	Большие вычислительные затраты. Выбор региона может приводить к разным результатам
Сценарии применения	Изображения с равномерным освещением и простым фоном. Изображения с высокой контрастностью между объектом и фоном	Изображения с неравномерным освещением или сложным фоном. Задачи, требующие высокой точности обнаружения границ
Сложность реализации	Простая реализация	Более сложная реализация, требует разделения на регионы и выбора важных областей
Устойчивость к шуму	Чувствителен к шуму, больше шума	Меньше шума, результаты обнаружения границ более чистые
Чувствительность к контрастности	Эффективен для изображений с высокой контрастностью между объектом и фоном. Менее эффективен для изображений с низкой контрастностью.	Лучше справляется с изображениями с низкой контрастностью. Более высокая различимость между объектом и фоном

Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что GT прост в реализации и подходит для изображений с равномерным освещением, простым фоном и высоким контрастом между объектом и фоном, но чувствителен к шуму и менее эффективен при работе со сложными изображениями. В свою очередь, RBGT может адаптироваться к условиям освещения различных областей, обеспечивает более точное обнаружение границ с меньшим шумом, особенно хорошо подходит для изображений с неравномерным освещением или сложным фоном, но требует большого объема вычислений и отличается более сложной реализацией. Таким образом, наилучшим выбором для простых изображений является GT, в то время как для сложных изображений или задач, требующих высокоточного обнаружения границ, более эффективным является RBGT.

Список использованных источников

1. Canny J. Вычислительный подход к обнаружению границ // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – Т. 8, № 6, 1986. – С. 679-698.

2. Gatos B., Pratikakis I., Perantonis S. Сравнительное исследование методов пороговой обработки изображений для эффективной бинаризации изображений документов // Proceedings of the 9th International Workshop on Document Analysis Systems. – 2010. – С. 110-117.

3. Sezgin M., Sankur B. Survey over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation // Journal of Electronic Imaging. – 2004. – Vol. 13, No. 1. – P. 146–165.

4. Kittler J., Illingworth J. Minimum error thresholding // Pattern Recognition. – 1986. – Vol. 19, № 1. – P. 41-47.

5. Wang J.-W., Xie D., Dai Z. An Image Binarization Segmentation Method Combining Global and Local Threshold for Uneven Illumination Image // Intelligent Computing Theories and Application. – 2022. – P. 379-390. – DOI: 10.1007/978-3-031-13870-6_31.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ESP32-CAM И RASPBERY PI ПРИ ОБУЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЯМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Анакова Д.Т.[1], Кудрявцев Н.Г.[2]
[1]ГАГУ, гр. 621, anakova.d@mail.ru
[2]ГАГУ, к.т.н., доцент каф. МФиИ

Аннотация

Настоящая работа посвящена исследованию возможности использования двумерного дискретного преобразования Фурье в процессе предварительной обработки изображений для улучшения распознавания с использованием модели YOLOv4-tiny. Научная новизна представленных результатов заключается в оценке характеристик маски, используемой для реализации низкочастотного фильтра, исключающего часть высокочастотных составляющих изображения, что является эффективным при определенном типе зашумленности детектируемого сигнала.

Ключевые слова: ESP32-CAM, YOLO, детектирование объектов, двумерное дискретное преобразование Фурье

Введение

Цифровизация технологий производства, научных исследований, систем управления и многих других сфер деятельности человека предполагает кардинальную перестройку целого комплекса задач, связанных как с экономической деятельностью, так и с обычной повседневной жизнью человека. Достижения той или иной страны в создании и развитии таких направлений, как искусственный интеллект, робототехника, нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальности, новые портативные источники энергии, технологии беспроводной связи, технологии управления свойствами биологических объектов и т.п. во многом определяется успешностью развития системы образования, которая должна обеспечивать постоянно возрастающую потребность в квалифицированных инженерных и научных кадрах, в первую очередь сфере IT индустрии [1]. Одним из подходов, позволяющих повысить эффективность образовательного процесса, является проектный подход или метод проектов. Открытие метода проектной работы в образовании часто связывают с У.Килпатриком [2] – американским педагогом, автором статьи «Метод проектов», опубликованной в 1918 году, в которой была предложена такая система обучения, которая позволяла бы учащимся получать знания и овладевать умениями в процессе выполнения последовательности усложняющихся и заранее спланированных практических заданий. Овладевать технологиями компьютерного зрения и методами искусственного интеллекта можно также, используя проектный подход в образовательном процессе [3]. Основная часть проектов, начального уровня, связанных с компьютерным зрением и искусственным интеллектом основана на использовании предварительно обученных моделей на базе сверточных нейронных сетей, позволяющих классифицировать или просто детектировать представленные на изображении объекты. Проект, о котором пойдет речь в настоящей работе, связан с необходимостью обнаружения человека или группы людей, появляющихся перед камерой и оценки их относительного местоположения. Проблема заключается в том, что технические характеристики и вычислительные возможности используемого оборудования не позволяют, с одной стороны, получать качественные изображения, а с другой стороны, не дают возможности использовать серьезные нейросетевые модели для обработки этих изображений. Поэтому было принято решение в ряде случаев перед процедурой детектирования выполнять предварительную обработку изображений.

Цель настоящей работы заключается в исследовании возможности использования двумерного дискретного преобразования Фурье и оценки количественных характеристик

масок, используемых при реализации низкочастотных (low pass) фильтров, для улучшения изображений при заданной CNN модели и определенном типе зашумленности обрабатываемого сигнала.

Методы и материалы

Как уже было сказано выше, в качестве одного из технических средств используется модуль ESP32-CAM, реализованный на базе семейства микроконтроллеров ESP32. Во всем мире данное семейство микроконтроллеров применяется как основа для построения интернета вещей (IoT) и систем умного дома. Внешний вид используемого нами модуля ESP32-CAM представлен на рисунке 1.

Рис. 1. Модуль ESP32-CAM

Модуль ESP32-CAM основан на микроконтроллере ESP32-S и включает в себя двухмегапиксельную камеру OV2640 и слот для карт памяти формата micro-SD. Также плата оснащена WiFi модулем, позволяющим осуществлять удаленное подключение к сети. Неплохое описание технологий работы с данным устройством приведено в [4].

В качестве серверного устройства для обработки изображений можно использовать миникомпьютер Raspberry Pi, начиная с модели 3 B. На Raspberry Pi 3 установлен 64-х битный четырёхядерный процессор ARM Cortex-A53 с тактовой частотой 1,2 ГГц на ядро в составе однокристальной платформы Broadcom BCM2837. Raspberry Pi 3 Model B имеет 1 ГБ оперативной памяти, но эта память делится с графической подсистемой. Графический двухъядерный процессор VideoCore IV® поддерживает стандарты OpenGL ES 2.0, OpenVG, MPEG-2, VC-1 и способен кодировать, декодировать и выводить Full HD-видео (1080p, 60 FPS, H.264 High-Profile).

Для детектирования объектов на изображении [5] мы использовали облегченную сверточную нейронную сеть YOLOv4-tiny. YOLO (You Only Look Once) – это сверточная нейронная сеть (CNN, Convolutional Neural Network), но с особой архитектурой, «заточенной» под обнаружение (детекцию) объектов в режиме реального времени. Основной строительный блок данной сети – свертки. YOLO использует сверточные слои (в YOLOv3/v4 их более 50) для извлечения признаков из изображения, как и классические CNN. Как и в других CNN, YOLO строит иерархию признаков, при этом, ранние слои обнаруживают простые элементы (края, текстуры), глубокие слои выявляют сложные объекты (лица, машины). Отличает YOLO от других сетей применение таких особенностей как «Grid-подход», заключающийся в том, что изображение делится на ячейки (например, 13x13) и каждая ячейка предсказывает bbox. Также в качестве отличительной черты YOLO можно отметить и многозадачность, состоящую в том, что сеть одновременно предсказывает координаты bbox(x, y,w,h), уверенность (confidence) и классы объектов.

В процессе работы над проектом было также использовано представление изображений в частотной области посредством двумерного дискретного преобразования Фурье, реализованного функцией библиотеки NumPy fft2 и обратного преобразования ifft2 [6].

Результаты

Схема эксперимента представляет собой получение изображения с заданным временым интервалом посредством модуля ESP32-CAM, подключенного к WiFi сети и передачу этого изображения на серверное устройство, развернутое на Rasberry Pi или другой более мощной вычислительной платформе. При этом сетевое взаимодействие обеспечивается FLASK сервер, запущенный на серверном устройстве. Детектирование объектов (person) осуществляется также на серверном устройстве с использованием уже обученной модели YOLOv4-tiny. В конфигурацию данной сетевой модели входят файлы yolov4-tiny.cfg, yolov4-tiny.weights и coco.names, размещаемые в текущем каталоге программы. Программа детектирования и программа предварительной обработки написаны на языке Python. Вычислительные эксперименты проводились с использованием версии языка 3.8. Для экспериментов было сделано несколько снимков, один из которых представлен на рисунке 2 вместе с условным изображением двумерного спектра.

Рис. 2. Изображение с условной визуализацией спектра

Условность данного изображения спектра заключается в том, что для удобства визуализации был взят не реальный спектр, а логарифмы спектральных составляющих. Кроме того, была осуществлена операция сдвига, в результате которой угловые (самые низкочастотные) составляющие для удобства обработки были перемещены в центр.

Надо отметить, что данное изображение является довольно качественным и успешно детектируется как моделью YOLOv3-tiny, так и моделью YOLOv4-tiny. При этом параметр confidence (уверенность) в первом случае принимает значение 0.53, а во втором – 0.86 (рисунок 3).

Рис. 3. Детектированное изображение

Определенные проблемы с детектированием возникали при различных вариантах освещенности, в результате чего получались менее контрастные изображения. В некоторых случаях проблему удавалось решить предварительным преобразованием изображения в оттенки серого.

В процессе экспериментов была поставлена задача исследовать возможность детектирования при различных вариантах зашумленности обрабатываемого изображения. Были смоделированы ситуации с наложением Гауссового шума и шума «соль-перец». Последний случай представлен на рисунке 4.

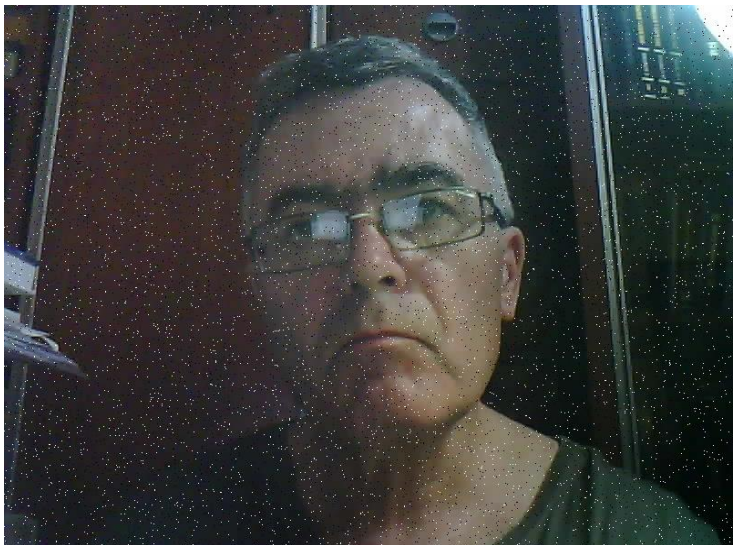


Рис. 4. Изображение с шумом «соль-перец»

Данное изображение не детектировлось ни в цветном формате, ни в формате оттенков серого. Возникла гипотеза, что от присутствующего шума можно избавиться путем исключения некоторого количества высокочастотных составляющих.

Поясним, как работает низкочастотный фильтр. После применения двумерного быстрого преобразования Фурье (FFT) получается «изображение» спектра, в котором низкие частоты располагаются по «углам», а высокие – в центре. FFT «считает», что начало координат (0,0) – это верхний левый «угол» массива значений спектральных составляющих исходного изображения. Затем выполняется функция перемещения нулевой частоты (постоянной

составляющей) в центр изображения. Теперь низкие частоты – в центре, высокие частоты – по краям. После перемещения низких частот в центр формируется маска – сначала массив из нулей размером, равным исходному изображению, в котором после применения функции по созданию в центре «круга» с заданным радиусом, заполненном единицами (фон вне радиуса остается заполненным нулями). Далее маска умножается на «изображение» сдвинутого спектра, обнуляя все значения вне радиуса и оставляя в центре только низкие частоты. После «маскирования» сдвинутого спектра выполняется операция обратного сдвига, что вернёт спектр к исходному состоянию, но только без определенной части высокочастотных составляющих. Далее выполняется обратное преобразование Фурье. В завершение полученный массив пикселей отфильтрованного изображения приводят к значениям в диапазоне от 0 до 255.

Основная проблема применения такого фильтра заключалась в правильном подборе радиуса маски. Закономерность работы фильтра заключается в том, что чем меньше радиус «разрешающей» маски тем меньше остается высоких частот, которые, как уже было сказано выше, в «сдвинутом» спектре расположены по краям. Т.е. в исходном изображении остаются только плавные переходы и убираются все мелкие детали.

Рис. 5. Продетектированное изображение после фильтрации

Эксперименты с радиусом показали удовлетворительный результат при значении 70–80. Пример продетектированного изображения представлен на рисунке 5. Хотя, надо признаться, что для успешного детектирования уровень «уверенности» для сети пришлось несколько понизить.

В процессе экспериментов была высказана гипотеза о том, что в малоконтрастных изображениях, с которыми мы экспериментировали, радиус маски низкочастотного фильтра должен быть порядка от 0.1 до 0.2 от размера изображения. Для подтверждения или опровержения данной гипотезы планируется провести еще ряд экспериментов

Заключение

Проведенное исследование показало, что при использовании CNN YOLOv4 для более уверенного обнаружения объектов на изображениях с аддитивным шумом типа «соль-перец», можно применять низкочастотные (low pass) фильтры, реализованные посредством прямого и обратного двумерного дискретного преобразования Фурье. При этом радиус маски фильтра зависит от контрастности изображения и составляет порядка 0.1–0.2 от его размера.

Список использованной литературы

1. Национальная технологическая инициатива [Электронный ресурс]. – URL: nti2035.ru/nti/ (дата обращения: 28.03.2024).

2. Пискунов, А.И. (ред.) История педагогики и образования. От зарождения воспитания в первобытном обществе до конца XX в.: Учебное пособие для педагогических учебных заведений. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Сфера, 2001. – 214 с.

3. Проектный подход и цифровые технологии: монография / Н.Г. Кудрявцев, И.Н. Фролов. – Горно-Алтайск : БИЦ ГАГУ, 2022. – 163 с.

4. Электронные проекты на основе ESP8266 и ESP32: создание приложений и устройств с поддержкой Wi-Fi .Нил Кэмерон / пер. с англ. Ю.В. Ревича. – М. : ДМК Пресс, 2022. – 456 с.

5. TinyML – машинное обучение на микроконтроллерах [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/companies/first/articles/665932/ (дата обращения: 28.03.2024).

6. Кудрявцев Н.Г. Исследование сравнительных характеристик спектральных свойств растровых изображений / Н.Г. Кудрявцев, А. А. Курусканова, А. А. Темербекова // Мир науки, культуры, образования. – 2021. – № 4(89). – С. 38-47. – DOI 10.24412/1991-5497-2021-489-38-47.

ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLO ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Демлер И.С.[1]
Научный руководитель: Марков Н.Г.[2]
[1] *НИ ТПУ, ИШИТР, студент гр. 8ПМ32, e-mail: isd8@tpu.ru*
[2] *НИ ТПУ, д.т.н., профессор ОИТ ИШИТР, e-mail: markovng@tpu.ru*

Аннотация

Для решения задачи объектного детектирования летающих объектов на изображениях предложены две гибридные модели на основе стандартной сверточной нейронной сети YOLOv8s с использованием блоков трансформеров и механизма внимания. Показано, что эти модели по точности детектирования объектов по метрикам $AP_{0,5}$, $mAP_{0,5}$ и $mAP_{0,5\text{-}0,95}$ превосходят стандартную модель, а их производительность близка к ее производительности.

Ключевые слова: детектирование летающих объектов, модель сверточной нейронной сети YOLOv8, визуальный трансформер, механизм внимания

Введение

Объектное детектирование (обнаружение, локализация и классификация) объектов на изображениях является фундаментальной задачей компьютерного зрения, имеющей широкий спектр применений [1]. В частности, актуальным направлением является распознавание летающих объектов (ЛО), таких как беспилотные летательные аппараты (БПЛА), птицы и т. д. с целью повышения безопасности воздушного пространства.

Среди различных моделей сверточных нейронных сетей (СНС) для распознавания ЛО модели YOLO (англ. You Only Look Once) приобрели значительную популярность благодаря своей высокой скорости вычислений и приемлемой точности распознавания объектов на изображениях [2]. Так, например, в работе [3] авторы исследуют эффективность применения как стандартных моделей СНС класса YOLO, так и их модификаций в системах мониторинга воздушного пространства. Однако, несмотря на успехи моделей YOLO, детектирование ЛО на изображениях по-прежнему остается сложной задачей. Такие факторы, как малый размер ЛО и плохое качество изображений требуют разработки более совершенных моделей YOLO.

Цель данной работы заключается в создании гибридных моделей СНС на основе стандартной модели YOLOv8s класса YOLO с использованием блоков трансформеров и механизма внимания и в последующем исследовании их эффективности при решении задачи детектирования на изображениях ЛО различных размеров и ЛО малых размеров.

Используемые датасеты

Для обучения, валидации и тестирования предлагаемых моделей СНС были использованы два модифицированных нами исходных датасета с изображениями размером 416×416 пикселей: airspace и airspace-small. В первом датасете объекты на размеченных изображениях имеют разные размеры (“смешанные по размерам объекты”), причем на одном изображении может быть один или несколько объектов, при этом они могут быть разных классов. На изображениях второго датасета так же могут быть один и более объектов разных классов, но все они имеют малые размеры. ЛО представлены тремя классами: БПЛА самолетного типа (aircraft-type_uav), БПЛА вертолетного типа (helicopter-type_uav) и Птица (bird). Все объекты разделены на три категории по размерам: малые ЛО – площадь не более 32×32 пикселей); средние – от 33×33 до 96×96 пикселей и большие объекты с площадью от 97×97 пикселей и более.

Дополнение имеющихся в нашем распоряжении исходных датасетов (модернизация их) изображениями проводилось с помощью системы Roboflow. При создании этих модифицированных датасетов использовался принцип максимальной реалистичности: изображения должны были точно отражать реальные ситуации в небе (на них присутствовали один или несколько ЛО заданных классов, различный фон и т. д.) Также, для увеличения количества данных, часть изображений была подвергнута аугментации. Примеры размеченных изображений представлены на рисунке 1.

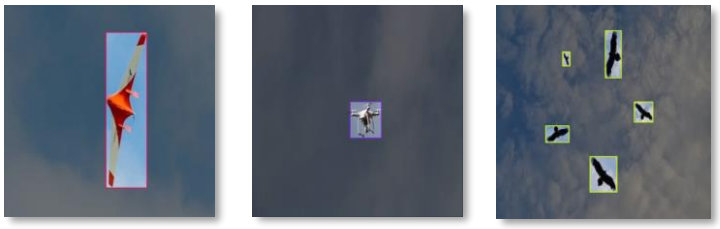


Рис. 1. Примеры аннотированных летающих объектов

В результате получено два модифицированных датасета, состоящих из 2748 изображений с объектами малых размеров и 4011 изображений с объектами “смешанных” размеров. Все изображения каждого из них были разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 70/20/10%. Распределение по классам ЛО для каждого из датасетов представлено в виде столбчатой диаграммы на рисунке 2.

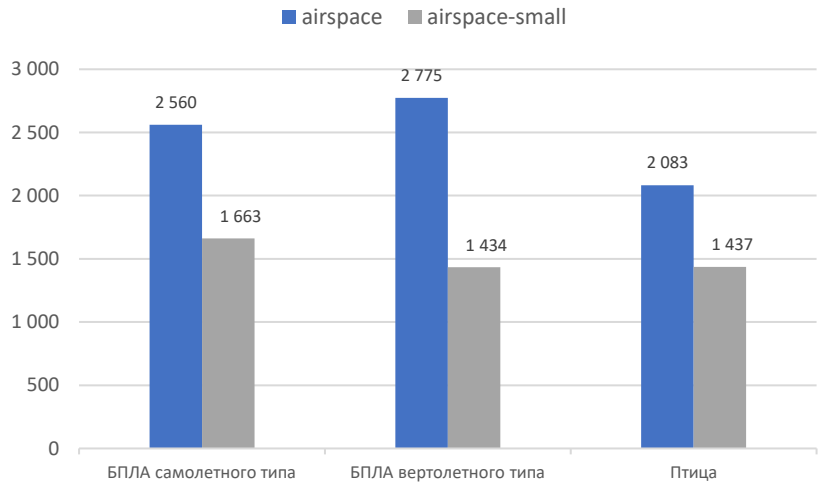


Рис. 2. Распределение летающих объектов по классам в датасетах

Стандартная модель СНС YOLOv8 и гибридные модели на ее основе

Архитектура стандартной модели СНС YOLOv8 представлена тремя базовыми компонентами [4]: “позвоночником” (англ. Backbone), “шеей” (англ. Neck) и “головой”.

Также в рамках исследования была рассмотрена гибридная модель LeYOLOs (версия small), предложенная в [5] и спроектированная на базе модели YOLOv8s. Она имеет облегченную архитектуру “позвоночника” на основе сети MobileNet, упрощенную схему “шеи” с удалением лишних ресурсоемких слоев и связей, а также разделенную сетевой структурой “голову” (англ. DNiN - Decoupled Network-in-Network) с использованием поточечных сверточных слоев (англ. pointwise convolutions). Авторы полагают, что она является более легковесной и точной по сравнению со стандартной моделью YOLOv8. Эти положения подлежат нашему исследованию при решении задачи детектирования ЛО.

Нами была предложена гибридная модель MobileViT-YOLOv8. Она использует в качестве базовой стандартную модель СНС YOLOv8s. Основным изменением является применение в качестве “позвоночника” MobileViT-блоков [6] – трансформеров,

представляющих собой облегченную и более эффективную версию стандартного визуального трансформера (англ. Visual Transformer). В таблице 1 представлены все изменения, реализованные в ходе разработки гибридной модели MobileViT-YOLOv8.

Таблица 1. Перечень изменений архитектуры модели СНС YOLOv8, представленные в MobileViT-YOLOv8

Компонент	Изменение	Пояснение
Backbone	CSPDarknet заменена на MobileViTv3 (версия XS)	MobileViTv3 является легковесным, более точным и производительным по сравнению со стандартным визуальным трансформером. Использование этого трансформера в “позвоночнике” вместо стандартного CSPDarknet [4] позволит оптимизировать и улучшить процесс извлечения признаков за счет более точного учета локального и глобального контекстов.
Neck	PANet заменена на PANet-P2	Стандартная PANet, составляющая “шею”, была дополнена связью с P2-уровнем “позвоночника”. Это позволяет учитывать в “шее” более низкоуровневые карты признаков, что, в свою очередь, обеспечивает лучшую обобщающую способность при локализации объектов малого размера.
Блоки свертки	Блок C2f заменен на C2fSimAM и C2fGhost, базовый блок свертки заменен на GhostConv	В блоке C2f был заменен модуль обычный модуль Bottleneck, состоящий из стандартных блоков свертки, на GhostBottleneck [7], основанный на использовании разделения обычной свертки на несколько шагов для того, чтобы уменьшить избыточность карт признаков, тем самым сократив количество вычислений. Также на выходе данного блока был установлен упрощенный механизм внимания, SimAM (англ. simple, parameter-free attention module) [8], позволяющий точнее выделять ключевые регионы на картах признаков.
Функция активации	Сигмоидальноая функция активации (SiLU) заменена на GELU	В блоках свертки сигмоидальная функция была заменена на GELU, которая по форме кривой представляет ту же сигмоиду, однако обладает меньшей вычислительной сложностью, что делает ее выгодной при оптимизации работы сети.

На рисунке 3 с учетом изменений и пояснений к ним из таблицы 1 схематично представлена архитектура предлагаемой гибридной модели СНС MobileViT-YOLOv8.

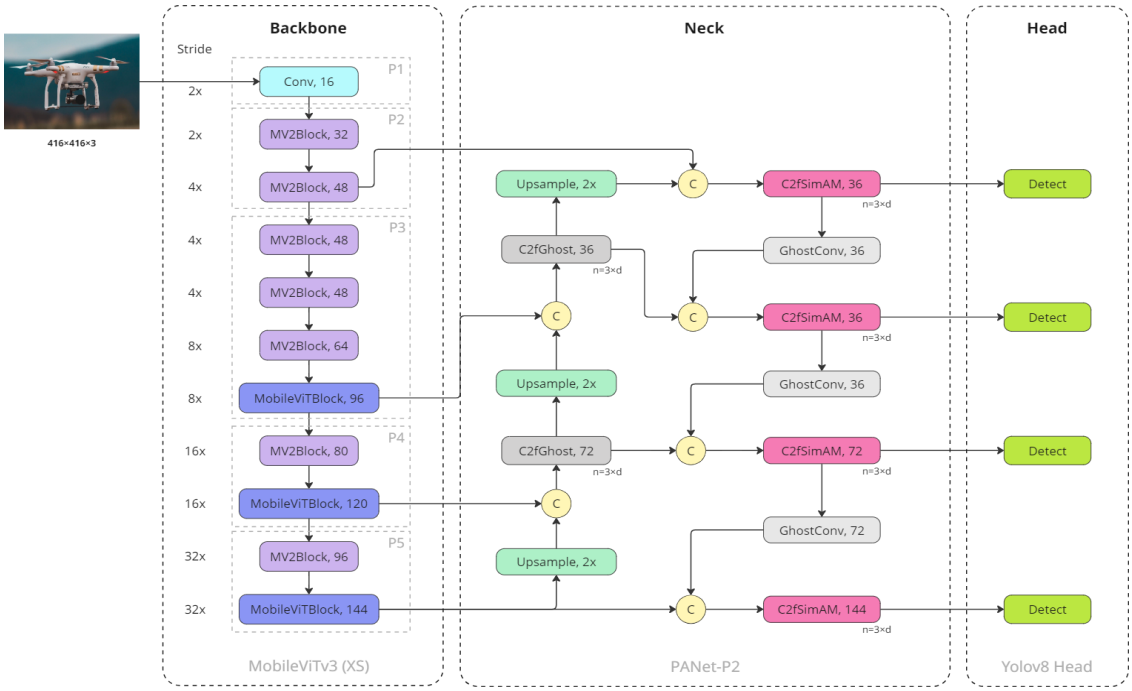


Рис. 3. Архитектура гибридной модели СНС MobileViT-YOLOv8

Обучение и валидация стандартной и гибридных моделей YOLOv8

Разработка и настройка рассматриваемых моделей СНС семейства YOLOv8 были проведены с использованием языка программирования Python 3.7 и библиотеки глубокого обучения PyTorch. Для оценки точности работы моделей использовались метрики: Precision, Recall, $AP_{0,5}$ (англ. Average Precision), $mAP_{0,5}$ (англ. mean Average Precision) и $mAP_{0,5\text{-}0,95}$. Все вычисления проводились с использованием графического процессора NVIDIA RTX A4000 с 16 ГБ видеопамяти и 24 ГБ оперативной памяти.

Обучение и валидация моделей СНС проводились при следующих настройках:

- epochs: 250 – количество эпох обучения;
- patience: 15 – допустимое количество эпох обучения без улучшения результата;
- batch: 16 – размер порции (батча) одновременно обрабатываемых изображений;
- conf_thres: 0,25 – доверительный порог;
- iou_thres: 0,6 – порог IoU (англ. Intersection over Union) для срабатывания NMS (англ. Non-Maximum Suppression);
- optimizer: Adam – оптимизатор значений гиперпараметров в ходе обучения;
- imgsz: 416 – целевой размер изображений;
- augment: True – необходимость дополнительной аугментации данных.

Результаты исследования стандартной и гибридных моделей СНС

После обучения и валидации вышеупомянутых стандартной YOLOv8s (версия small) и гибридных моделей LeYOLOs (версия small) и разработанной MobileViT-YOLOv8 были выполнены предсказания на тестовых выборках исходных датасетов. Результаты по точности детектирования по метрике $AP_{0,5}$ по каждому классу ЛО и по метрике $mAP_{0,5}$ по всем классам ЛО для каждого из датасетов представлены в таблице 2 и таблице 3.

Таблица 2. Результаты точности детектирования ЛО стандартной и гибридными моделями YOLOv8 на тестовой выборке датасета airspace

Класс	**$AP_{0,5}$, $mAP_{0,5}$**		
	YOLOv8s	**LeYOLOs**	**MobileViT-YOLOv8**
БПЛА вертолетного типа	0.941	0.940	0,979
БПЛА самолетный типа	0.930	0.960	0,944
Птица	0.901	0.913	0,928
Все	0.924	0.938	0.950

Таблица 3.

Результаты точности детектирования летающих объектов стандартной и гибридными моделями YOLOv8 на тестовой выборке датасета airspace-small

Класс	**$AP_{0,5}$, $mAP_{0,5}$**		
	YOLOv8s	**LeYOLOs**	**MobileViT-YOLOv8**
БПЛА вертолетного типа	0,932	0,890	0.974
БПЛА самолетный типа	0,919	0,914	0.927
Птица	0,862	0,843	0.873
Все	0,904	0,882	0,927

Из представленных выше таблиц 2 и 3 видно, что обученные и валидированые модели точнее работают при детектировании объектов “смешанных” размеров, причем лучше всего они определяют класс “БПЛА вертолетного типа”, а хуже всего – класс “Птица”. В каждом из двух случаев разработанной гибридной модели MobileViT-YOLOv8 удалось улучшить точность детектирования объектов класса “Птица” относительно стандартной YOLOv8s и гибридной LeYOLOs.

Также была получена усредненная статистика по всем метрикам точности: Precision, Recall, $mAP_{0.5}$, $mAP_{0.5\text{-}0,95}$. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Сводная таблица точности детектирования ЛО с помощью стандартной и гибридных моделей СНС YOLOv8

Модель	Precision	Recall	$mAP_{0,5}$	$mAP_{0,5-0,95}$
YOLOv8s (airspace)	0.890	0.930	0.924	0.724
YOLOv8s (airspace-small)	0,877	0,843	0,904	0,643
LeYOLOs (airspace)	0.900	0.916	0.938	0.731
LeYOLOs (airspace-small)	0,860	0,820	0,882	0,670
MobileViT-YOLOv8 (airspace)	0.940	0.918	0.950	0.751
MobileViT-YOLOv8 (airspace-small)	0,900	0,861	0,927	0,680

** зеленым цветом выделены лучшие результаты для датасета airspace, синим – для датасета airspace-small*

Помимо точности детектирования ЛО с помощью представленных моделей была оценена их производительность и ресурсоемкость. В частности, были получены оценки количества параметров (в миллионах, М), GFLOPs (англ. Giga-FLoating-point OPerations per Second – миллиардов операций с плавающей точкой в секунду), FPS (англ. Frames per Second – количество кадров в секунду), а также объем в мегабайтах (МБ) дискового пространства, необходимого для хранения весовых коэффициентов и промежуточных буферов моделей. В таблице 5 представлены значения этих показателей для каждой из исследуемых моделей.

Таблица 5. Сводная таблица производительности стандартной и гибридных моделей СНС YOLOv8

Модель	FPS	Количество параметров, М	GFLOPs	Размер модели, МБ
YOLOv8s	67.32	11,2	28.4	21.5
LeYOLOs	61.61	1,9	4.36	3.9
MobileViT-YOLOv8	58.12	2,9	17.8	7,2

Анализ результатов исследования и выводы

Разработанная гибридная модель MobileViT-YOLOv8 позволила повысить точность детектирования отдельных классов ЛО. Так, например, “трудноразличимый” стандартной моделью класс “Птица” данная модель определяет точнее на 2,7% в рамках датасета со смешанными объектами и на 1,1% для датасета с малоразмерными объектами.

Результаты, представленные в таблице 4, позволяют сделать вывод о том, что гибридные модели, в частности разработанная нами MobileViT-YOLOv8, в целом дают более точные результаты детектирования по сравнению с результатами, получаемыми с помощью стандартной модели СНС YOLOv8s. Это видно из анализа значений метрик $mAP_{0.5}$ и $mAP_{0.5-0.95}$ – гибридной модели MobileViT-YOLOv8 удалось улучшить результаты по точности детектирования ЛО на величину от 2 до 4%.

Из таблицы 5 следует, что гибридные модели являются более легковесными и производительными, чем стандартная модель. Об этом говорят низкие показатели GFLOPs, малое количество параметров (в несколько раз меньше, чем у стандартной модели) и меньший объем дискового пространства, необходимого для хранения весовых коэффициентов моделей. Однако, по скорости вычислений первое место все еще занимает стандартная модель, хотя гибридные модели и имеют вполне конкурентную с ней скорость вычислений, что видно по значениям метрики FPS.

Заключение

В работе было проведено исследование эффективности стандартной модели СНС YOLOv8s и разработанных на ее основе двух гибридных моделей СНС при решении задачи объектного детектирования на изображениях ЛО трех классов. Особенностью разработанной

гибридной модели MobileViT-YOLOv8 является использование в качестве “позвоночника” MobileViT-блоков – трансформеров. Перед проведением исследований стандартная модель СНС YOLOv8s и гибридные модели СНС на ее основе были обучены и валидированы на датасете с изображениями ЛО “смешанных” размеров и на датасете с изображениями ЛО малых размеров. Исследования этих обученных моделей по точности детектирования ЛО на изображениях и по скорости вычисления моделей проводились с использованием тестовых выборок этих датасетов.

В целом исследования показали, что гибридные модели дают более точные результаты детектирования ЛО по сравнению с результатами, получаемыми с помощью стандартной модели СНС YOLOv8s, и имеют вполне конкурентную с ней скорость вычислений. Это позволяет сделать вывод о перспективности использования этих гибридных моделей в системах компьютерного зрения реального времени, предназначенных для мониторинга воздушного пространства с целью обнаружения и классификации ЛО.

Список использованных источников

1. Pathak, A. R., Pandey, M., & Rautaray, S. (2018). Application of deep learning for object detection. Procedia Computer Science, 132, 1706–1717. doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.144.

2. Terven, J.; Córdova-Esparza, D.-M.; Romero-González, J.-A. A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. Mach. Learn. Knowl. Extr. 2023, 5, 1680–1716. https://doi.org/10.3390/make5040083.

3. Nebaba, S. G., & Markov, N. G. (2024). Convolutional neural networks of YOLO family for mobile computer vision systems. Computer Research and Modeling, 16(3), 615–631. https://doi.org/10.20537/2076-7633-2024-16-3-615-631.

4. Yaseen, M. (2024). What is YOLOv8: An In-Depth Exploration of the Internal Features of the Next-Generation Object Detector. arXiv preprint arXiv:2408.15857.

5. Hollard, Lilian & Mohimont, Lucas & Vaillant-Gaveau, Nathalie & Steffenel, Luiz Angelo. (2024). LeYOLO, New Scalable and Efficient CNN Architecture for Object Detection. 10.48550/arXiv.2406.14239.

6. Wadekar, S.N., Chaurasia, A. (2022). MobileViTv3: Mobile-Friendly Vision Transformer with Simple and Effective Fusion of Local, Global and Input Features. arXiv preprint arXiv:2209.15159.

7. Han, K., Wang, Y., Tian, Q., Guo, J., Xu, C., Xu, C. (2019). GhostNet: More Features from Cheap Operations. arXiv preprint arXiv:1911.11907.

8. Wang, J., Wu, J., Wu, J., Wang, J., & Wang, J. (2023). YOLOv7 Optimization Model Based on Attention Mechanism Applied in Dense Scenes. In Applied Sciences (Vol. 13, Issue 16, p. 9173). MDPI AG. doi.org/10.3390/app13169173.

ДАТАСЕТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЪЕКТНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЛЕТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕПЛОИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Евсюткин И.В. [1], Небаба С.Г. [2], Курило Ю.Ю. [3], Кушнарев А.А. [4]
[1]НИ ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОИТ, ive1@tpu.ru
[2]НИ ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОИТ, stepanlfx@tpu.ru
[3]НИ ТПУ, ИШИТР, студент гр. 8ПМ4Л, aak404@tpu.ru
[4]НИ ТПУ, ИШИТР, студент гр. 8ПМ4Л, yyk10@tpu.ru

Аннотация

В работе рассмотрен процесс создания датасета для объектного детектирования летающих объектов на тепловизионных изображениях. Проведена разметка положения объектов на изображениях двух классов: беспилотные летательные аппараты (БПЛА) самолётного типа и БПЛА вертолётного типа. Приведены результаты сравнения эффективности разных подходов к формированию датасета.

Ключевые слова: объектное детектирование объектов, обработка изображений, сверточная нейронная сеть YOLO, датасет, тепловизионное изображение, беспилотный летательный аппарат.

Введение

Известно, что практически важными и актуальными являются задачи мониторинга воздушного пространства в режиме реального времени с целью объектного детектирования (обнаружения, позиционирования и классификации) летающих объектов (ЛО) различных классов [1]. Наибольший интерес сегодня среди таких объектов представляют беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Традиционно с этой задачей должен справляться оператор видеокамеры в составе систем мониторинга. Однако, чтобы уменьшить число ошибок, связанных с человеческим фактором, и обеспечить масштабирование и поддержку принятия решения, применяются системы компьютерного зрения для частичной или полной автоматизации процесса мониторинга.

При разработке решений, автоматизирующих объектное детектирование в задачах мониторинга воздушного пространства, широко применяются телевизионные камеры, фиксирующие изображение в оптическом RGB-диапазоне видимого цвета, а также тепловизионные камеры, фиксирующие изображение в ближнем инфракрасном диапазоне. Телевизионные камеры для такой задачи подходят лишь частично, так как обеспечивают съёмку с требуемыми для оптического объектного детектирования характеристиками изображения только в дневное время. По этой причине важно рассмотрение именно тепловизионных камер, которые позволяют ориентироваться не на оптические характеристики объектов, а на их тепловые контуры, что потенциально способно обеспечить круглосуточный мониторинг воздушного пространства.

Наиболее активно развивающимся средством автоматизации систем мониторинга являются искусственные нейронные сети (ИНС) [2]. Свёрточные ИНС способны решить задачу обнаружения и классификации объектов в кадре, обозначив для оператора интересующие объекты прямоугольником и название класса рядом. Но чтобы такая ИНС обрела способность это делать, её нужно обучить, а для этого, в свою очередь, необходим датасет (набор размеченных изображений), который в открытом доступе для тепловизионных изображений ЛО, по-видимому, не существует. Поэтому актуальной становится задача создания датасета для решения задач объектного детектирования ЛО на тепловизионных изображениях.

В данной статье рассматриваются этапы разработки датасета на основе тепловизионных изображений и приводятся результаты сравнения эффективности подходов к формированию такого датасета. Показаны его основные характеристики.

Постановка задачи

Необходимо решить задачу создания датасета по изображениям, полученным с помощью приемников тепловизионных сигналов (тепловизионных камер). Этот датасет предназначен для обучения, валидации и тестирования свёрточных нейронных сетей (СНС), позволяющих решать задачи объектного детектирования ЛО в воздушном пространстве на тепловизионных изображениях. В первоначальной формулировке ставится задача детектировать на изображениях ЛО двух классов: БПЛА самолетного типа и БПЛА вертолетного типа. С точки зрения задачи детектирования объектов также важны относительные размеры объектов на изображении, так как объекты малых размеров чаще всего обладают меньшим числом деталей, которые могут служить их отличительными признаками при классификации. То, насколько полно представлены в датасете объекты различного размера, влияет и на конечную эффективность детектирования. Традиционно объекты на изображениях разделяют на объекты малых размеров (не более 32*32 пикселей по площади), средних размеров (от 33*33 до 96*96 пикселей) и крупные (97*97 пикселей и больше) [3]. Однако в поставленной задаче такого разделения ЛО по размерам не проводилось. На одном изображении может находиться один и более объектов разных категорий по размерам, а также принадлежащих разным классам. В датасете должны быть представлены изображения с несколькими объектами, в том числе разных классов, чтобы гарантировать эффективное детектирование нескольких ЛО различного класса, попадающих в кадр, обученной на этом датасете нейронной сетью.

Подбор изображений должен осуществляться с учетом следующих требований: исходные изображения должны максимально точно отражать реальные сценарии расположения объектов в воздушном пространстве (наличие одного или нескольких летающих объектов из указанных классов, фон в виде участков земной поверхности или облаков и т. д.).

Разметка изображений проводится с помощью системы Roboflow [4]. Эта система позволяет упростить процесс разметки. Большим её преимуществом является возможность удобной работы в команде, формирующей датасет.

Этапы создания датасета

Качество датасета оценивается по способности обученной на нём СНС решать задачи детектрования и классификации (метрик mAP, precision, accuracy и т. д.). Поэтому было решено создать несколько различных по способу получения и характеристикам датасетов, предназначенных для детектирования объектов на тепловизионных изображениях, и сравнить эффективность различных подходов к формированию датасета и его аугментации по метрике точности детектирования объектов mAP50 и mAP50-95 путем тестирования модели СНС YOLOv8s [5].

Первый рассмотренный подход к формированию датасета – использование имеющегося датасета из RGB-изображений, перевод изображений в градации серого цвета (grayscale) и инвертирование. Таким образом имитируется визуальное отображение тепловизионных снимков, хотя одна из ключевых характеристик объектов, фиксируемая при реальной тепловизионной съемке, температура объектов, при таком подходе на изображениях не представлена.

Для второго подхода к формированию датасета использовались тепловизионные видеозаписи, выполненные в реальных условиях по заранее спланированным сценариям. Эти сценарии содержали перечень условий, гарантирующих высокую вариативность изображений БПЛА: записи проводились с различных дистанций, на разном фоне (ясное или облачное небо, лес), в разное время суток (день, ночь), с различной траекторией полёта и т. п. Большая вариативность изображений в итоговом датасете гарантирует лучшие результаты обучения нейронных сетей, минимизируя риски переобучения [5].

Первичный анализ этих видео показал, что для части из них необходимо преобразование формата и нарезка на фрагменты, так как в системе Roboflow есть ограничения на объём загружаемого видео и его формат. Некоторые фрагменты видео были подготовительными или содержали окончание съёмки, где отсутствовали объекты интереса, и их рассмотрение не имело смысла. После учета этих особенностей видео были загружены в систему Roboflow для дальнейшей разметки.

Нарезка видео на отдельные кадры происходила на основе исходной частоты кадров видео и резкости маневрирования ЛО при полётах. Это связано с тем, что выбор слишком высокой частоты нарезки может привести к большому числу похожих изображений в выборке, что увеличит нагрузку на специалистов, которые будут формировать датасет. С другой стороны, выбор малой частоты разбиения может привести к потере ценных кадров, что уменьшит качество датасета.

Задача разметки состоит в том, чтобы вручную с поддержкой системы Roboflow производить анализ изображений в исходной выборке, оценивать необходимость включения изображения в датасет и в случае необходимости выделять прямоугольник, описывающий объект интереса на изображении. Данный процесс производился по ряду критериев: изображения должны содержать отличающиеся ЛО (по ракурсу, размерам и т. п.), кадры с высокой степенью схожести должны быть удалены. Также, по рекомендации к процессу обучения нейронных сетей, датасет должен включать в себя до 10 % изображений, на которых отсутствуют объекты [5]. Такие изображения помечаются как «null» (не содержат объектов ни одного из искомых классов). Всё это важно для последующего обучения СНС. Пример интерфейса разметки изображений при работе с системой Roboflow показан на рисунке 1, здесь показан кадр с размеченными двумя БПЛА вертолётного типа.

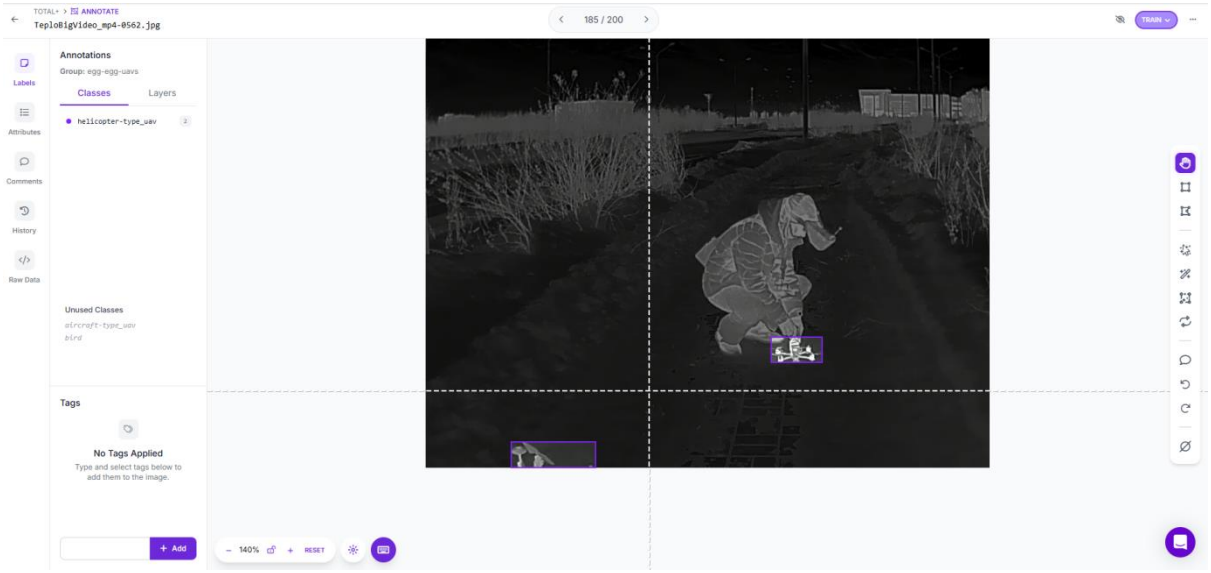


Рис. 1. Пример размеченного кадра в интерфейсе пользователя системы Roboflow

Характеристики сформированных датасетов

Примеры размеченных изображений в рамках первого и второго подходов создания датасетов показаны на рисунке 2.

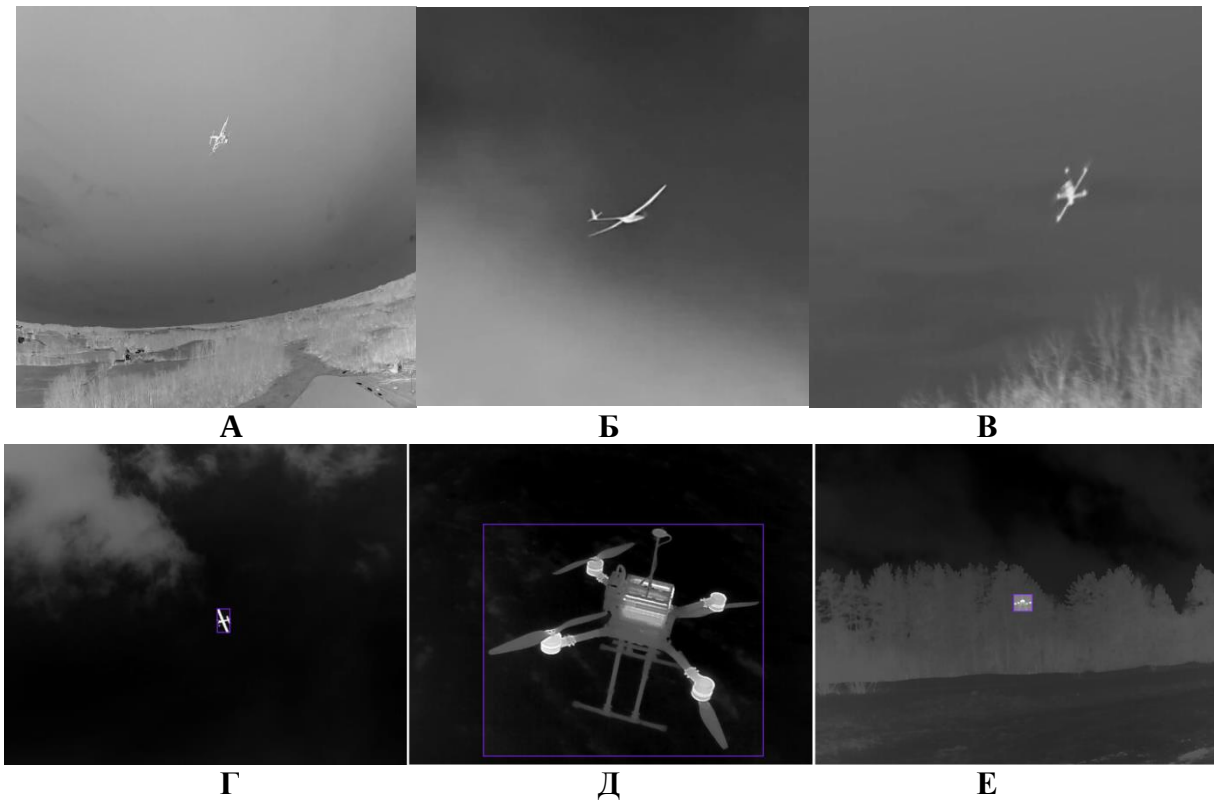


Рис. 2. Примеры размеченных изображений из датасета
А, Б, В – датасет из обесцвеченных инвертированных RGB-изображений ЛО,
Г, Д, Е – датасет из тепловизионных видеозаписей ЛО

В датасете, составленном из обесцвеченных инвертированных RGB-изображений, количество размеченных объектов 27224 на 34335 изображениях. Во втором датасете, составленном на основе тепловизионных видеозаписей, количество размеченных объектов 4786 объектов на 6272 изображениях. По классам распределение ЛО в этом датасете следующее:

- «БПЛА самолетного типа» – 592 объекта.
- «БПЛА вертолетного типа» – 4191 объектов.

Можно заметить, что у второго полученного датасета выборка получилась несбалансированной, то есть количество объектов класса БПЛА самолётного типа по сравнению с классом БПЛА вертолётного типа значительно ниже. Этот недостаток исправляется путем применения методов аугментации и по мере поступления дополнительных видеоматериалов.

Все размеченные изображения датасетов были физически разделены на три выборки: обучающую (70 % от общего объема изображений в датасете), валидационную (20%) и тестовую (10 %).

Распределение числа изображений во втором датасете в зависимости от числа представленных на них объектов показано на рисунке 3. Первые три столбчатые диаграммы (отсчет слева направо) характеризуют этот датасет до аугментации, а четвертая диаграмма получена по результатам мозаичной аугментации датасета (на полученных дополнительных изображениях находятся по четыре ЛО).

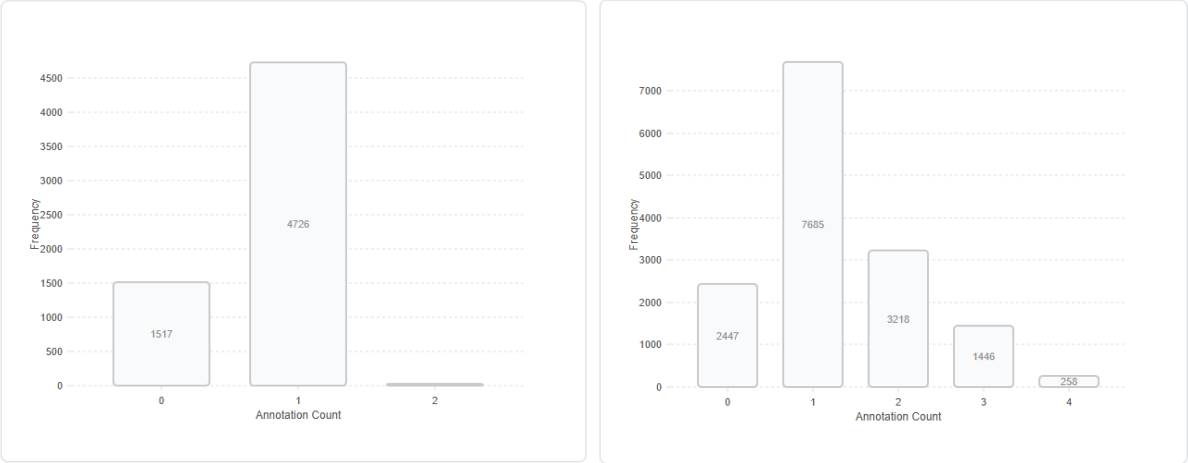


Рис. 3. Зависимость числа изображений от количества объектов на одном изображении исходного (слева) и аугментированного (справа) датасета с тепловизионными изображениями

Сравнение эффективности подходов к формированию датасетов

Итоговое тестирование и сравнение эффективности СНС YOLOv8s по точности детектирования, обученных на подготовленных датасетах, проводилось на отдельной тестовой выборке. Эта тестовая выборка составлена из 262 изображений, полученных с помощью тепловизионной камеры. Результаты тестирования датасетов по метрикам точности детектирования mAP50 и mAP50-95 на примере обученной СНС YOLOv8s приведены в таблице 1.

Таблица 1. Эффективность СНС YOLOv8s, обученной на подготовленных датасетах

Датасет	mAP50	mAP50-95
Инвертированные обесцвеченные RGB-изображения	0,29	0,109
Тепловизионные снимки	0,759	0,386

Сравнение результатов из таблицы 1 показывает, что использование имитации тепловизионных снимков для обучения нейронных сетей, даже снимков, которые показывают свою эффективность в обучении нейронных сетей на RGB-снимках, показывает существенно более низкую эффективность СНС YOLOv8 при тестировании на тепловизионных тестовых выборках по метрикам mAP50 и mAP50-95.

Исходя из этих результатов, в дальнейшей работе использовался датасет, сформированный на основе реальных тепловизионных снимков.

Аугментация датасета и сравнение результатов аугментации

Была проведена аугментация датасета (создание дополнительных изображений на основе имеющихся данных) для увеличения объема выборок и повышения эффективности детектирования, обученной на этом датасете нейронной сети. Использовались следующие приёмы и их сочетания с увеличением объёма выборки в 2 или 3 раза:

- инвертирование изображений.
- поворот до 10°.
- зеркальное отражение по вертикали.
- мозаичная аугментация.
- увеличение и уменьшение яркости.
- увеличение насыщенности.
- копирование объектов по контуру и их дублирование на нескольких изображениях.

Это позволило иметь возможность исследовать полученные датасеты, чтобы получить максимальную точность детектирования ЛО на изображениях с помощью СНС YOLOv8s.

Количество аугментированных изображений в полученных таким образом датасетах соответственно кратно выше (в 2 и 3 раза). Важно отметить, что аугментации подлежат изображения только из тренировочной выборки, валидационная и тестовая выборки остаются неизменными, что позволяет сравнить обученные на их основе СНС в равных условиях.

Результаты тестирования датасетов, полученных с использованием различных методов аугментации, по метрикам точности детектирования mAP50 и mAP50-95 на примере обученной СНС YOLOv8s приведены в таблице 2.

Таблица 2. Эффективность СНС YOLOv8s, обученной на подготовленных датасетах

Методы аугментации	**mAP50**	**mAP50-95**
Без аугментации	**0,759**	**0,386**
Поворот до 10° (число изображений x2)	0,733	0,352
Поворот до 10° (число изображений x3)	0,726	0,352
Зеркальное отражение (число изображений x2)	0,676	0,247
Инвертирование (число изображений x2)	0,596	0,261
Мозаичная аугментация (число изображений x2)	**0,957**	**0,599**
Мозаичная аугментация (число изображений x3)	**0,969**	**0,645**
Уменьшение яркости (число изображений x2)	0,625	0,221
Увеличение яркости (число изображений x2)	0,593	0,241
Увеличение насыщенности (число изображений x2)	0,635	0,218

Сравнение результатов из таблицы 2 показывает, что мозаичная аугментация - единственный метод аугментации из нескольких рассмотренных, который показывает свою эффективность: использование этого метода аугментации датасета дает существенный прирост точности по метрике mAP50 (до 21 %) и по метрике mAP50-95 (до 26 %) при исследовании СНС YOLOv8s на тестовой выборке.

Заключение

Показаны два различных подхода к формированию датасета по тепловизионным изображениям и этапы его разработки: сценарии видеосъёмки, предварительная обработка видео, разметка изображений, аугментация и получение выборок. Готовый датасет содержит 6272 размеченных тепловизионных изображений.

Получены результаты сравнения эффективности СНС YOLOv8s при использовании разных подходов к формированию датасета и его аугментации. Сделан вывод о том, что наиболее эффективным подходом является подготовка датасета из реальных тепловизионных снимков с последующей мозаичной аугментацией его изображений.

Список использованных источников

1. Nebaba S.G. Effectivenes of Moving Objects Detecting and Tracking in Airspace by Images in Nearinfrared / S.G. Nebaba, N.G. Markov // Light & Engineering. – 2022. – Vol.30, No.2. – P. 62-69.

2. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. – М: ДМК-Пресс. – 2018. – 652 с.

3. Microsoft COCO: Common objects in context / T.Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, C.L. Zitnick // Computer Vision–ECCV 2014: 13th European Conference, Zurich, Switzerland, September 6-12, 2014, Proceedings, Part V 13. – Springer International Publishing. – 2014. – P. 740–755. DOI: 10.48550/arXiv.1405.0312.

4. Roboflow [Электронный ресурс]. – URL: roboflow.com (дата обращения: 24.03.2025).

5. Reis D. Real-time flying object detection with YOLOv8 / D. Reis, J. Kupec, J. Hong, A. Daoudi // arXiv preprint arXiv:2305.09972. - 2023.

АДАПТИВНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА БАЗЕ ОТКРЫТЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Зайда А.В.[1]
Научный руководитель: Савельев А.О.[2]
[1] *НИ ТПУ, студент гр. 8К12 ОИТ, ИШИТР, e-mail: avz68@tpu.ru*
[2] *НИ ТПУ, к.т.н., доцент ОИТ, ИШИТР, e-mail: sava@tpu.ru*

Аннотация

Работа описывает создание платформы, предоставляющей графический интерфейс для применения произвольных открытых моделей обработки естественного языка. С использованием инструментов ресурса Hugging Face удалось автоматизировать применение 101 из 150 апробированных моделей этой площадки. Для применения остальных моделей был реализован расширенный интерфейс с опциональными параметрами.

Ключевые слова: Обработка естественного языка, машинное обучение, микросервисная архитектура, Hugging Face, Django.

Введение

В современном мире возрастает применимость моделей машинного обучения. Различные инструменты обработки данных, основанные на машинном обучении, используются во всё большем количестве сфер человеческой деятельности, о чём свидетельствуют научные публикации. Например, в области обработки естественного языка в 2022 году было опубликовано 599 публикаций по данным ScienceDirect. Несмотря на то, что в 2023 году это количество было равно 674, к 2024 году число публикаций по этой дисциплине увеличилось до 1023 [4]. В силу востребованности открытых моделей, их частыми пользователями становятся специалисты без необходимой подготовки в области информационных технологий. Одним примером такого варианта использования является потребность социально-политических исследователей в обработке большого количества данных на естественном языке. В свою очередь, количество доступных моделей тоже растёт стремительно: в ноябре 2023 года на платформе Hugging Face было загружено приблизительно 400000 открытых моделей [1], а в августе 2024 это число превысило 1000000 [2]. По состоянию на 11.03.25 количество моделей на Hugging Face уже приблизилось к 1500000 [3]. При этом применение таких доступных моделей за пределами программных интерфейсов по-прежнему затруднено. У пользователей инструментов машинного обучения возникает потребность в более понятном графическом интерфейсе для использования разнообразных открытых моделей.

Таким образом, целью работы является прототипирование платформы, предоставляющей пользователям графический интерфейс для применения произвольных открытых моделей обработки естественного языка.

Для достижения поставленной цели были выдвинуты следующие задачи:

1. Провести анализ требований к платформе;
2. Спроектировать платформу с учётом выявленных требований;
3. Программно реализовать платформу;
4. Оценить адаптивность платформы в работе с произвольными моделями.

Анализ требований

Варианты использования платформы включают несколько этапов работ: управление данными и выполнение обработки, как представлено в виде UML диаграммы на рисунке 1.

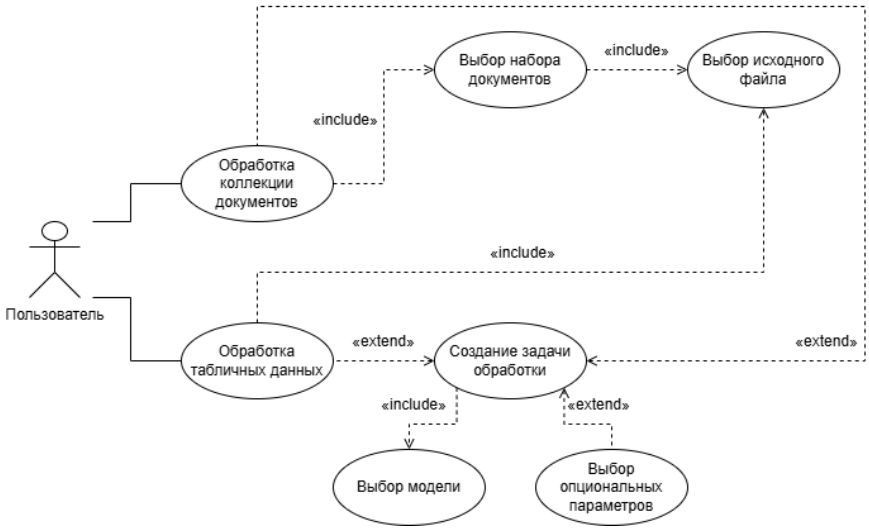


Рис. 1. UML диаграмма вариантов использования платформы обработки текстов на естественном языке

Можно выделить два существенно различных варианта обработки текстов на естественном языке: обработка табличных данных, характерных для анализа контента социальных медиа, и обработка полнотекстовых документов, например, текстов научных публикаций. Редко крупные документы необходимо обрабатывать по отдельности – часто происходит анализ именно коллекций логически связанных файлов. Потому перед обработкой возникает дополнительный шаг: выделение набора документов, которые будут анализироваться вместе. Когда исходные данные определены, запускается задача обработки открытой моделью. Модель обязательно необходимо идентифицировать, зачастую названием. Более того, многие модели принимают специфичные дополнительные параметры, которые изменяют их вывод в соответствии с потребностями пользователя.

На основе описанных вариантов использования были выявлены конкретные требования к платформе. Разрабатываемое решение направлено на анализ данных, предоставленных пользователем. Притом сбор данных пользователем выносится за границы платформы, что требует установить формат данных, соблюдение которого должен обеспечить пользователь. Эти требования учитывают 2 укрупнённых варианта использования: обработку табличных данных с множеством коротких, однотипных записей и обработку длинных документов.

Требования к данным:

Д.1. Данные должны быть представлены файлами в форматах CSV и PDF.

Д.2. Файл в формате PDF, переданный в качестве входных данных, должен содержать текстовых слой.

Переданные данные сохраняются в системе. Для удобства работы с загруженными файлами, необходимо предусмотреть возможность индексировать и искать файлы по пользовательским метаданным: названиям, авторам, тэгам и парам «ключ – значение». На этапе обработки сохранённых файлов, нужно предусмотреть возможность обрабатывать несколько из них совместно, чтобы обеспечить вариант использования с обработкой коллекции документов. В контексте платформы такие наборы файлов были названы датасетами.

Требования к хранению данных:

Х.1. Система должна хранить файлы вместе с метаданными, заданными пользователем при загрузке.

Х.2. Система должна поддерживать удаление, выгрузку и изменение метаданных загруженных файлов.

Х.3. Система должна поддерживать объединение файлов в коллекции, обрабатываемые совместно – датасеты.

Х.4. Система должна хранить датасеты вместе с метаданными, заданными пользователем при создании.

Х.5. Система должна поддерживать удаление, изменение метаданных и изменение состава датасетов.

Для обработки данных произвольными моделями необходимо обозначить универсальные способы для их выбора и использования в системе. Более того, использование инструментов машинного обучения сопровождается значительными промежутками ожидания при вычислении результата. Потому важно организовать возможность создания очереди задач обработки данных моделями, чтобы пользователь не терял время на ручном переключении между задачами с долгим временем обработки.

Требования к обработке данных:

О.1. Система при создании задачи обработки должна принимать от пользователя датасет, подлежащий обработке, полное название открытой модели на Hugging Face и опциональные параметры конкретной модели.

О.2. Система должна ставить задачи обработки в очередь на исполнение.

О.3. Система должна поддерживать параллельное выполнение задач обработки.

О.4. Система должна отображать пользователю статус каждой задачи обработки.

О.5. Система должна отображать пользователю подробную информацию об ошибке в задаче обработки, если от пользователя требуются дополнительные данные о модели.

Проектирование платформы

Исходя из выдвинутых требований, было решено спроектировать платформу на основе микросервисной архитектуры, что придаст ей гибкость в условиях низкой связности компонентов. Всего было выделено 6 узлов программного решения: обратный прокси сервер, сервер наборов данных, сервер реляционной базы данных, сервер документно-ориентированной базы данных, брокер сообщений и сервер выполнения задач обработки. Обратный прокси сервер призван обеспечить доступность платформы по веб-протоколам, вынося логику маршрутизации запросов из прикладного уровня прочих компонентов. Сервер наборов данных обслуживает запросы пользователей, связанные с управлением исходными файлами и датасетами. Физически файлы и их метаданные сохраняются на сервере реляционной базы данных, с которым взаимодействует сервер наборов данных. Это позволяет индексировать данные при помощи инструментов реляционных СУБД, облегчая последующий поиск хранимой информации согласно требованиям Х.1 и Х.4. Запросы пользователя на обработку данных также проходят через сервер наборов данных, который записывает задачу обработки в реляционную базу данных и делегирует её выполнение, отправляя запись в брокер сообщений. Брокер сообщений поддерживает очередь сообщений, из которой сервер выполнения задач обработки последовательно извлекает задания, что удовлетворяет требованию О.2. Поскольку брокер сообщений может поддерживать множество потребителей сообщений, становиться возможным горизонтально масштабировать сервер выполнения задач обработки, позволяя параллельно выполнять независимые задачи, в соответствии с требованием О.3. В свою очередь, сервер выполнения задач обработки запускает запрашиваемые модели на выбранных текстах и записывает выходные данные в документно-ориентированную базу данных. Выбор документно-ориентированной модели связан с несогласованностью форматов сериализации результатов работы различных моделей, что не позволяет построить для таких записей единую схему. После записи результата в документно-ориентированную базу данных, пользователь может запросить результат, отправив запрос на сервер наборов данных. Описанная высокоуровневая архитектура узлов платформы представлена на UML диаграмме развёртывания на рисунке 2.

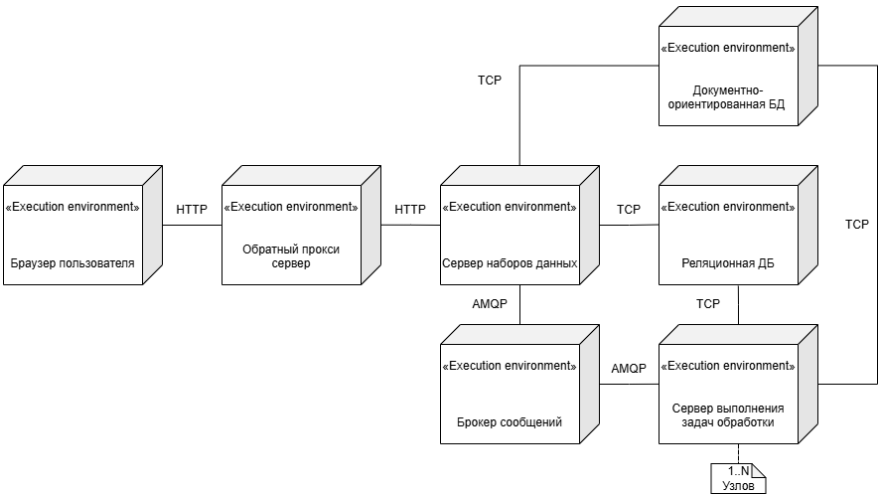


Рис. 2. UML диаграмма развёртывания платформы обработки текстов на естественном языке

Для хранения данных согласно требованиям X.1–X.5 была разработана модель файлов, их наборов и метаданных. Данная модель позволяет создать согласованное представление данных как на сервере наборов данных, так и на сервере реляционной базы данных путём объектно-реляционного отображения. В её основе лежит абстрактный класс Datafile, который представляет собой любой бинарных файл, хранимый в системе. С каждым файлом в системе ассоциированы метаданные, в соответствии с требованиями X.1 и X.4. Метаданные представлены абстрактным классом Metadata, который определяет название и автора файла, а также ассоциированные тэги и пары «ключ – значение». От класса Datafile наследуются два типа: SourceFile и DatasetFile. Эти конкретные имплементации класса Datafile ассоциированы с типами SourceMetadata и DatasetMetadata соответственно, которые различаются лишь набором тэгов. Теги, в свою очередь, описаны абстрактным классом Tags и конкретизированы для файлов исходников и датасетов типами SourceTags и DatasetTags соответственно. Дальнейшее отличие класса DatasetFile заключается в том, что он представляет наборы данных путём агрегирования файлов исходников в отдельный файл. Поскольку пользователь может удалять файлы из набора данных и включать в него новые, класс DatasetFile дополнительно хранит текущий список файлов исходников типа SourceFile, на основе которого может быть собран файл датасета. Описанная модель данных представлена на рисунке 3 в виде UML диаграммы классов.

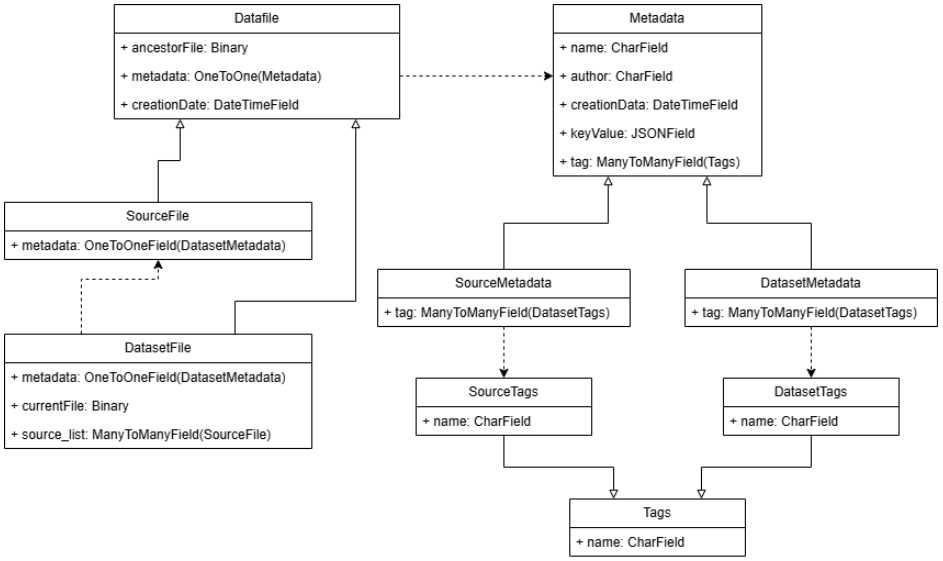


Рис. 3. UML диаграмма классов модели данных

Также, был специфицирован процесс обработки данных, включающий взаимодействие всех сервисов платформы. Этот процесс начинается с отправки пользователем запроса на обработку на сервер наборов данных, согласно требованию О.1. Если все данные запроса оказались корректными, создаётся запись о задаче обработки в реляционной базе данных, с целью отслеживания прогресса её выполнения, как требуется в О.4. После отправки задачи в очередь сообщений, пользователь получает уведомление. Сервер выполнения задач обработки принимает сообщение с задачей, выполняет её, изменяет статус по необходимости и записывает результат работы в документно-ориентированную базу данных. Притом в качестве результата также может быть записано сообщение об ошибке, согласно требованию О.5. Описанный порядок взаимодействий представлен на рисунке 4 в виде UML диаграммы последовательности.

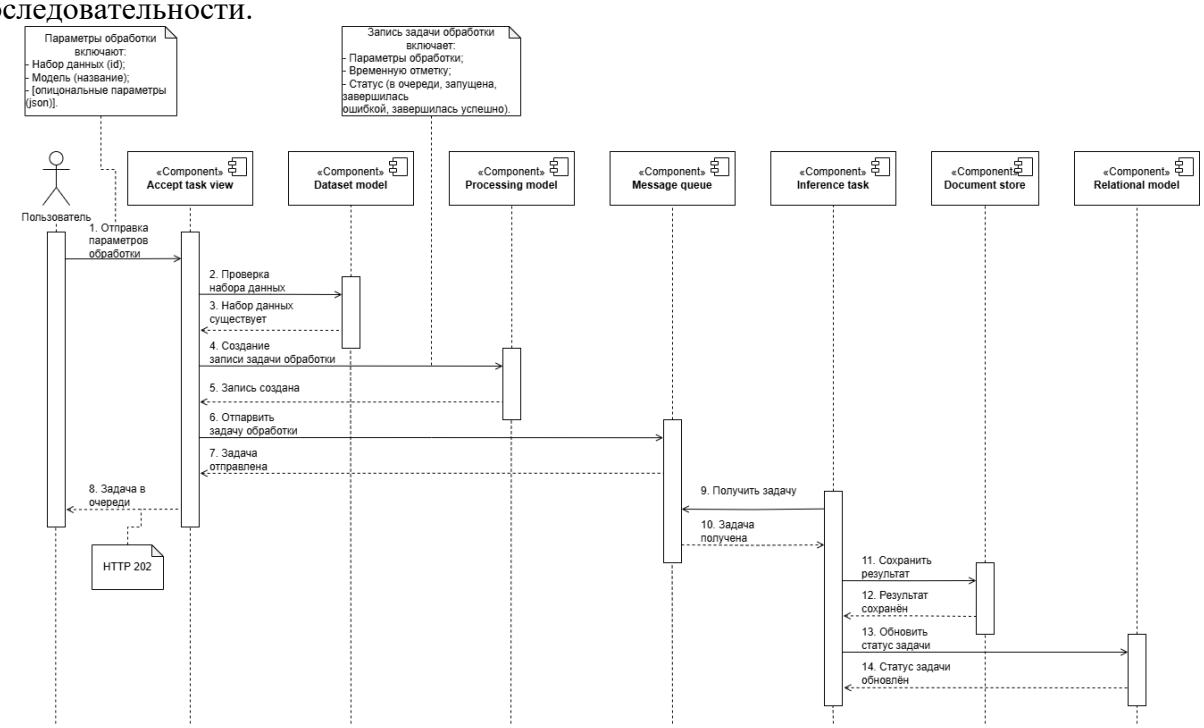


Рис. 4. UML диаграмма последовательности выполнения задачи обработки

Реализация платформы

Для создания сервера наборов данных был использован язык программирования Python с фреймворком Django, который позволяет реализовать пользовательский web-интерфейс. Для передачи задач между сервером наборов данных и сервером выполнения задач обработки была использована библиотека Celery для Python, организующая обмен сообщениями с несколькими производителями и потребителями. Для запуска моделей машинного обучения использовалась высокоуровневая библиотека Transformers от Hugging Face, которая позволяет запускать множество открытых моделей. В качестве реляционной базы данных была использована расширяемая PostgreSQL. В роли сервера документно-ориентированной базы данных была выбрана широко поддерживаемая MongoDB. В качестве брокера сообщений используется RabbitMQ, благодаря простой интеграции с Celery. Также, в качестве обратного прокси сервера был использован высокопроизводительный и гибкий Nginx. Созданные приложения и готовые решения были размещены в Docker контейнерах, чтобы обеспечить лёгкое развёртывание и внедрение платформы.

С использованием описанных технологий был разработан прототип платформы, интерфейс которой представлен на рисунке 5.

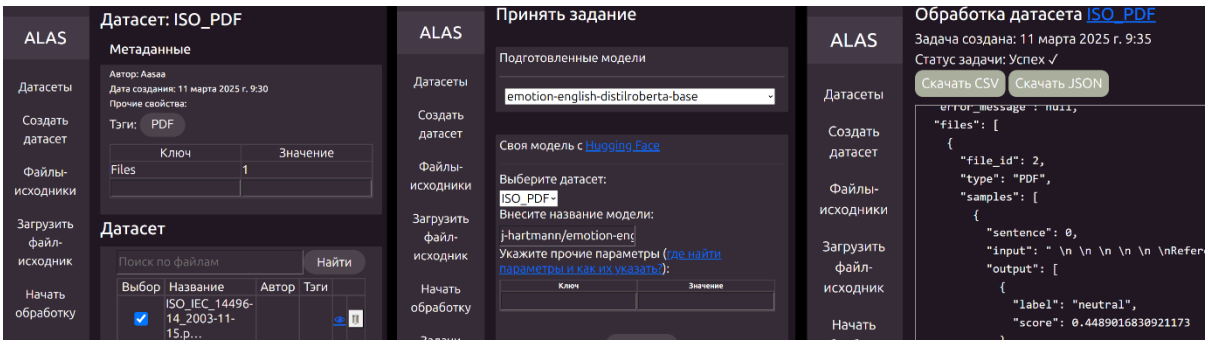


Рис. 5. Веб-интерфейс платформы

Оценка адаптивности платформы

При помощи API платформы Hugging Face были извлечены 150 моделей из 87473 с тэгом «text-classification», отсортированных по убыванию количества загрузок. Данная процедура выбора была нацелена «захватить» наиболее популярные и приближенные к задачам разрабатываемой платформы модели, ограничивая при этом аппаратные затраты на их проверку. В результате апробации, 101 из 150 моделей, идентифицированных лишь названием, были успешно собраны и запущены в рамках разрабатываемой платформы. Наиболее частой ошибкой при использовании моделей была неопределённость задачи, которую необходимо указать для некоторых мультимодальных моделей. В связи с этим, в интерфейс платформы были добавлены инструкции по заполнению опциональных параметров обработки, которые включат в себя указание задачи. Таким образом, действительная адаптивность платформы к произвольным моделям обработки естественного языка была повышена. Неучтёнными остаются ограничения применения квантованных моделей, веса которых закодированы специальным образом, что не позволяет запустить их стандартными подходами.

Заключение

В результате работы был реализован прототип адаптивной платформы с графическим интерфейсом для анализа текстов на базе открытых моделей машинного обучения с ресурса Hugging Face. Созданная платформа способна обрабатывать CSV и PDF файлы, а также их коллекции. При помощи программного обеспечения удалось скрыть детали применения моделей, запрашивая у пользователя лишь идентификатор средства обработки. При апробации платформы на 150 открытых моделях обработки естественного языка, платформа успешно запустила 67% из них. Дальнейшие вызовы, связанные с поддержкой квантованных моделей, были обозначены.

Список использованных источников

1. Aryani A. Estimated time: 12 Years to Review all 400k Models on Hugging Face // Medium. 2023. [Электронный ресурс]. – URL: medium.com/@amiraryani/estimated-time-12-years-to-review-all-400k-models-on-hugging-face-5b9b5b89bc17 (дата обращения: 11.03.2025).

2. HuggingFace Statistics // Originality.ai. [Электронный ресурс]. – URL: originality.ai/blog/huggingface-statistics (дата обращения: 11.03.2025).

3. Models // Huggingface.co. [Электронный ресурс]. – URL: huggingface.co/models (дата обращения: 11.03.2025).

4. Search ScienceDirect // Sciencedirect.com [Электронный ресурс]. – URL: sciencedirect.com/search?date=2022-2025&tak=NLP (дата обращения: 11.03.2025).

3D-СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА НА СНИМКАХ МРТ

Закиев Я.Т[1]., Спицын В.Г.[2,3]
[1]НИ ТГУ, ИПМКН, аспирант, ya@stud.tsu.ru
[2]НИ ТГУ, ИПМКН, д.т.н., профессор каф. ТОИ
[3]НИ ТПУ, ИШИТР, д.т.н., профессор ОИТ

Аннотация

Была решена задача семантической сегментации снимков МРТ опухолей головного мозга в 3D-измерении при помощи глубокой сверточной нейронной сети архитектуры DynU-Net. Для разработки использовался фреймворк Monai и набор данных Brats 2023, к которому был применен ряд операций аугментации.

Ключевые слова: изображения МРТ, классификация, сегментация, сверточные нейронные сети, Monai.

Введение

По данным межконтинентального ракового регистра, объединяющего данные из 86 раковых регистров 5 континентов, в 2022 году в мире было зарегистрировано 322 000 новых случаев опухолей головного мозга и ЦНС [1]. Данная мировая статистика собирается Международным агентством по изучению рака при участии Всемирной Организации Здравоохранения. В России первичные опухоли головного мозга ежегодно обнаруживают примерно у 30 тыс. человек. Наибольшее число заболевших приходится на возраст от 40 до 54 лет (30,8%) и от 55 до 69 лет (31,4%) [2]. С целью диагностики в настоящее время производится ручная сегментация МРТ изображений.

Согласно статье [3] основные проблемы ручной сегментации МРТ изображений опухолей головного мозга на сегодняшний день в том, что она:

1. Требует больших затрат времени радиологов высокой квалификации.
2. Даже внутри одного единственного исследовательского центра нет единого стандарта границ сегментации опухоли, что говорит о субъективизации, также есть определенный процент ошибок. В целом этот пункт можно охарактеризовать, как человеческий фактор, который играет определенную роль в диагностике опухолей головного мозга

Также отмечается, что постепенно методы машинного и глубинного обучения могут стать стандартом для этих целей [3].

Сегментация опухолей в 3D – измерении позволяет проводить количественную оценку анатомических или патологических поражений, что дает более точную информацию по сравнению с качественными 2D измерениями [4].

В соответствии с этим, целью данной работы является применение глубокого обучения, способного производить 3D сегментацию опухолей головного мозга, с получением модели на современном уровне показателей.

Разработанный подход Monai DynU-Net

В работе использовался фреймворк Monai [5]. MONAI (Medical Open Network for AI) – это фреймворк с открытым исходным кодом, разработанный специально для удобной работы с медицинскими изображениями. Он построен на основе PyTorch и предлагает набор инструментов для глубокого обучения в области медицинской визуализации. Основные возможности MONAI это работа с медицинскими данными, он поддерживает стандартные форматы NIfTI, DICOM и др. Monai имеет встроенную реализацию предобработки изображений: функции для нормализации, аугментации, ресамплинга и работы с масками. Фреймворк содержит многие архитектуры сетей, включая популярные модели, такие как UNet, DynU-Net, SwinUNETR и др. Monai совместим с PyTorch Lightning, он упрощает процессы

обучения, валидации и тестирования. Monai включает инструменты оценки метрики (DSC, IoU), функции потерь (Dice Loss, Focal Loss и др.). Он также работает с GPU, TPU, многопроцессорными системами и облачными средами.

Для реализации модели была выбрана архитектура DynU-Net [5]. DynU-Net – это адаптация архитектуры U-Net, разработанная специально для библиотеки MONAI. Она предназначена для задач сегментации изображений, особенно в медицинской области. Ключевыми особенностями архитектуры DynU-Net являются динамические блоки, это означает, что структура модели может адаптироваться (или "настраиваться") в зависимости от входных данных или параметров задачи. Это делает архитектуру более универсальной и эффективной для различных условий, задач или размеров данных. Параметры нейронной сети задаются через удобный API. Задается размерность, число входных и выходных каналов.

Понижение частоты дискретизации происходит с помощью Strided Convolutions: в отличие от стандартной U-Net, которая использует max-pooling для уменьшения разрешения, DynU-Net применяет strided convolutions (свёрточные слои с шагом больше 1). Это позволяет сети обучаться более эффективному понижению частоты дискретизации, точнее регулировать степень уменьшения разрешения и лучше сохранять пространственные особенности данных. Адаптированный Residual Block: DynU-Net модифицирует residual block (остаточный блок) с помощью дополнительного свёрточного слоя. Этот слой гарантирует, что размер входных данных с понижением частоты дискретизации слоя соответствует размеру выходных данных residual block'a, обеспечивая корректное сложение residual connection (остаточного соединения).

Архитектура DynU-Net допускает изменение количества слоёв и размеров фильтров (ядер свёртки). Стандартная конфигурация использует 6 слоёв с размером фильтров [32, 64, 128, 256, 320, 320]. Размеры шагов свёртки для понижения частоты дискретизации – [1, 2, 2, 2, 2, [2, 2, 1]]. Upsampling выполняется в обратном порядке. Также можно задавать размер ядра kernel size и шаг stride. DynU-Net сохраняет skip connections (пропускные соединения) из U-Net, позволяя передавать информацию с ранних слоёв понижения частоты дискретизации на соответствующие слои повышения частоты дискретизации. Это помогает восстановить мелкую детализацию при увеличении разрешения изображения. DynU-Net поддерживает различные типы нормализации:

- Batch Normalization. Устраняет смещения между мини-батчами. Полезно для обучения на больших наборах данных.
- Instance Normalization. Нормализует каждый пример в отдельности. Часто применяется в медицинской обработке изображений.
- Group Normalization. Делит каналы на группы и нормализует их, хорошо подходит для небольших батчей.

В DynU-Net есть поддержка глубокой супервизии deep_supervision**,** позволяющей модели генерировать прогнозы на промежуточных уровнях (глубоких слоях). В целом, DynU-Net – это гибкая и мощная архитектура для сегментации, построенная на основе U-Net. Использование strided convolutions и адаптированного residual block'a, наряду с возможностью конфигурирования глубины и размеров фильтров, делает её особенно эффективной для анализа медицинских изображений.

В дополнение к вышесказанному, стоит отметить следующие аспекты: DynUNet доступна в библиотеке MONAI, предоставляющей инструменты для глубокого обучения в медицинской визуализации. DynUNet часто сравнивают с nnU-Net, ещё одной популярной архитектурой для сегментации медицинских изображений. DynU-Net можно рассматривать как реализацию архитектуры, подобной nnU-Net, в рамках MONAI [6]. DynU-Net успешно применяется для сегментации различных органов на КТ и МРТ изображениях. На данный момент DynU-Net активно развивается в MONAI и является интересной архитектурой для исследований задаче сегментации медицинских изображений.

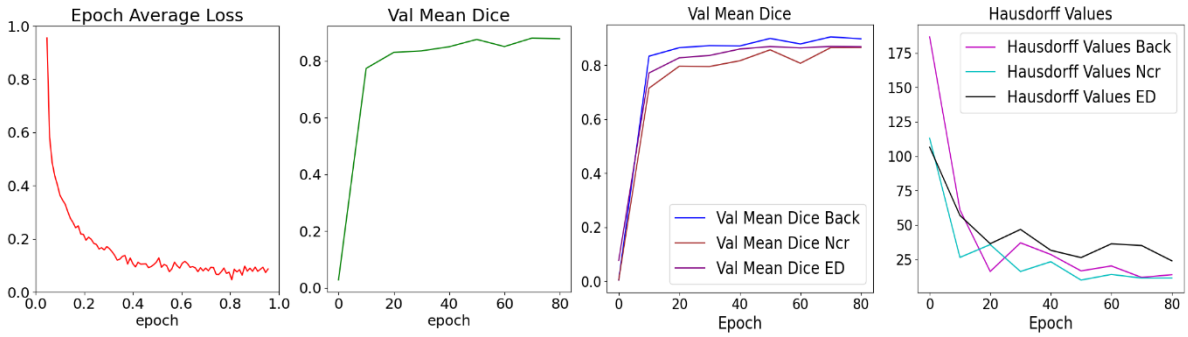
Работа с датасетом

Разрабатываемая модель обучалась на датасете **BRATS2023 (Brain Tumor Segmentation Challenge)** часть 1. Он включает МРТ-изображения головного мозга с разметкой опухолей, предназначенные для задач сегментации. Состоит из различных типов сканов, таких как **T1**, **T1Gd**, **T2** и **FLAIR**, и включает аннотированные маски для четырех категорий: некротической опухоли **NCR** (necrotic tumor core), усиливающейся опухоли (enhanced tumor) ET, перитуморального отёка (peritumoral edematous, edema) **ED** и фона (background) **Back** – здоровых тканей. Все данные представлены в формате NIfTI, с размерами изображений 240x240x155 вокселей. Была применена нормализация и аугментация:

- нормализована интенсивность пикселей изображения, за счёт привидения их в диапазон [0, 1]. Включена опция для нормализации по каналам и для игнорирования нулевых значений.
- случайное обрезание изображения и метки в заданный размер области интереса (ROI) [96, 96, 96], без случайного изменения размера изображения.
- случайные перевороты изображения и меток по осям.
- случайное изменение интенсивности изображения.
- случайное смещение интенсивности изображения на небольшое значение (до 0.1).

Сравнение результатов

Результаты показывают, что DynU-net не смотря на небольшое количество параметров показывает себя конкурентной в сравнении с другими современными архитектурами. Из рисунка 1 следует, что функция потерь Average Dice и метрика Mean Dice для всех классов, соответственно и средний Mean Dice по всем трем классам, стабильно сходятся. Расстояние Hauardsoff имело затухающие биения для всех классов, но также сходилось.



(а) (б) (в) (г)

Рис. 1. Графики обучения DynU-Net: а − Average Dice loss, б − Mean Dice средний по трем классам, в − Mean Dice, г − Hauardsoff Values − по трем классам

На рисунке 2 отображена матрица ошибок предсказаний Dyn U-net, видно, что модель иногда путает третий класс ET с остальными, ложных пропусков FN по классу ED больше: 52 + 956 = 1008 против 307 + 295 = 602, тогда как ложных срабатываний FP 17 + 295 = 312 против 792 + 956 = 1748. Можно сделать вывод модель иногда плохо обрисовывает зону отека и иногда плохо различает отек и зону усиливающейся опухоли.

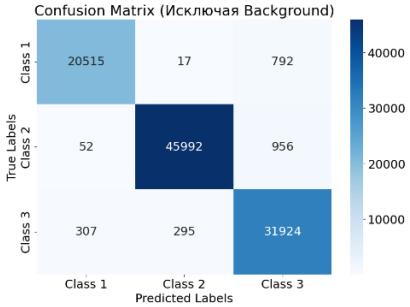
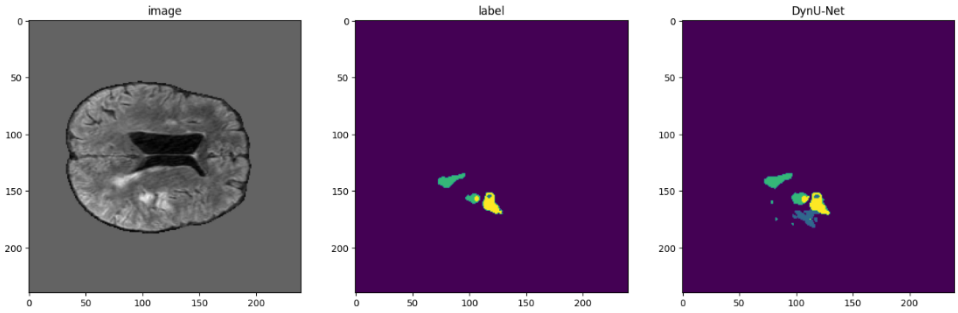


Рис. 2. Confusion matrix для трех классов: NCR, ED, ET

Класс номер 2 ED (Edema) имеет самую низкую метрику Mean Dice, что видно на результатах сегментации на рисунке 3.



(а) (б) (в)

Рис. 3. Результаты применения сегментаци: а – оригинал, б – оригинальная, в – предсказанная маска

С другой стороны ее значение на хорошем уровне относительно других работ **Brats 2023** (таблица 2, отёк может быть диффузным, не иметь чётких границ. Тогда как расстояние Hauardsoff для класса номер 2 **ED** (перитуморального отёка) показывает худшие результаты. Размытые края отёка могут затруднять точную локализацию. Mean Dice для класса 3 **ET** (усиливающейся опухоли) и остальные метрики в сравнении с работами **Brats 2023** на отличном уровне**.** Метрика Hauardsoff по остальным классам находятся на достойном, либо лучшем уровне. Общее количество параметров DynU-Net: 31411844, все параметры обучаемые.

Таблица2. Сравнение результатов семантическая сегментация DynU-Net с лидербордом Brats 2023 [10]

Авторы	Lesion Wise Dice ET	Lesion Wise Dice TC	Lesion Wise Dice WT	Lesion Wise Hausdorff ET	Lesion Wise Hausdorff TC	Lesion Wise Hausdorff95 WT
@s7zuqer	0.866	0.89	0.909	10.594	7.228	11.086
@simis	0.857	0.876	0.908	13.649	12.825	11.27
@qian8	0.856	0.868	0.904	14.07	13.778	10.735
@qian6	0.856	0.868	0.905	14.07	13.778	12.563
@qian5	0.856	0.868	0.907	14.07	13.783	11.797
@qian9	0.856	0.869	0.904	14.068	13.775	10.736
@qian7	0.856	0.869	0.904	14.068	13.775	12.567
@qian6	0.856	0.869	0.907	14.068	13.78	11.08
@simis	0.856	0.869	0.904	14.069	12.08	12.565
@kai_kai	0.856	0.869	0.905	14.069	12.08	12.693
Наши	**0.952**	**0.972**	**0.946**	**14.071**	**9.849**	**45.126**

Результаты предсказаний DynU-Net отдельно по тканям классов **NC, ED, ET** представлены в таблице 2. Высокое значение расстояние Hauardsoff у перитуморального отека **ED** объясняет высокое значение Hauardsoff с перцентилем 95, принятам для Brats, для объема всей опухоли WT.

Таблица 2. Метрики семантической сегментации DynU-Net для классов NC, ET, ED

Метрика	NC	ED	ET
Lesion Wise Dice	0.944	0.892	0.952
Lesion Wise Hausdorff	9.434	56.833	14.071

Далее сравним результаты с хорошо зарекомендовавшими себя трансформерными архитектурами [9] таблица 3.

Таблица 3. Сравнение с результатами других работ, посвященных сегментации опухолей мозга [9]

Архитектура	**Параметры**	**Lesion Wise Dice ET**	**Lesion Wise Dice TC**	**Lesion Wise Dice WT**
nnFormer	150.5	91.3	81.8	86.0
SegFormer[9]	**4.5**	**89.9**	**74.2**	**82.2**
ЕНЕТР	92.49	78.9	58.5	76.1
TransBT	-	77.9	57.4	73.5
CoTr	41.9	74.6	55.7	74.8
CoTr без кодировщика CNN	-	71.2	52.3	69.8
TransUNet	96.07	70.6	54.2	68.4
SETR MLA	310.5	69.8	55.4	66.5
SETR PUP	318.31	69.6	54.9	67.0
SETR NUP	305.67	69.7	54.4	66.9
DynU-Net	**31,41**	**89.2**	**0.909**	**94.6**

В данной работе авторы указывают, что архитектуры на сверточных сетях, обладая индуктивным смещением, традиционно показывают высокую конкурентность при обучении с нуля и получают гибридную архитектуру. В этом состоит их отличие от трансформерных архитектур, которым требуются большие наборы данных, недоступные в задачах медицинской обработки изображений. Особенно важно, что трансформерные архитектуры затратны по количеству параметров, что очень заметно в задачах 3D сегментации, так как объемы массивов увеличиваются и в настоящее время исследования направлены на гибридные архитектуры, которые бы обладали меньшим числом параметров и плюсами CNN.

Авторы описывают модель сегментации, основанную на иерархическом ViT, которая эффективно обрабатывает медицинские изображения. Она использует модуль внимания, сохраняет локальную непрерывность за счет модуля эмбеддинга перекрывающихся патчей и имеет легкую архитектуру из-за отказа от тяжелого декодера в пользу декодера all-MLP. Модель имеет низкую сложность (4.5 млн параметров, 17 GFLOPS), но сохраняет высокую производительность, что делает её конкурентоспособной с лучшими моделями (SOTA) и она не нуждается в предварительном обучении.

Авторы [11] описывают DCDynU-Net – это усовершенствованная модель сегментации медицинских изображений (например, МРТ мозга), основанная на DynU-Net. Она использует глубокий супервизор и блоки 3D CBam для улучшения кодирования признаков. Декодер включает многоголовый блок внимания, объединённый с механизмом "глубокого супервизора", эффективно комбинирующий информацию с предыдущих этапов декодирования и последних слоёв, для повышения качества сегментации.

Суммарно по метрикам, и по числу параметров 31,4 млн. наша архитектура показывает себя на хорошем уровне. Данная архитектура может стать отличной основой для исследования в сторону гибридных архитектур. Авторы [12] используют разработку DeepDynU-Net, сочетающую в себе преимущества глубокого супервизора и механизмов внимания, применяя их к архитектуре DynU-Net. Обученный на Brats 2018 совместно с DynU-Net обученным на iSeg19он применяется в оригинальном подходе, позволяющим улучшить качество сегментации, для объединения контекстной информации Context Feature Fusion о составе мозга с признаками опухоли.

Заключение

В ходе проделанной работы была получена модель архитектуры DynU-Net с помощью современного фреймворка для обработки медицинских изображений Monai. Результаты семантической сегментации показывают хороший уровень относительно других работ на

соревновании Brats 2023 и некоторых современных трансформерных решений. По количеству параметров и метрикам разработанная модель оказывается выгодной в сравнении с последними, что характеризует ее как хорошую базу для дальнейших исследований в направлении развития гибридных архитектур.

Список использованных источников

1. Adalberto Filho M. et al. Cancers of the brain and central nervous system: global patterns and trends in incidence //Journal of neuro-oncology. – 2025. – Т. 172. – №. 3. – С. 567-578.
2. Опухоли головного мозга [Электронный ресурс]. – URL: pirogov-center.ru/specialist/diseases/detail.php?ID=479 (дата обращения: 10.04.2025)
3. Далечина А.В. Современные подходы к диагностике и лечению глиобластомы / А.В. Далечина, М.Г. Беляев, А.Н. Тюрина и др. // АО «Деловой центр нейрохирургии» (Центр «Гамма-нож»), Москва, Россия; Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия; НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко, Москва, Россия. © Коллектив авторов, 2019.
4. Dupont C., Betrouni N., Reyns N. et al. On image segmentation methods applied to glioblastoma: state of art and new trends // IRBM, Elsevier Masson. – 2016. – Vol. 37, no. 3. – P. 131-143. DOI: 10.1016/j.irbm.2016.04.002.
5. Ruffle J. K., Mohinta S., Gray R., Hyare H., Nachev P. Brain tumour segmentation with incomplete imaging data // Brain Communications. – 2023. – Vol. 5, no. 2. DOI: 10.1093/braincomms/fcad118.
6. Cardoso M. J. et al. MONAI: An open-source framework for deep learning in healthcare // arXiv preprint arXiv:2211.02701. – 2022. URL: arxiv.org/abs/2211.02701.
7. MONAI DynUNet documentation // MONAI. – URL: docs.monai.io/en/1.3.0/_modules/monai/networks/nets/dynunet.html (дата обращения: 06.11.2024).
8. DynUNet pipeline tutorial // Project-MONAI. – URL: https://github.com/Project-MONAI/tutorials/tree/main/modules/dynunet_pipeline (дата обращения: 10.12.2024).
9. Perera S., Navard P., Yilmaz A. Segformer3d: an efficient transformer for 3D medical image segmentation // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2024. – С. 4981–4988.
10. BraTS 2023 Challenge. – URL: synapse.org/Synapse:syn51156910/tables/ (дата обращения: 05.02.2024).
11. Son V. T. H. et al. DCDynUnet: Deep Supervision Attention Context for Brain Segmentation // International Conference on Advances in Information and Communication Technology. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. – С. 158–165.
12. Thanh N.T.N., Huy N.Q., Hyung K.S. Brain tumor segmentation based on deep supervision and context feature fusion.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLOV5 И YOLOV8 ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ ЛЕТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Клековкин В. А.
Томский политехнический университет
ИШИТР, группа А2-39
E-mail: vak37@tpu.ru

Аннотация

Данная работа посвящена исследованию моделей сверточных нейронных сетей (СНС) YOLOv5s и YOLOv8s при объектном детектировании на изображениях летающих объектов (ЛО) в случае их малых размеров (площадь объекта не более 32х32 пикселя) и в случае ЛО на изображениях разных размеров (малые, средние и большие по площади). Созданы два датасета с изображениями ЛО трех классов: птицы, беспилотные летательные аппараты вертолетного и самолетного типов. Первый датасет сформирован по изображениям с ЛО только малых размеров, а второй – по изображениям объектов разных размеров. На каждом из датасетов проведено обучение моделей СНС YOLOv5s и YOLOv8s. Обе модели исследованы на тестовых выборках датасетов. Результаты исследований показали, что обе модели демонстрируют схожие показатели по точности детектирования по метрикам AP0,5 и mAP0,5 для всех классов объектов. Тем не менее, YOLOv8s демонстрирует небольшое преимущество в точности обнаружения объектов по сравнению с YOLOv5s, особенно в случае малых размеров объектов. Обе модели имеют высокие значения усредненной скорости вычислений, но модель YOLOv5s превосходит YOLOv8s по скорости вычислений как при детектировании ЛО малых размеров, так и объектов различных размеров.

Ключевые слова: сверточные нейронные сети YOLOv5 и YOLOv8, точность и скорость детектирования летающих объектов, датасет, птица, беспилотные летательные аппараты вертолетного и самолетного типа

Введение

На сегодняшний день задачи мониторинга воздушного пространства для объектного детектирования (обнаружения, позиционирования и классификации) летающих объектов (ЛО) приобретают особую важность. В данной области обычно выделяют три ключевых класса объектов: птицы, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) самолётного типа и БПЛА вертолетного типа.

Несмотря на то, что особенности детектирования подвижных объектов, в том числе ЛО, на изображениях изучаются уже достаточно долго, исследования в этой сфере продолжают оставаться актуальными и востребованными, поскольку обеспечение детектирования с высокой точностью объектов малого размера (площадью не более 32х32 пикселя) является сложной задачей [1]. Известно, что для решения задачи объектного детектирования ЛО перспективными считаются модели СНС класса YOLO [2, 3].

В данной работе исследуются модели СНС YOLOv5s и YOLOv8s, входящие в класс YOLO. Разработаны два датасета с размеченными изображениями объектов малых размеров и разномасштабных объектов. Изображения содержат ЛО трех классов: птицы, беспилотные летательные аппараты самолетного и вертолетного типов. С использованием этих датасетов модели СНС YOLOv5s и YOLOv8s обучены и исследованы в части точности детектирования изображений с малыми и разномасштабными ЛО, а также по скорости вычисления этих моделей.

Постановка задачи

Будем рассматривать задачу объектного детектирования ЛО в воздушном пространстве на изображениях, учитывая, что все объекты подразделяются на три класса: БПЛА самолетного типа, БПЛА вертолетного типа и Птица. По размерам (по занимаемой ими площади на изображениях) объекты, не зависимо от их класса и опираясь на результаты работы [4], разделим на три категории:

- малые (площадь объекта на изображении меньше или равна 32×32 пикселей);
- средние (площадь от 33×33 до 96×96 пикселей включительно);
- большие (площадь 97×97 пикселей и более).

На одном изображении может находиться один и более объектов разных категорий по размерам, а также принадлежащих к разным классам.

Модели СНС YOLO, начиная с YOLOv4, зарекомендовали себя как одни из лучших решений для задач объектного детектирования объектов благодаря своей скорости и точности обнаружения и классификации объектов. С тех пор были выпущены современные версии YOLO, такие как YOLOv5, YOLOv7 и YOLOv8, которые продолжают улучшать производительность, добавляя новые функции и оптимизации. В результате проведенного авторами [3] анализа моделей класса YOLO при детектировании ЛО выявлено, что модели семейства YOLOv5 несколько уступают по точности детектирования ЛО нескольких классов на изображениях более новым моделям, таким как YOLOv7 и YOLOv8. Однако модели этого семейства значительно превосходят новые модели по производительности. Модель YOLOv5s – это одна из самых легковесных и быстрых моделей в семействе YOLOv5. Она оптимизирована для работы в реальном времени и может быть эффективно использована для решения задач, где важна скорость анализа изображений. Однако ее производительность может снижаться при детектировании объектов малых размеров, так как архитектура модели не всегда позволяет точно идентифицировать такие объекты. Модель YOLOv8s [3] – это хорошо себя зарекомендовавшая модель семейства YOLOv8, которая предлагает улучшенные алгоритмы анализа изображений и поэтому может обеспечивать более высокую точность детектирования объектов на изображении, и в тоже время она имеет высокую производительность. Эта модель использует более сложные механизмы, такие как улучшенные слои свертки, что может позволить ей лучше справляться с задачами детектирования ЛО. Эти аргументы способствовали выбору моделей YOLOv5s и YOLOv8s в качестве перспективных для их исследований при решении задачи детектирования малоразмерных и разномасштабных ЛО.

Целью данной работы является обучение и проведение сравнительных комплексных исследований моделей СНС YOLOv5s и YOLOv8s на сформированных датасетах по точности детектирования ЛО на изображениях и по скорости вычисления моделей.

Для оценки эффективности моделей СНС (точности классификации объектов) использовались такие известные метрики как Average Precision (AP) 0.5 и mean Average Precision (mAP) 0.5 [5]. Итоговую точность обнаружения ЛО на изображениях можно считать приемлемой, если значения метрики AP0,5 для каждого класса ЛО и метрики mAP0,5 для всех классов объектов превышают установленное пороговое значение. Согласно работе [6], это пороговое значение было установлено на уровне 0,9. В практических задачах, связанных с мониторингом воздушного пространства, способность одновременно обнаруживать ЛО различных масштабов критически важна для систем компьютерного зрения (СКЗ).

Для достижения поставленной цели следует создать два датасета, обучить и валидировать модели YOLOv5s и YOLOv8s на обучающих и валидационных выборках этих наборов данных, а также провести исследование моделей на тестовых наборах данных датасетов для оценки точности детектирования ЛО и скорости их вычислений.

Формирование датасетов

Для формирования датасетов для обучения, валидации и тестирования предложенных моделей СНС проводился поиск изображений с летающими объектами, относящимися к трем классам: БПЛА самолетного типа, включая «летающее крыло», БПЛА вертолетного типа и Птица. Учитывался ряд требований к подбору изображений: датасет должен включать только те изображения, которые максимально точно отражают реальные сценарии расположения объектов в воздушном пространстве (наличие одного или нескольких ЛО из указанных классов, разный фон, включающий облака, земную поверхность и т. д.). Для увеличения объема выборок датасетов часть изображений была подвергнута аугментации (созданы дополнительные изображения на основе имеющихся).

Пример исходных изображений для создаваемого датасета с объектами малых размеров демонстрируется на рисунке 1, а. Изображение слева содержит объект класса БПЛА вертолетного типа, среднее – БПЛА самолетного типа, на правом изображении можно увидеть четыре объекта класса Птица. Все изображения каждого из датасетов были масштабированы до единого размера 416x416 пикселей и размечены с использованием инструментов системы Roboflow [7]. На рисунке 1, б представлен пример размеченных изображений из созданного датасета с объектами малых размеров, которые соответствуют исходным изображениям на рисунке 1, а.

а

б

Рис. 1. Пример изображений из датасета: а – исходные, б – размеченные

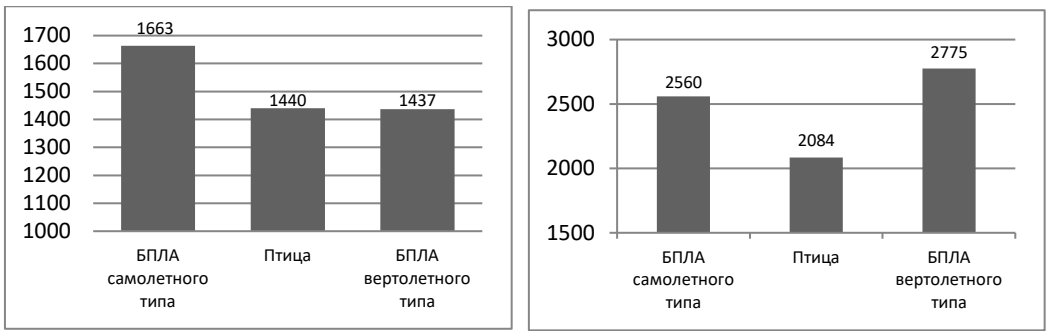
В результате все размеченные изображения каждого из датасетов были физически разделены на три выборки: обучающую (70% от общего объема), валидационную (20%) и тестовую (10%). В датасете с изображениями ЛО малых размеров количество размеченных объектов составляет 4540. По классам распределение следующее:

- «БПЛА самолетного типа» – 1663 объекта;
- «Птица» – 1440 объектов;
- «БПЛА вертолетного типа» – 1437 объектов.

Датасет с разномасштабными ЛО содержит 7419 размеченных на изображениях объектов. Распределение по классам выглядит следующим образом:

- «БПЛА самолетного типа» – 2560 объектов;
- «Птица» – 2084 объекта;
- «БПЛА вертолетного типа» – 2775 объектов.

Количественные характеристики датасетов по классам представлены на рисунке 2.



а б

Рис. 2. Количество объектов по классам в датасетах: а – датасет с изображениями ЛО малых размеров; б – датасет с изображениями разномасштабных ЛО

Обучение и валидация моделей СНС

Программная реализация предложенных моделей СНС была выполнена на языке Python версии 3.6 с применением библиотеки PyTorch. Эксперименты проведены на компьютере с графическим процессором Tesla T4, 15102MiB.

В ходе обучения и валидации моделей YOLOv5s и YOLOv8s были проведены эксперименты с целью поиска оптимальных значений гиперпараметров batch_size и количества эпох обучения. Выявлено, что наилучшие результаты по точности детектирования ЛО по метрикам AP0,5 и mAP0,5 достигаются при значении batch_size, равном 32, и 100 эпохах обучения. Следует отметить, что при 100 эпохах обучения наблюдается эффект плато, что и стало основанием для выбора именно этого количества эпох.

Результаты исследования моделей СНС и их анализ

Обученные и прошедшие валидацию модели YOLOv5s и YOLOv8s сначала исследовались по точности детектирования малоразмерных объектов на изображениях, а затем в случае изображений с объектами разных размеров. Число изображений в тестовой выборке датасета с объектами малых размеров – 279, тестовая выборка датасета с разномасштабными объектами содержит 417 изображений.

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты тестирования моделей YOLOv5s и YOLOv8s по метрикам AP и mAP на датасетах с ЛО малых и разномасштабных размеров

Класс	**Размеры объектов**			
	малые		**разномасштабные**	
	YOLOv5s	**YOLOv8s**	**YOLOv5s**	**YOLOv8s**
БПЛА самолетного типа	0,935	0,937	0,951	0,950
Птица	0,930	0,935	0,919	0,927
БПЛА вертолетного типа	0,961	0,966	0,982	0,978
Все классы	0,942	0,946	0,951	0,952

На рисунке 3 приведен пример детектированных объектов на изображениях из тестового набора датасета с объектами малых размеров. Можем видеть, что на левом изображении детектирован объект класса Птица с точностью 0,94, на среднем – БПЛА вертолетного типа с точностью 0,92, а на правом изображении детектирован объект класса БПЛА самолетного типа с точностью 0,92. Важно отметить, что точность всех детектированных объектов превышает заданное пороговое значение 0,9.

Рис. 3. Пример детектированных объектов на изображениях из тестового набора датасета с объектами малых размеров

Комплексность исследований выбранных перспективных моделей СНС требует проведения второго эксперимента для оценки усредненной скорости вычислений каждой из моделей. Результаты этого эксперимента представлены в таблице 2. При вычислении усредненной скорости в виде показателя FPS учитывались такие значения как Inference – отражает среднее время, необходимое для обработки одного изображения моделью, и NMS (англ. Non-Maximum Suppression) – среднее время, затрачиваемое на обработку и устранение дублирующихся обнаружений [8].

Таблица 2. Результаты исследования моделей YOLOv5s и YOLOv8s по усредненной скорости вычисления их на датасетах с объектами малых и разномасштабных размеров

Модель СНС	**Размеры объектов**					
	малые	**разных масштабов**	**малые**	**разных масштабов**	**малые**	**разных масштабов**
	Inference, мс		NMS, мс		FPS	
YOLOv5s	3,2	2,6	2,4	3,6	179	161
YOLOv8s	4,6	4,1	1,8	2,3	156	156

Исследования показали, что модель YOLOv8s демонстрирует небольшое преимущество по точности детектирования объектов по сравнению с моделью YOLOv5s по всем классам объектов в случае малых размеров этих объектов. Например, для класса БПЛА самолетного типа значение метрики $AP_{0,5}$ у модели YOLOv8s составляет 0,937, в то время как у YOLOv5s – 0,935.

Класс БПЛА вертолетного типа имеет наивысшие значения по точности детектирования среди объектов других классов и размеров. Это может свидетельствовать о том, что обе модели лучше справляются с распознаванием объектов этого класса. Точность детектирования объектов класса Птица ниже, чем у объектов других классов, что может указывать на сложность распознавания объектов данного класса.

Точность детектирования объектов всех классов по метрике $mAP_{0,5}$ с помощью модели YOLOv8s для малых объектов несколько выше, чем у модели YOLOv5s. Это может говорить о том, что модель YOLOv8s предпочтительней для детектирования объектов малых размеров.

Анализируя результаты исследования моделей YOLOv5s и YOLOv8s, представленные в таблице 1, можно сформулировать следующие выводы. Модель YOLOv8s демонстрирует более высокую точность детектирования по сравнению с YOLOv5s для класса Птица в случае и малых, и разномасштабных объектов. Однако модель YOLOv5s незначительно эффективнее модели YOLOv8s в случае разномасштабных объектов классов БПЛА самолетного и вертолетного типа. Важно учитывать при этом, что выбор модели для СКЗ реального времени может зависеть от конкретных классов объектов, которые необходимо распознавать с помощью СКЗ, а также от требований к скорости вычисления модели.

На основании результатов из таблицы 2 можно сделать следующий вывод. В целом, обе модели демонстрируют высокие значения усредненной скорости вычислений. Однако модель YOLOv5s превосходит по метрике FPS модель YOLOv8s как при детектировании малых объектов, так и при детектировании объектов разных размеров.

Результаты проведенных комплексных исследований моделей YOLOv5s и YOLOv8s, а также выводы, основанные на них, позволяют сформулировать практические рекомендации для применения данных моделей в СКЗ реального времени. Для детектирования объектов на изображениях, вне зависимости от категории их размеров, можно применять любую из рассмотренных моделей СНС. Однако если при проектировании СКЗ реального времени выставляется жесткое требование к скорости вычисления модели СНС, то предпочтение следует отдать модели YOLOv5s.

Заключение

Анализ ряда исследований, посвященных точности обнаружения ЛО на изображениях, подтвердил, что проблема низкой точности обнаружения ЛО на изображениях актуальна, особенно для объектов с малыми размерами. Проанализированы основные классы моделей СНС для детектирования объектов на изображениях, в результате были выбраны модели YOLOv5s и YOLOv8s как наиболее перспективные для реализации в СКЗ реального времени. Сформированы два датасета с размеченными изображениями малых ЛО и ЛО различных размеров.

Результаты исследований показали, что обе модели СНС могут быть эффективно применены в СКЗ реального времени для детектирования на изображениях ЛО малых и разных размеров. Однако, учитывая требования к производительности и точности детектирования объектов, выдвигаемые при проектировании конкретной СКЗ, может быть осуществлен выбор той или иной из исследованных моделей. Так, модель YOLOv8s, обладая более высокой точностью детектирования объектов, может быть предпочтительней в СКЗ, которые предназначены для решения задач, где критически важна точность обнаружения и распознавания объектов. Особенно это важно в случае объектов малого размера. В то же время, модель YOLOv5s, демонстрируя более высокую скорость вычисления, может быть более подходящей в условиях, когда для СКЗ реального времени скорость детектирования объектов является приоритетом.

Таким образом, результаты данного исследования подчеркивают важность выбора модели в зависимости от специфики решения задач мониторинга воздушного пространства. Для достижения наилучших результатов детектирования ЛО необходимо учитывать как размеры этих объектов, так и требования к вычислительным ресурсам проектируемой СКЗ реального времени.

Список использованных источников

1. Nebaba S.G. Effectivenes of Moving Objects Detecting and Tracking in Airspace by Images in Nearinfrared / S.G. Nebaba, N.G. Markov // Light & Engineering. – 2022. – Vol. 30, No. 2. – P. 62-69.
2. Nelson J. Your Comprehensive Guide to the YOLO Family of Models [Электронный ресурс]. – URL: blog.roboflow.com/guide-to-yolo-models/ (дата обращения: 14.03.2025).
3. Небаба С.Г. Сверточные нейронные сети семейства YOLO для мобильных систем компьютерного зрения / С.Г. Небаба, Н.Г. Марков // Компьютерные исследования и моделирование. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 615–631. DOI: 10.20537/2076-7633-2024-16-3-615-631
4. Accurate UAV Small Object Detection Based on HRFPN and EfficentVMamba / S. Wu, X. Lu, C. Guo, H. Guo // Sensors 2024. – 2024. – Vol. 24, No. 5. – P. 4966. DOI: 10.3390/s24154966.
5. mAP (mean Average Precision) в детекции объектов [Электронный ресурс]. – URL: https://ml.i-neti.ru/map-mean-average-precision/ (дата обращения: 21.03.2025).
6. Review of deep learning: Concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions / L. Alzubaidi, J. Zhang, A.J. Humaidi, A. Al-Dujaili, Y. Duan, O. Al-Shamma, J. Santamaría, M.A. Fadhel, M. Al-Amidie, L. Farhan // Journal of Big Data. – 2021. – Vol. 8, No. 53. – P. 1-77. DOI: 10.1186/s40537-021-00444-8.
7. Roboflow [Электронный ресурс]. – URL: roboflow.com/ (дата обращения: 21.03.2025).
8. Object Detection: Non-Maximum Suppression (NMS) [Электронный ресурс]. – URL: kikaben.com/object-detection-non-maximum-suppression/ (дата обращения: 22.03.2025).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ НА ВИДЕО

Кузнецов И.Е.
студент
Научный руководитель И.А. Канаева, ассистент ОИТ
г. Томск, НИ ТПУ, iek7@tpu.ru

Аннотация

В статье представлен алгоритм автоматического распознавания дорожных знаков на видеопоследовательностях. Алгоритм включает в себя детектирование знаков, трекинг, классификацию и извлечение дополнительной информации. Особое внимание уделено подготовке данных, борьбе с дисбалансом классов, алгоритму трекинга, а также фильтрации ложных срабатываний детектора. Достигнута высокая точность классификации (98 %).

Ключевые слова: дорожные знаки, компьютерное зрение, детектирование, трекинг, классификация, RTSD, YOLOv8, SORT, ResNet

Введение

Современная транспортная система предъявляет высокие требования к безопасности и эффективности дорожного движения. Важнейшим элементом обеспечения этих требований является своевременный и точный учет состояния дорожной инфраструктуры, в частности, дорожных знаков. Они несут критически важную информацию для водителей. Традиционные методы паспортизации дорожных знаков, основанные на просмотре видеоматериалов дорожных съемок и ручном переносе данных в базу данных, являются крайне трудоемкими и требуют значительных временных и финансовых затрат.

Задачи автоматического распознавания дорожных знаков решаются уже достаточно давно, и существуют системы, способные выполнять эту функцию, в том числе в режиме реального времени. Однако большинство таких реализаций ориентированы на системы помощи водителю (ADAS), где приоритетом является мгновенное распознавание ограниченного набора критически важных знаков (например, ограничения скорости, стоп, уступи дорогу). Для задач же паспортизации дорожной инфраструктуры предъявляются иные требования: необходимо с высокой точностью распознавать максимально широкий спектр знаков, включая все стандартные типы, их вариации и знаки индивидуального проектирования. Согласно ГОСТ Р 52290-2004 [1], общее число различных дорожных знаков и их разновидностей превышает 300, что ставит перед системами паспортизации сложную задачу по охвату классов.

В этом контексте, целью данной работы является разработка комплексной системы автоматического распознавания дорожных знаков на видеопоследовательностях, адаптированной именно для задач паспортизации, обеспечивающей высокую точность детектирования и классификации широкого спектра знаков и извлекающей расширенный набор характеристик.

Разработанная система обладает рядом отличительных особенностей, определяющих её новизну и прикладную значимость:

1. *Расширенный охват классов*: способность распознавать 223 класса знаков, включая знаки индивидуального проектирования, что критично для полноты паспортизации и превышает возможности типичных ADAS и аналогичных систем.

2. *Оптимизированная скорость обработки для паспортизации*: обработка 10 км дороги занимает 10-25 минут на типовой видеокарте в зависимости от плотности знаков. Известные аналоги могут требовать около 40 минут на тот же объем. Скорость достигается, в том числе, за счет пропуска анализа кадров, на которых детектор не обнаружил знаков.

3. *Продвинутый трекинг*: применение оригинальной гибридной метрики (Centroid+GIoU) в алгоритме SORT [4], специально разработанной для стабильного отслеживания дорожных знаков.

4. *Комплексность извлечения атрибутов*: автоматическое определение не только типа и текста знака, но и его дополнительных параметров, что важно для паспортизации объектов дорожной инфраструктуры.

Основная часть

Система обрабатывает видеоданные из файлов sff (метаданные о дороге: код, название, направление, километраж) и dat (видеокадры, время, пикетаж). Пикетаж представляет собой разметку в виде километровых отметок с начала дороги, позволяющую точно определить местоположение объектов.

В системе используется следующий алгоритм обработки видео:

1. *Чтение данных*: последовательное считывание видеокадров и пикетов из dat файла.

2. *Детектирование*: обнаружение потенциальных дорожных знаков и определение их ограничивающих рамок на каждом кадре с помощью нейронной сети.

3. *Трекинг*: связывание обнаружений одного и того же знака на последовательных кадрах и выбор кадра последнего четкого появления знака для следующих шагов анализа.

4. *Классификация*: определение кода знака с использованием нейронной сети.

5. *Извлечение информации*: распознавание текста на знаке, определение расположения, расстояния, наличия желтой пленки, временного статуса и порядка знаков на одной опоре.

6. *Запись результатов*: сохранение всей собранной информации о распознанных знаках в структурированный CSV-файл.

Подготовка данных. Качество и объем обучающих данных являются критически важными факторами для построения эффективных моделей глубокого обучения. В качестве отправной точки был использован открытый набор данных RTSD (Russian Traffic Sign Dataset) [2], включающий около 50 000 изображений для обучения и 5 000 для тестирования. Однако разметка RTSD охватывала только 155 классов стандартных дорожных знаков, что недостаточно для решения практических задач паспортизации, где часто встречаются знаки индивидуального проектирования (указатели направлений, названия поселений и географических объектов, километровые знаки и т. д.).

Для расширения покрытия классов и повышения робастности моделей были использованы видеоматериалы реальных дорожных съемок. Процесс разметки включал два этапа: предварительную автоматическую разметку с помощью разрабатываемой системы и последующую ручную верификацию и доразметку. В ходе ручной доработки добавлялись пропущенные знаки, уточнялись границы и классы, размечались знаки индивидуального проектирования. В результате этой работы к исходному датасету было добавлено около 5500 тщательно размеченных изображений. Общее количество уникальных классов знаков было доведено до 223, что позволило значительно повысить способность системы распознавать более широкий спектр дорожных объектов.

Детектирование. Задача детектирования заключается в локализации всех экземпляров дорожных знаков на входном изображении и определении их ограничивающих рамок. В данной работе для детектирования используется модель YOLOv8, представляющая собой современное развитие семейства однопроходных детекторов YOLO (You Only Look Once) [3]. Первоначально была обучена и протестирована модель YOLOv8 small. Она показала высокую скорость работы, но имела проблемы с обнаружением знаков, расположенных вертикально, а также мелких объектов, таких как таблички дополнительной информации и километровые знаки. Для решения этих проблем была выбрана более крупная и мощная модель YOLOv8 medium. Обучение моделей проводилось на расширенном наборе данных с применением

различных методов аугментации данных, включая случайные геометрические и фотометрические искажения. Обученная модель YOLOv8 medium исправила недостатки младшей модели и продемонстрировала высокую точность и полноту обнаружения всех видов дорожных знаков.

Трекинг. Трекинг объектов на видео необходим для установления соответствия между обнаружениями одного и того же знака на разных кадрах. Это позволяет отфильтровать кратковременные ложные срабатывания детектора, избежать многократного учета одного и того же знака и выбрать наиболее репрезентативный кадр (обычно последнее четкое появление) для последующей классификации и анализа. В системе используется алгоритм SORT (Simple Online and Realtime Tracking) [4]. Он работает в два этапа: предсказание положения треков на текущем кадре с помощью фильтра Калмана и ассоциация предсказанных положений с новыми детекциями с помощью венгерского алгоритма на основе матрицы схожести.

Стандартный алгоритм SORT использует метрику IoU (Intersection over Union) для вычисления схожести. Однако IoU показал недостаточную робастность: при значительном смещении объекта между кадрами, например при приближении к мелким километровым знакам, значение IoU могло достигать нуля, приводя к потере трека. Для преодоления этой проблемы был применен центроидный метод [5], вычисляющий евклидово расстояние между центрами предсказанной рамки трека и рамки детекции.

Этот метод более устойчив к изменениям размера рамки, но его использование в чистом виде привело к другой проблеме: после проезда одного знака трекер мог «перескочить» на следующий знак, расположенный позади, если их центры были достаточно близко. Для решения данной проблемы был внедрен гибридный подход, комбинирующий центроидное расстояние и метрику GIoU (Generalized IoU) [6]. GIoU учитывает не только область пересечения, но и форму и взаимное расположение рамок.

Матрица схожести в текущей версии алгоритма для венгерского алгоритма вычисляется как взвешенная сумма нормализованного центроидного расстояния и GIoU. Этот гибридный подход позволил сохранить устойчивость центроидного метода при изменении масштаба и одновременно предотвратить «перескоки» трекера благодаря учету формы и перекрытия рамок с помощью GIoU, что качественно улучшило стабильность отслеживания.

Классификация. После того как знак был успешно отслежен, изображение, соответствующее его последнему появлению, вырезается и подается на вход классификационной нейронной сети для определения его кода по ГОСТ Р 52290-2004 [1]. Исходный набор данных RTSD страдал от сильного дисбаланса классов (например, больше 24000 примеров для знака пешеходный переход против менее 10 для некоторых редких знаков). Для борьбы с этим применялись стратегии over-sampling для редких классов (дублирование с интенсивной аугментацией до минимум 30 экземпляров) и under-sampling для доминирующих классов (ограничение сверху 1000 случайно выбранными примерами).

Было проведено несколько экспериментов с различными архитектурами и подходами к обучению: использование ResNet50 [7] с дообучением только последнего слоя показало относительно низкую точность. Применение ResNet18 с полным fine-tuning (настройкой всех слоев) позволило значительно улучшить результат.

Наблюдения показали, что детектор иногда срабатывал на объектах, не являющихся дорожными знаками (рекламные щиты, обратные стороны знаков, элементы зданий и пейзажа). Для фильтрации таких ложных детекций на этапе классификации в обучающий набор были добавлены два новых класса: «реклама» и «прочее». Использование более мощной модели ResNet34 с полным fine-tuning в сочетании с добавлением этих фильтрующих классов позволило достичь наивысшей точности классификации.

Извлечение дополнительной информации. Помимо кода знака, система извлекает ряд дополнительных атрибутов знака из изображения. Распознавание текста на знаках

выполняется библиотекой EasyOCR [8]. Также система определяет следующие характеристики: расположение знака относительно дороги, расстояние до знака, наличие желтой светоотражающей пленки, порядок знака на стойке, а также определяется временный это знак или постоянный. Расположение знака определяется на основе его координат и параметров камеры. Расстояние до знака вычисляется с использованием размеров знака на изображении, известных размеров знака в реальном мире и параметров камеры. Наличие желтой пленки и временный статус определяется по цветовым характеристикам изображения знака.

Пользовательский интерфейс. Для обеспечения удобного взаимодействия пользователя с разработанной системой, визуализации результатов распознавания и их последующей верификации был создан графический пользовательский интерфейс (GUI) с использованием библиотеки PyQt6 [9]. Приложение позволяет пользователю выбирать папку с видеоданными для распознавания дорожных знаков, а после открывать результат обработки.

Основное окно приложения (рис. 1) предоставляет комплексное представление данных. Оно включает синхронизированное отображение видеопотоков с нескольких камер, где центральное окно используется для визуализации процесса распознавания (отображение ограничительных рамок, кодов знаков и их иконок), а боковые окна предоставляют дополнительный контекст. Пользователю доступны инструменты для навигации по видео (перемотка, переход по кадрам или пикетам) и масштабирования изображения.

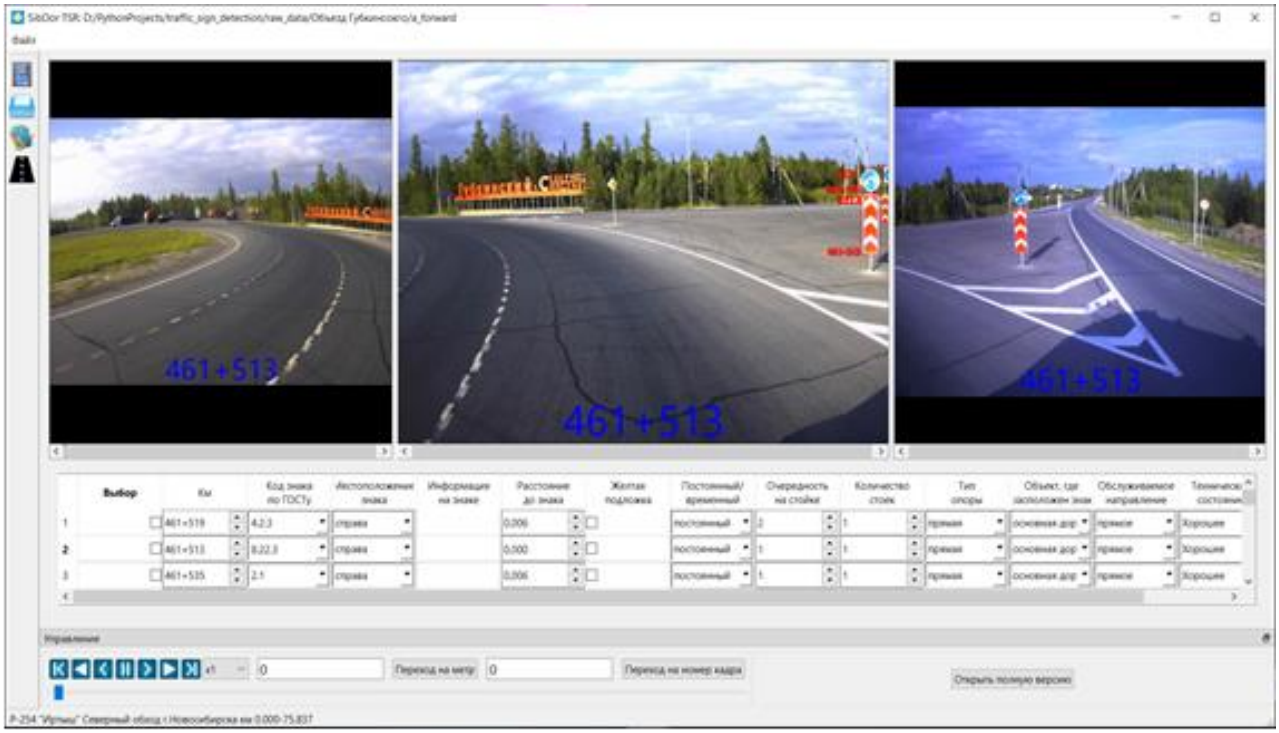


Рис. 1. Основное окно приложения

Ключевым элементом интерфейса является интерактивная таблица, отображающая основную информацию о распознанных дорожных знаках: номер кадра, пикетаж, код знака, расположение, распознанный текст, вычисленное расстояние и другие атрибуты. Таблица позволяет не только просматривать результаты, но и вносить в них корректировки; для полей, связанных со справочниками (например, код знака или его расположение), используются выпадающие списки для удобства ввода. Предусмотрена возможность добавления пропущенных знаков вручную. Результаты обработки и внесенные изменения могут быть сохранены, в том числе с использованием интеграции с базой данных Firebird, используемой для хранения справочников и итоговых данных паспортизации.

Результаты

В данном разделе представлены основные количественные и качественные результаты, достигнутые разработанной системой распознавания дорожных знаков (рис. 2).

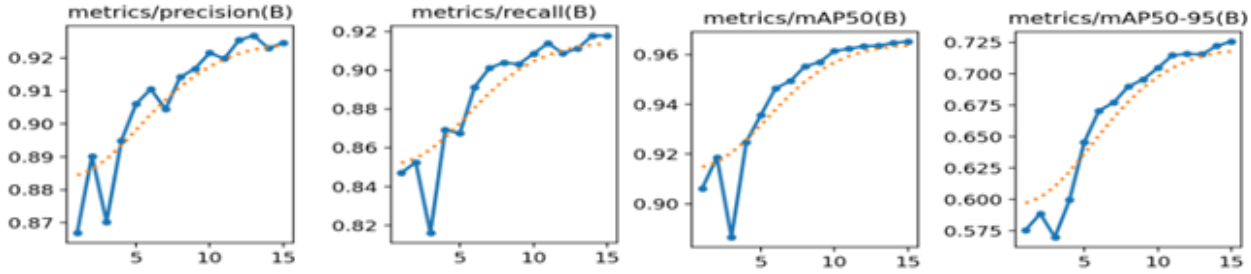


Рис. 2. Графики метрик при обучении детектора YOLOv8m

Производительность финальной модели детектора YOLOv8m, обученной на расширенном наборе данных, иллюстрируется графиками метрик на рисунке 3. Модель достигла показателей точности (precision) 92% и полноты (recall) 91% что свидетельствует о ее способности эффективно локализовывать дорожные знаки на изображениях.

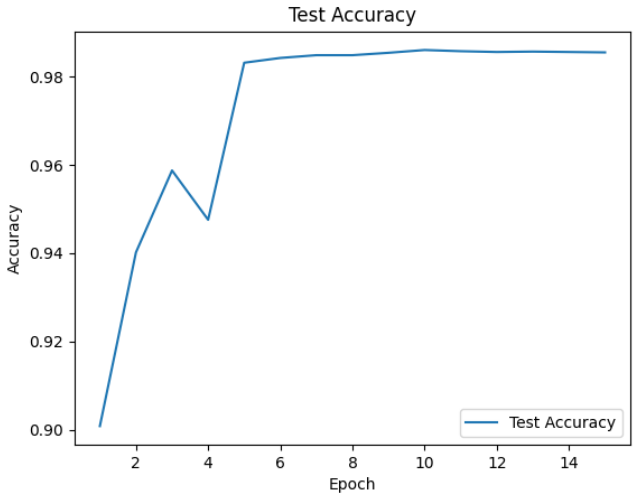


Рис. 3. График изменения точности на тренировочных данных модели ResNet34

Изменение значений точности на тестовых данных в ходе обучения модели классификации ResNet34 представлено на рисунке 3. В таблице 1 представлено значения итоговых метрик трех ранее описанных моделей классификаторов.

Таблица 1. Метрики моделей классификации на тестовой выборке

Модель	***Accuracy***	***Avg. Precision***	***Avg. Recall***
ResNet50 (последний слой)	81 %	79.8 %	80.1 %
ResNet18	96 %	95.6 %	95.2 %
ResNet34	98 %	97.7 %	97.1 %

Демонстрация работы алгоритма обработки представлена на рисунке 4, где показаны кадры с одновременным распознаванием множества различных дорожных знаков с корректным определением их кодов. На рисунке 5 показаны примеры распознавания знаков индивидуального проектирования.

Рис. 4. Пример распознавания множества знаков на кадре

Рис. 5. Пример распознавания знаков индивидуального проектирования

Заключение

Представленный алгоритм обработки видео реализует комплексный подход к распознаванию дорожных знаков. Разработанный пользовательский интерфейс обеспечивает удобное взаимодействие с системой. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность разработанного подхода и его практическую значимость для автоматизации процессов паспортизации дорожных знаков.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 52290-2004 Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования.

2. Шахуро, В.И. Российская база изображений автодорожных знаков / В.И. Шахуро, А.С. Конушин // Компьютерная оптика. – 2016 – Т. 40, № 2 – С. 294-300.

3. YOLOv8 - Ultralytics YOLO Docs – URL: docs.ultralytics.com/ru/models/yolov8/ (дата обращения: 26.03.2025).

4. Bewley A., Ge Z., Ott L., Ramos F., Upcroft B. Simple Online and Realtime Tracking // 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). Phoenix, AZ: IEEE, 2016. P. 3463-3467.

2. Handle Small/Tiny and Fast/High Speed moving object detection/tracking with stable inference [Электронный ресурс]. – URL: github.com/mikel-brostrom/boxmot/issues/1246 (дата обращения: 27.03.2025).

7. Rezatofighi H., Tsoi N., Gwak J., Sadeghian A., Reid I., Savarese S. Generalized Intersection over Union: A Metric and A Loss for Bounding Box Regression // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – Long Beach, CA, USA, 2019. – P. 658-666.

8. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2016. P. 770-778.

9. Jaided AI: EasyOCR tutorial [Электронный ресурс]. – URL: github.com/mikel-brostrom/boxmot/issues/1246 (дата обращения: 27.03.2025).

10. Reference Guide-PyQt Documentation v6.8.0 [Электронный ресурс]. – URL: riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt6 (дата обращения: 27.03.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ MO-U-NET С РОБАСТНОЙ ФУНКЦИИ ПОТЕРЬ ХЬЮБЕРА В УСЛОВИЯХ ЗАШУМЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Малкин А.Ю.
Томский политехнический университет, аспирант ИШИТР
e-mail: aym27@tpu.ru

Аннотация

Исследуется эффективность модели сверточной нейронной сети Mo-U-Net при наличии импульсных помех на изображениях. Модель обучается с применением робастной функции потерь (РФП) Хьюбера при решении задачи попиксельной классификации зашумленных помехами изображений пораженных деревьев пихты. Результаты исследований позволили рекомендовать РФП Хьюбера к использованию при обучении этой модели для работы с зашумленными изображениями.

Ключевые слова: сверточная нейронная сеть, Mo-U-Net, пихта сибирская, беспилотный летательный аппарат, семантическая сегментация, импульсные помехи на изображениях, робастная функция потерь Хьюбера.

Введение

В настоящее время остаются актуальными задачи оперативного выявления пораженных насекомыми-вредителями хвойных деревьев. Одной из таких задач является задача обнаружения пораженных уссурийским полиграфом деревьев пихты сибирской по изображениям, полученным с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Анализ таких изображений с БПЛА представляет интерес для работников лесной отрасли с целью оперативного проведения фитосанитарных мероприятий в пораженных вредителями хвойных лесах [1].

Ручная разметка деревьев по классам состояния здоровья (степени поражения вредителями) деревьев на изображениях является затратной по времени задачей. Поэтому всё большую популярность приобретает применение моделей сверточных нейронных сетей (СНС) для обнаружения пораженных деревьев и классификации их по классам здоровья [2, 3].

Известно, что в результате съемки фотокамерой, установленной на БПЛА, возможно появление на изображениях импульсных помех (выбросов) разной физической природы. Это сказывается на итоговом качестве сегментации изображений с помощью моделей СНС. Поэтому актуальными являются задачи исследования устойчивости моделей СНС к таким помехам. Известно, что для получения удовлетворительных результатов сегментации необходимо при обучении модели СНС применять робастные функции потерь, устойчивые к выбросам, что в итоге может повысить помехоустойчивость модели СНС [4].

Целью данной работы является исследование эффективности модели СНС Mo-U-Net, являющейся модификацией известной модели СНС U-Net, при семантической сегментации зашумленных импульсными помехами изображений пораженных уссурийским полиграфом деревьев пихты сибирской. Обучение модели Mo-U-Net ведется при использовании робастной функции потерь Хьюбера.

Задача исследования устойчивости модели Mo-U-Net к импульсным помехам

В данной работе исследуется модель СНС Mo-U-Net, которая является модификацией классической модели U-Net [5] и подробно описана в работе [6]. Модель Mo-U-Net применяется для семантической сегментации изображений с импульсными помехами пораженных уссурийским полиграфом деревьев пихты.

Ставится задача оценки устойчивости модели Mo-U-Net с робастной функцией потерь (РФП) Хьюбера при различных параметрах импульсных помех. Выбор в пользу данной функции потерь сделан по причине её широкой изученности в ряде других работ, подтверждающих её робастность [7–9]. Из работы [4] следует, что РФП Хьюбера описывается следующим выражением:

$$\rho(z) = \begin{cases} \frac{1}{2}z^2, & |z| \le \beta \\ \beta|z| - \frac{1}{2}\beta^2, & |z| > \beta \end{cases}, \quad (1)$$

где z – величина ошибки, β – свободный коэффициент функции. Производная РФП Хьюбера представлена формулой:

$$\rho'(z) = \begin{cases} z, & |z| \le \beta \\ -\beta, & z < -\beta \\ \beta, & z > \beta \end{cases} \quad (2)$$

Формула (2) является непрерывной на множестве вещественных чисел $\mathbb{R}$, что позволяет использовать РФП Хьюбера (1) в качестве функции потерь в алгоритме обратного распространения ошибки при обучении модели СНС Mo-U-Net.

В исследованиях будут определяться значения коэффициента β функции потерь, при котором модель СНС Mo-U-Net позволит обеспечить лучшее качество сегментации изображений деревьев пихты. Для исследований используются следующие значения коэффициента β: (0, 0,1, 0,2, …, 9,0].

Для оценки качества сегментации каждого класса деревьев применяется метрика IoU*c*:

$$\mathrm{IoU}_c = \frac{\mathrm{TP}_c}{\mathrm{TP}_c + \mathrm{FP}_c + \mathrm{FN}_c}, \quad (4)$$

где TP_c – это истинно-положительные предсказания, FP_c – ложно-положительные предсказания, FN_c – ложно-отрицательные предсказания. Для оценки точности классификации деревьев также используется интегрированная метрика mean Intersection over Union (mIoU), рассчитываемая как среднее значение IoU*c* по всем C классам:

$$\mathrm{mIoU} = \frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{C}=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{IoU}_c, \quad (5)$$

где N – число классов деревьев. В нашем случае N равно пяти. Обучение и валидация модели завершается, когда значение метрики mIoU на валидационной выборке не превысит ранее достигнутое максимальное значение ее по прошествии 5 эпох обучения подряд.

При проведении исследований будет использоваться исходный датасет с размеченными изображениями пораженных деревьев пихты, описанный в работе [3]. Исходными изображениями при его формировании были RGB-изображения, полученные с БПЛА, оснащенного фотокамерой, и имеющие разрешение 0,1 м. Авторами [3] проведена ручная разметка изображений деревьев пихты по следующим классам их здоровья: «живые», «отмирающие», «свежий сухостой», «старый сухостой». Пятым классом в датасете является «фон». Таким образом, экспертами решена задача мультиклассификации изображений деревьев пихты. В результате формирования исходного датасета были подготовлены 2004 фрагмента с размером 256x256 пикселей цветового пространства RGB обучающей выборки, 672 и 91 фрагмент в, соответственно, валидационной и тестовой выборках.

Формирование датасетов с зашумленными изображениями деревьев пихты

На основе исходного датасета для проведения исследований созданы три новых датасета, содержащих изображения с искусственно внесенными импульсными помехами. В первом таком датасете зашумляются фрагменты обучающей выборки, а во втором датасете в дополнение к зашумлению обучающих фрагментов аналогично зашумляются фрагменты валидационной выборки. Третий датасет содержит зашумленные фрагменты по всем трем выборкам. Для каждого фрагмента, подлежащего зашумлению, случайным образом по дискретному равномерному закону распределения выбираются пиксели в количестве 25% от общего количества пикселей фрагмента. Для выбранных пикселей в каждом из RGB-каналов происходит увеличение амплитуды яркости в 1,5 раза. На рисунке 1 представлено зашумление импульсными помехами 25% площади обучающего фрагмента при амплитуде помех, равной 1,5.

Рис. 1. Визуализация зашумления фрагмента снимка пихты: a – исходные данные. b – фрагмент с увеличением амплитуды яркости пикселей в 1,5 раза.

На языке программирования Python 3 с применением фреймворка PyTorch программно реализованы модель СНС Mo-U-Net и РФП Хьюбера. Модель обучена и валидирована с применением представленных ранее четырех датасетов изображений деревьев пихты. Получены следующие результаты.

Результаты исследований и их обсуждение

В случае работы модели СНС Mo-U-Net с датасетом, не содержащим импульсные помехи на фрагментах, было установлено, что максимальное значение метрики mIoU на валидационной выборке достигается моделью в случае значения коэффициента β, равного 7,6, и составляет 0,7706. Метрика mIoU на тестовой выборке в таком случае составляет 0,6473. На рисунке 2 представлены результаты валидации и тестирования модели, обученной с применением различных значений коэффициента функции потерь.

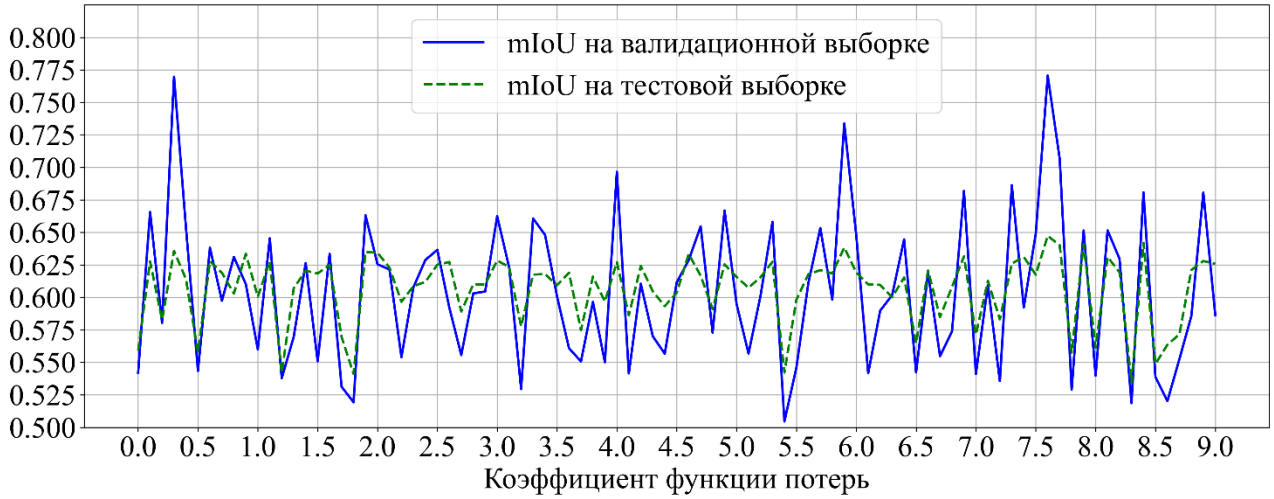


Рис. 2. Валидация и тестирование модели при отсутствия импульсных помех в датасете

Аналогичные результаты получены в результате обучения, валидации и тестирования модели Mo-U-Net на новых датасетах, содержащих импульсные помехи на фрагментах тех или иных выборках этих датасетов. Так, при использовании первого датасета и обучении модели на фрагментах с импульсными помехами обучающей выборки квазиоптимальное значение коэффициента РФП Хьюбера равно 1,5. В таком случае модель в результате валидации и тестирования достигает значений метрики mIoU, соответственно, 0,6456 и 0,6339.

В результате обучения и валидации модели на зашумленных фрагментах второго датасета было установлено, что при коэффициенте β, равном 1,4, модель СНС Mo-U-Net демонстрирует максимальное значение метрики mIoU на валидационной выборке, которое составляет 0,7325. Метрика mIoU на тестовой выборке составляет 0,6307.

В случае наличия импульсных помех на всех фрагментах третьего датасета квази-оптимальным значением коэффициента функции потерь является 2,4. В таком случае качество сегментации валидационной выборки по метрике mIoU составляет 0,7397, на тестовой выборке – 0,6287.

В таблице 1 представлена сводная информация о результатах исследования модели Mo-U-Net, полученных с использованием каждого из трех датасетов. Из таблицы 1следует, что в каждом отдельном случае зашумления выборок датасета рекомендуется осуществлять подбор квазиоптимального значения коэффициента β РФП Хьюбера. В случае, если датасет не содержит импульсных помех на фрагментах, обученная и валидированная модель СНС Mo-U-Net демонстрирует наибольшие значения метрики mIoU на валидационной и тестовой выборках относительно рассматриваемых случаев зашумления фрагментов выборок в каждом из новых датасетов. Тем не менее, метрика mIoU на тестовой выборке не уменьшается более чем на 0,02 в результате работы модели Mo-U-Net с датасетами, содержащими импульсные помехи на фрагментах. Более того, можно говорить о плавном уменьшении метрики mIoU на тестовой выборке с увеличением числа выборок с зашумленными фрагментами. Все это позволяет считать, что использование РФП Хьюбера при обучении модели Mo-U-Net не позволяет последней резко снизить устойчивость к импульсным помехам при решении задачи мультиклассификации изображений деревьев пихты.

Таблица 1. Значения метрики mIoU в результате обучения и валидации модели Mo-U-Net в случае зашумления различных выборок датасета

Отношение площади выбросов к площади фрагментов выборки			**Коэффициент функции потерь**	**Значение метрики mIoU**	
Обучающая	**Валидационная**	**Тестовая**		**Валидационная выборка**	**Тестовая выборка**
0	**0**	**0**	**7,6**	**0,7706**	**0,6473**
0,25	0	0	1,5	0,6456	0,6339
0,25	0,25	0	1,4	0,7325	0,6307
0,25	0,25	0,25	2,4	0,7397	0,6287

На рисунке 3 для визуального анализа представлены результаты сегментация изображения тестового участка моделью Mo-U-Net, полученные при проведении описанных исследований. По полученным картам сегментации видно, что классификация деревьев класса «Отмирающие», которые наименее представлены в подготовленных датасетах, выполняется с худшей точностью, чем для других классов деревьев. Из рисунка 3д видим, что модель СНС Mo-U-Net, обученная и валидированная на фрагментах, содержащих импульсные помехи, выполняет задачу мультиклассификации лучше, чем в результате ее работы с другими датасетами с зашумленными фрагментами (рисунок 3г, е).

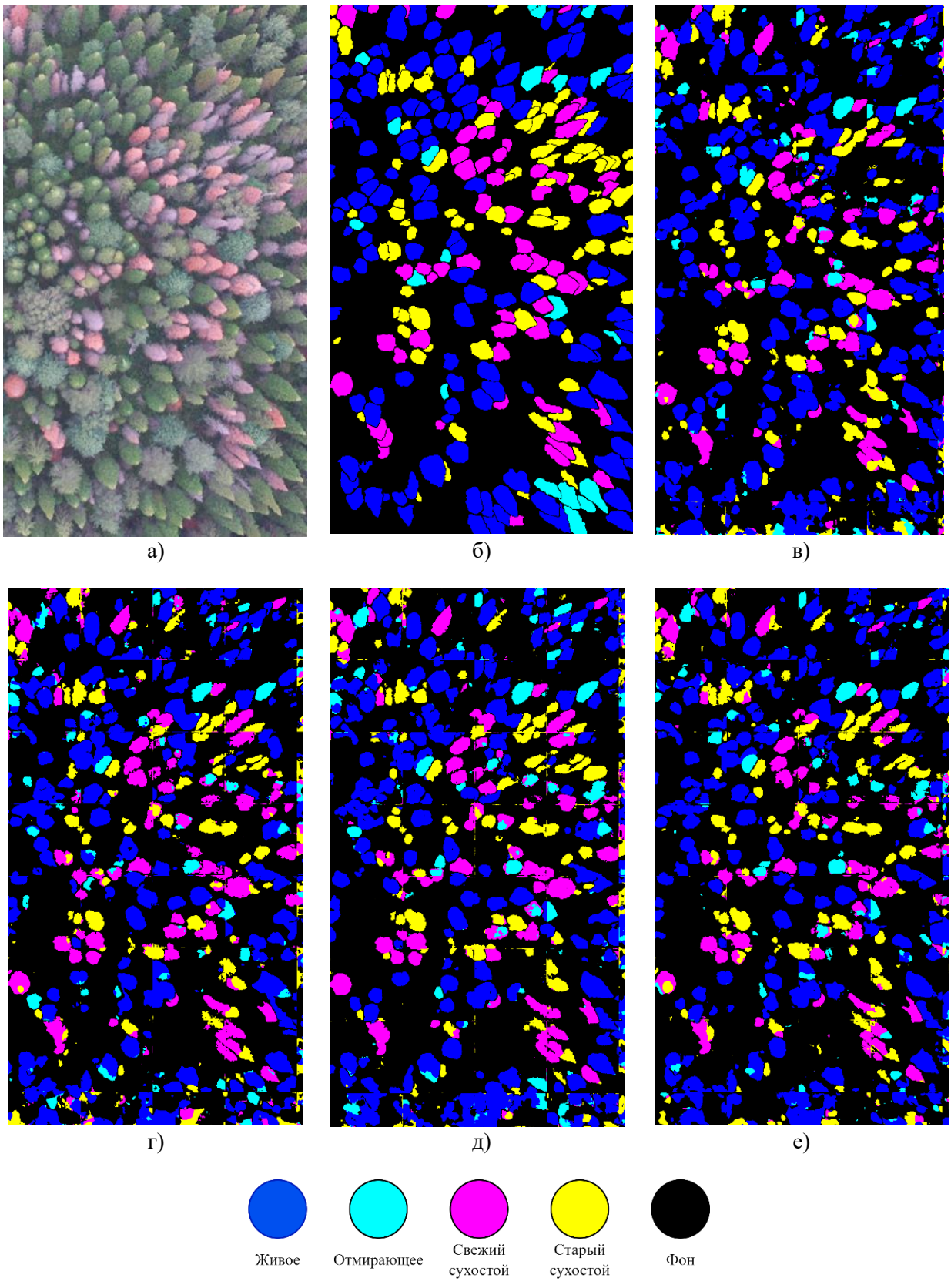


Рис. 3. Сегментация тестового изображения моделью Mo-U-Net:
а) исходные данные, б) эталонная разметка экспертом, в) случай отсутствия импульсных помех в датасете, г) случай импульсных помех на обучающих фрагментах,
д) случай импульсных помех на обучающих и валидационных фрагментах,
е) случай импульсных помех на всех трёх выборках датасета

Заключение

Проведено исследование модели СНС Mo-U-Net с РФП Хьюбера при решении задачи мультиклассификации зашумленных импульсными помехами изображений деревьев пихты. Показано, что зашумление фрагментов любой из выборок датасетов приводит к необходимости определения квазиоптимального значения коэффициента β РФП Хьюбера. В случае отсутствия импульсных помех на фрагментах деревьев пихты в датасете модель Mo-U-Net обеспечивает максимально возможное качество сегментации изображений деревьев пихты.

Установлено, что использование РФП Хьюбера обеспечивает небольшое и плавное снижение устойчивости модели Mo-U-Net при увеличении числа выборок с зашумленными фрагментами. Это позволяет рекомендовать к применению РФП Хьюбера при обучении модели Mo-U-Net для решения задач мультиклассификации изображений с импульсными помехами.

Список использованных источников

1. Шагалиев Р.Д. Идентификация сухостойных деревьев с помощью искусственного интеллекта на основе данных дистанционного зондирования Земли / Р.Д. Шагалиев, Е.А. Богдан, А.Ф. Галямов, Л.Н. Белан, О.И. Ишкинина, Г.Г. Валиев // Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле». – 2024. – № 4. С. 138-149. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-138-149

2. Safonova A. et al. Detection of fir trees (Abies sibirica) damaged by the bark beetle in unmanned aerial vehicle images with deep learning //Remote sensing. – 2019. – Т. 11. – №. 6. – С. 643.

3. Керчев И. А., Маслов К. А., Марков Н. Г., Токарева О. С. Семантическая сегментация поврежденных деревьев пихты на снимках с беспилотных летательных аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 1. С. 116-126.

4. Сивак М. А. Робастное обучение нейронных сетей с простой архитектурой для решения задач классификации: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.13.17. – Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, 2022. – 117 с.

5. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical image computing and computer-assisted intervention–MICCAI 2015: 18th international conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III 18. – Springer international publishing, 2015. – С. 234-241.

6. Марков Н.Г., Мачука К. Модели и методы глубокого обучения для решения задач дистанционного мониторинга лесных ресурсов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 6. – С. 55–74. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4600

7. Gupta D., Hazarika B. B., Berlin M. Robust regularized extreme learning machine with asymmetric Huber loss function //Neural Computing and Applications. – 2020. – Т. 32. – №. 16. – С. 12971-12998.

8. Balasundaram S., Prasad S. C. Robust twin support vector regression based on Huber loss function // Neural Computing and Applications. – 2020. – Т. 32. – №. 15. – С. 11285-11309.

9. Wang Y., Hu S., Wu S. Object tracking based on huber loss function //The Visual Computer. – 2019. – Т. 35. – С. 1641-1654.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПОРАЖЕННЫХ ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ НА СНИМКАХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С МЕХАНИЗМОМ ВНИМАНИЯ

Мачука М.К.Р.
Томский политехнический университет, ИШИТР, аспирант, гр. А2-36,
e-mail: kristianrodrigo1@tpu.ru

Аннотация

Работа посвящена оценке состояния здоровья деревьев пихты *Abies sibirica*, поврежденных уссурийским полиграфом, на снимках высокого разрешения с беспилотных летательных аппаратов с использованием нейронных сетей. Показано, что предложенная модель At-Mo-U-Net с механизмом внимания обеспечивает высокую точность классификации поврежденных деревьев пихты на снимках.

Ключевые слова: мониторинг хвойных лесов, семантическая сегментация снимков деревьев пихты, сверточная нейронная сеть с механизмом внимания

Введение

Современные методы дистанционного мониторинга лесов играют ключевую роль в своевременном выявлении патологических изменений древесных насаждений. Особую актуальность эта задача приобретает при массовом поражении хвойных деревьев насекомыми-вредителями. Например, уссурийским полиграфом *Polygraphus proximus* (далее – *P. Proximus*) поражаются деревья пихты *Abies sibirica (*далее – *A. Sibirica)*, что наносит значительный ущерб пихтовым лесам [1].

Традиционные методы оценки состояния лесов требуют значительных временных и трудовых затрат, в то время как использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с высокоточными камерами позволяет оперативно получать детальные снимки лесных массивов. Однако интерпретация таких данных вручную остается трудоемкой задачей, что обуславливает необходимость разработки автоматизированных методов анализа таких снимков. В данном контексте особый интерес представляют сверточные нейронные сети (СНС), способные выделять значимые признаки крон деревьев на изображениях и весьма точно классифицировать степень повреждения деревьев.

В данной работе предложена гибридная модель At-Mo-U-Net, разработанная на основе классической модели полносверточной нейронной сети U-Net [2] с добавлением блока механизма внимания [3] Целью исследования является оценка возможностей модели At-Mo-U-Net при классификации состояния здоровья (степени повреждения) деревьев пихты *A. sibirica* на снимках высокого разрешения, полученных с БПЛА.

Исходные данные для проведения исследований

Съемка проводилась в Томской области, преимущественно в районе деревни Парбиг Бакчарского района. Основным объектом изучения стали насаждения пихты *A. sibirica*, поврежденные уссурийским полиграфом *P. proximus*.

Для оценки состояния деревьев было собрано пять панорам с разрешением около 0.1 м, полученных с помощью БПЛА DJI Phantom 3 Standart. Съемка проводилась в видимом диапазоне (RGB) с высот 365-388 м в период с 7 по 28 августа 2017 года. Полученные панорамы имели следующие размеры (в пикселях):

- Панорама A: 1046×1912×3
- Панорама B: 1536×1048×3
- Панорама C: 1536×768×3
- Панорама D: 768×1792×3
- Панорама E: 1046×1912×3 (использовалась для тестирования моделей)

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН разработал шкалу оценки состояния здоровья деревьев пихты *A. sibirica*, включающую 4 класса (рис. 1):

- Живое (рис. 1(а)) - Здоровые деревья, хвоя зеленая.
- Отмирающее (рис. 1(б))- Кроны могут быть как у здоровых деревьев, но более половины ветвей несут усыхающую хвою или хвоя в верхней части кроны еще зеленая, а ниже на ветках хвоя рыжего цвета. Возможно наличие усыхающих ветвей в верхней части кроны.
- Свежий сухостой (рис. 1(в)) - Хвоя кроны мертвая, красная, частично осыпавшаяся. Густота кроны составляет только часть от кроны живого дерева, наличие усохших ветвей по всей кроне. Дерево погибло менее года назад.
- Старый сухостой (рис. 1(г)) - Крона мертвая, серая, часто хвоя полностью осыпалась. Дерево погибло несколько лет назад.
- Фон -другие виды деревьев и иные объекты поверхности Земли.

(а) (б) (в) (г)

Рис. 1. Примеры состояния здоровья деревьев пихты A. sibirica: (а) Живое. (б) Отмирающие. (в) Свежий сухостой. (г) Старый сухостой.

Подготовка датасетов

Процесс разметки полученных панорам выполнялся с использованием графического редактора GIMP. На первом этапе эксперт присваивал числовые метки деревьям пихты *A. sibirica* на изображениях с БПЛА, отражающие их состояние здоровья. Затем другой специалист на основе этих меток создавал цветные маски сегментации, где каждый класс повреждений деревьев имел свое цветовое обозначение. Этот процесс позволил получить точные маски, разделяющие деревья на четыре категории состояния здоровья и фон [4].

Для формирования датасетов были отобраны четыре панорамных изображения для обучения и валидации, а также одна отдельная панорама для тестирования. Изображения и соответствующие маски сегментации были разделены на фрагменты размером 256×256×3 пикселей с перекрытием в 128 пикселей. Чтобы исключить дублирование признаков между обучающими и валидационными выборками, применялись булевы маски к исходным изображениям. Дополнительно для увеличения объема данных использовалась аугментация, включающая повороты изображений под различными углами. В результате был создан первый датасет, содержащий 2004 обучающих фрагмента, 672 валидационных и 96 тестовых.

Параллельно был подготовлен второй датасет с фрагментами большего размера - 480×480×3 пикселей. В этом случае перекрытие между соседними фрагментами составляло 240 пикселей. Данный датасет включал 502 обучающих образца, 180 валидационных и 24 тестовых фрагмента.

Анализ распределения деревьев по классам в исходных изображениях выявил существенный дисбаланс: классы «Отмирающее» (80 экземпляров) и «Свежий сухостой» (274 экземпляра) были представлены значительно меньше, чем «Живое» (574) и «Старый

сухостой» (491). Для компенсации этого дисбаланса в процессе обучения применялась аугментация данных «на лету», включавшая масштабирование, эластичные деформации, коррекцию яркости и контраста, а также вертикальные отражения изображений. Эти методы позволили увеличить разнообразие обучающей выборки и улучшить качество обучения моделей.

Предложенная гибридная модель At–Mo-U-Net

Гибридная модель, названная At-Mo-U-Net, – это усовершенствованная модель СНС на основе классической полносверточной модели U-Net [2]. Гибридная модель сочетает структурные модификации классической модели U-Net с механизмом пространственного внимания (рис. 2), что позволяет добиться более точного выделения значимых признаков объектов на снимках высокого разрешения. Гибридная модель разработана для решения задач семантической сегментации снимков хвойных деревьев, в частности, для оценки на снимках состояния здоровья пораженных уссурийским полиграфом *P. proximus* деревьев пихты *A. Sibirica.*

Модель At-Mo-U-Net имеет несколько принципиальных отличий от классической модели U-Net. Во-первых, входные данные обрабатываются в виде RGB-изображений размером 256×256×3 или 480×480×3 пикселей, тогда как модель U-Net разрабатывалась для работы с биомедицинскими изображениями в градациях серого. Во-вторых, в модели At-Mo-U-Net реализован принцип сохранения пространственной информации - в отличие от классической U-Net, где каждый сверточный блок уменьшает размер карт признаков, а операции пулинга вдвое снижают разрешение, здесь применяются свертки без уменьшения размерности, что позволяет сохранить больше деталей изображения.

Особое внимание уделено архитектуре пропускных соединений (skip connections). Если в оригинальной U-Net для согласования размеров используются обрезанные (cropped) карты признаков, то в модели At-Mo-U-Net обрезка не применяется - вместо этого для выравнивания размеров используется комбинация интерполяции и конкатенации.

Существенные изменения внесены в процесс нормализации и активации. После каждого слоя активации добавлена пакетная нормализация, что значительно ускоряет процесс обучения модели. Кроме того, традиционная функция активации ReLU заменена на экспоненциальную линейную единицу (ELU) [5], которая благодаря плавной обработке отрицательных значений улучшает сходимость модели. На выходном слое применяются свертки 1×1 с количеством фильтров, соответствующим числу классов классификации (включая фоновый класс).

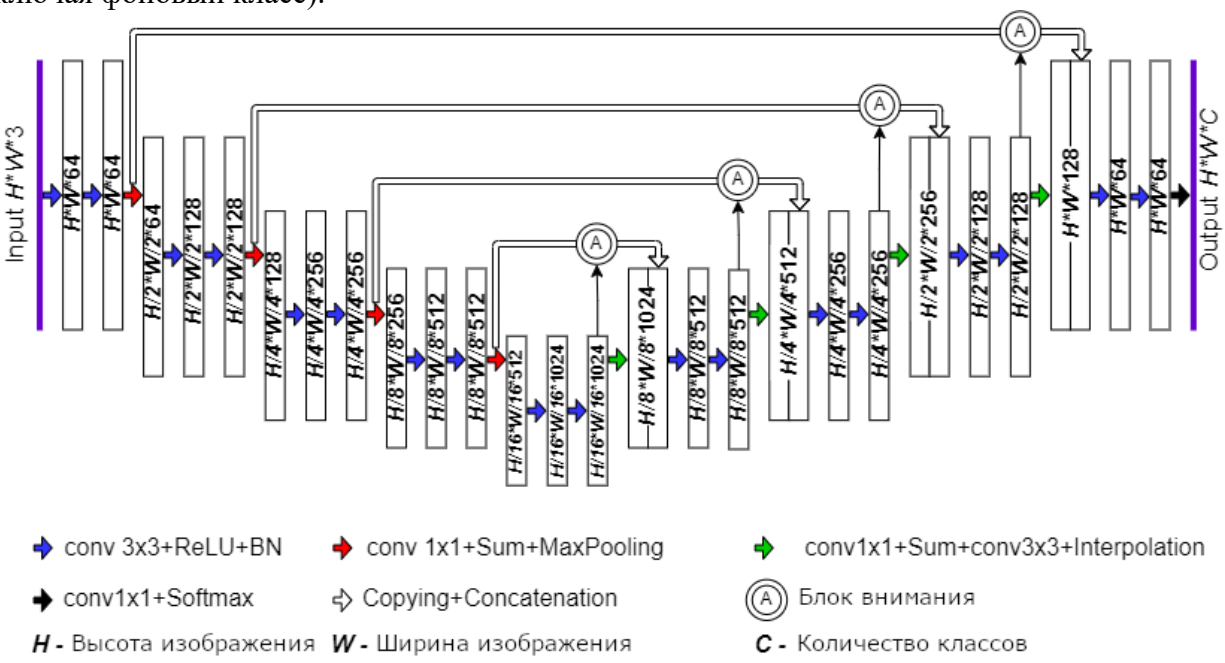


Рис. 2. Архитектура модели At-Mo-U-Net.

Главным инновационным элементом гибридной модели являются блоки внимания, интегрированные как в энкодер, так и в декодер базовой модели U-Net. Эти блоки позволяют сети автоматически выделять наиболее значимые области изображения (например, поврежденные участки крон деревьев пихты *A. sibirica*) и эффективно игнорировать шумовые компоненты. Механизм внимания работает по принципу динамического перевзвешивания значимости различных участков изображения, что существенно повышает точность сегментации по сравнению с точностью в случае применения модели U-Net.

Механизм внимания в модели At-Mo-U-Net реализован через три ключевых этапа обработки данных. На первом этапе – этапе вычисления весов внимания – на вход специального слоя поступают карты признаков, полученные либо из энкодера, либо из предыдущих слоев модели. Этот слой, представляющий собой комбинацию сверточной операции и сигмоидной функции активации, генерирует матрицу весовых коэффициентов в диапазоне от 0 до 1, где значения, близкие к 1, указывают на наиболее значимые области изображения, требующие повышенного внимания модели.

На втором этапе происходит перевзвешивание признаков: исходные карты признаков поэлементно умножаются на полученную матрицу весов. Эта операция позволяет усилить релевантные участки изображения и одновременно подавить малозначимые или шумовые компоненты. В результате формируются уточненные карты признаков, где важные для решения задачи области визуально выделены.

Третий этап – слияние с картами декодера – обеспечивает точное восстановление пространственной структуры объектов. Уточненные карты признаков объединяются (конкатенируются) с соответствующими картами из декодера, что особенно важно для корректного восстановления границ сегментируемых объектов и сохранения мелких деталей изображения.

Обучение модели At-Mo-U-Net

В процессе обучения применялась стратегия, направленная на достижение максимальной точности при работе с несбалансированными классами степени повреждения (состояния здоровья) деревьев пихты *A. sibirica*. В качестве функции потерь использовалась *Focal Loss*, которая эффективно справляется с неравномерным распределением классов, а для оптимизации весов модели был выбран алгоритм Adam.

Для предотвращения переобучения в процесс обучения был встроен механизм ранней остановки – обучение прекращалось, если в течение 11 последовательных эпох не наблюдалось улучшения показателей на валидационных выборках.

Эффективность модели оценивалась с помощью метрики Intersection over Union (IoUc) для каждого класса повреждений и средней величины mIoU, вычисляемой как усредненное значение IoUc по всем классам. Значения IoUc и mIoU, превышающие 0.5, свидетельствуют о высоком качестве сегментации снимков, достаточном для практического применения при решении лесопатологических задач в лесной отрасли.

Результаты исследования модели At-Mo-U-Net и их обсуждение

На рисунке 3 представлены визуальные результаты обученной модели At-Mo-U-Net при решении задачи семантической сегментации снимков пораженных деревьев пихты *A. sibirica*. Исследование проводилось на тестовой выборке с размерами фрагментов 256×256×3 пикселей из первого датасета. Показано, что модель успешно определяет границы крон деревьев и правильно классифицируют значительную часть крон, даже где кроны деревьев частично перекрываются или имеют неоднородную структуру.

Аналогичные визуальные результаты были получены при тестировании этой модели на тестовой выборке второго датасета с увеличенным размером фрагментов 480×480×3 пикселей (рис. 4). В этом случае модель At-Mo-U-Net также показала высокую точность классификации степени повреждения (состояния здоровья) деревьев пихты.

Количественные результаты этих экспериментов показаны в таблице 1 и таблице 2. Сюда же внесены результаты исследований базовой модели U-Net, полученные с использованием этих же двух датасетов. Эти результаты для разных классов деревьев демонстрируют преимущества модели At-Mo-U-Net по сравнению с моделью U-Net при оценке состояния здоровья пораженных деревьев. Анализ результатов для фрагментов размером 256×256×3 пикселей в таблице 1 показывает, что модель At-Mo-U-Net достигает более высоких показателей точности по большинству классов деревьев. Особенно заметно преимущество ее при сегментации деревьев класса «Отмирающее», когда разница по метрике IoUc составляет 0.51 против 0.45 у модели U-Net.

Из таблицы 2 следует, что при увеличении размера фрагментов до 480×480×3 пикселей преимущества модели At-Mo-U-Net сохраняются и даже усиливаются. Модель демонстрирует по сравнению с моделью U-Net улучшенные показатели для всех классов, особенно для класса «Отмирающее» (0.52 против 0.46) и класса «Живое» (0.76 против 0.73).

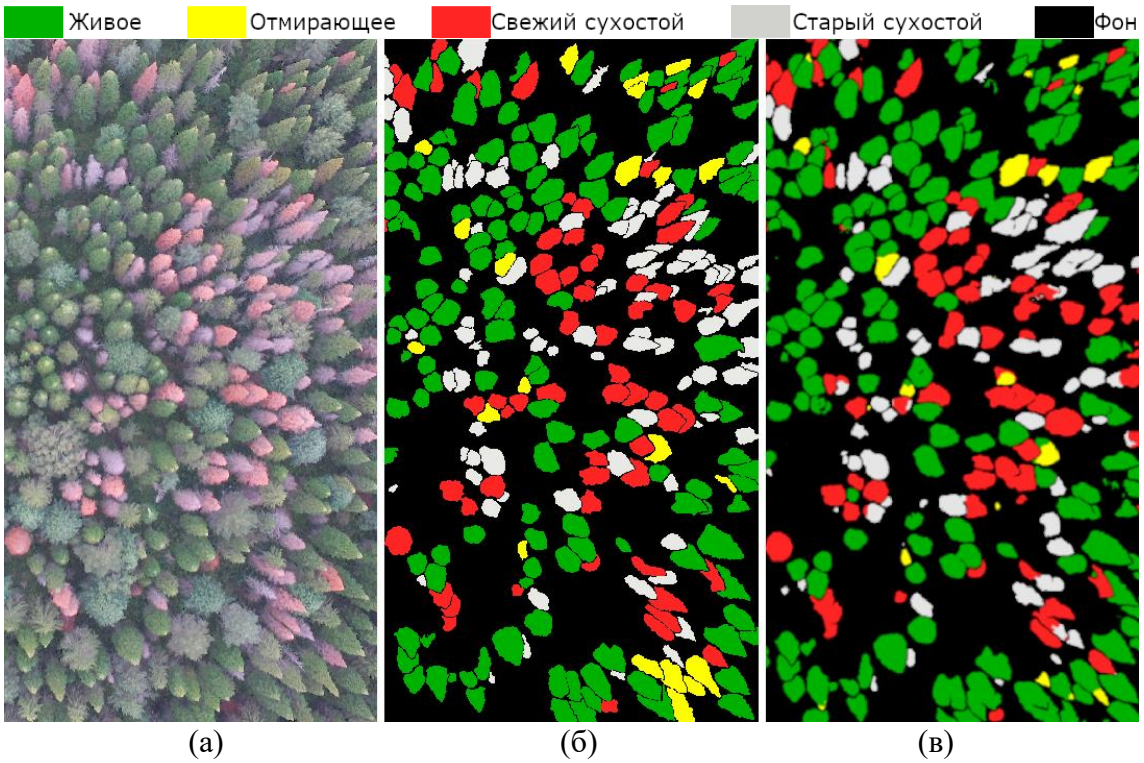
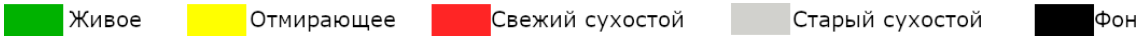
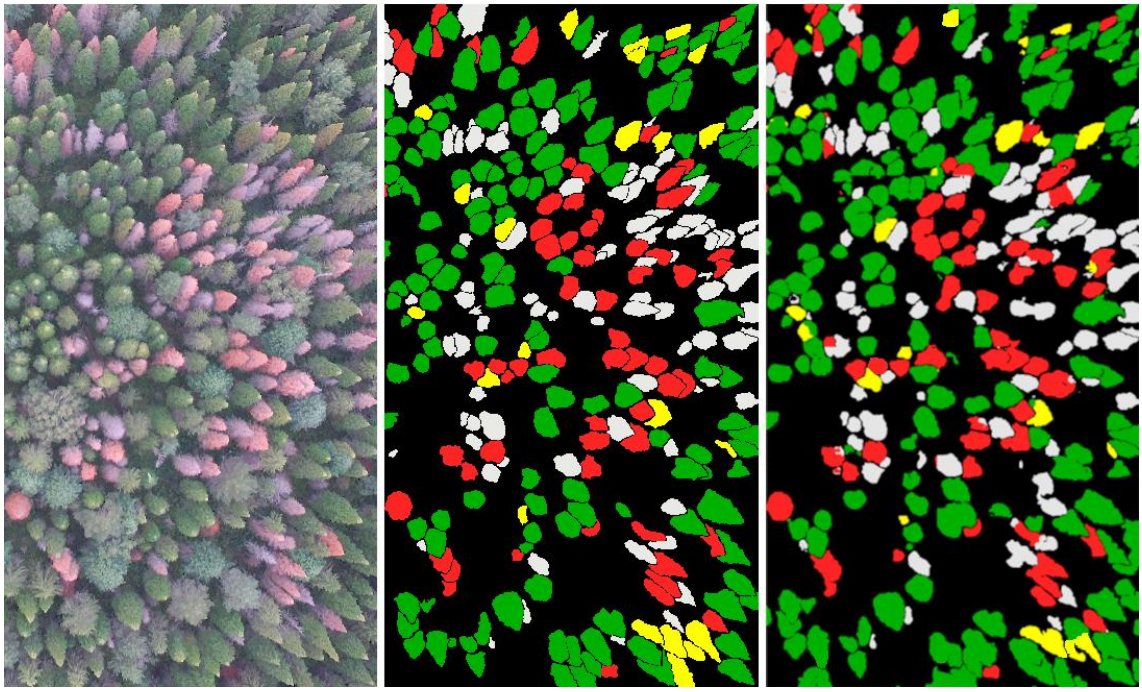


Рис. 3. Результаты семантической сегментации снимка тестового участка A. sibirica с использованием фрагментов размером 256x256x3 пикселей: a – снимок тестового участка, b – эталонная маска сегментации, c – использование модели At-Mo-U-Net.





(а) (б) (в)

Рис. 3. Результаты семантической сегментации снимка тестового участка A. sibirica с использованием фрагментов размером 480x480x3 пикселей: (a) Снимок тестового участка. (b) Эталонная маска сегментации. (c) Использование модели At-Mo-U-Net.

Таблица 1. Качество семантической сегментации моделей, обученных и протестированных с использованием фрагментов снимков деревьев пихты A. sibirica размером 256x256x3 пикселей.

Модель	**IoUc**					**mIoU**
	Фон	**Живое**	**Отмирающее**	**Свежий сухостой**	**Старый сухостой**	
U-Net	0.87	0.73	0.45	0.79	0.68	0.70
At-Mo-U-Net	0.86	0.74	0.51	0.79	0.68	0.72

Таблица 2. Качество семантической сегментации моделей, обученных и протестированных с использованием фрагментов снимков деревьев пихты A. sibirica размером 480x480x3 пикселей.

Модель	**IoUc**					**mIoU**
	Фон	**Живое**	**Отмирающее**	**Свежий сухостой**	**Старый сухостой**	
U-Net	0.87	0.73	0.46	0.79	0.69	0.71
At-Mo-U-Net	0.86	0.76	0.52	0.80	0.70	0.73

Заключение

Результаты исследования, проведенные с использованием созданных двух датасетов, убедительно доказывают эффективность разработанной гибридной модели At-Mo-U-Net. Введение механизма внимания в базовую модель U-Net позволило добиться стабильного улучшения качества сегментации на 2-3% по метрике mIoU по сравнению с моделью U-Net для обоих размеров фрагментов. Наибольший выигрыш наблюдается для наиболее сложного промежуточного класса деревьев пихты, такого как «Отмирающее», когда разница по метрике IoUc достигает 13%. При этом модель сохраняет все преимущества базовой модели U-Net при классификации простых классов деревьев и фона. Полученные результаты особенно важны для практического применения при решении задач лесопатологического мониторинга, когда

точная идентификация состояния здоровья каждого дерева имеет критическое значение на пораженном участке пихтового леса. Преимущества модели At-Mo-U-Net открывают перспективы для ее использования при анализе снимков высокого и сверхвысогого разрешения.

Список использованных источников

1. Chang W.Y., Lantz V.A., Hennigar C.R., MacLean D.A. Economic impacts of forest pests: a case study of spruce budworm outbreaks and control in New Brunswick, Canada // Canadian Journal of Forest Research. – 2012. – Т. 42. – С. 490–505. DOI: 10.1139/x11-190.

2. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. – 2015. – Т. 9351. DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.

3. Vaswani A. Attention is All you Need / A. Vaswani, N.M. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A.N. Gomez, L. Kaiser, I. Polosukhin // Neural Information Processing Systems. – 2017.

4. Керчев И.А. Семантическая сегментация поврежденных деревьев пихты на снимках с беспилотных летательных аппаратов / И.А. Керчев, К.А. Маслов, Н.Г. Марков, О.С. Токарева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18. – № 1. – С. 116–126. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-116-126.

5. Clevert D.A., Unterthiner T., Hochreiter S. Fast and accurate deep network learning by Exponential Linear Units (ELUs) // arXiv preprint arXiv:1511.07289. – 2015.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АССИСТЕНТ ДЛЯ ОНЛАЙН-ОБРАЗОВАНИЯ

Брехова А.Г.
Научный руководитель: Брагин А.Д.
Студент НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8К11, annbekhova@tpu.ru
Ст. преподаватель НИ ТПУ, ИШИТР, bragin@tpu.ru

Аннотация

Работа посвящена разработке чат-бота с искусственным интеллектом для онлайн-образования. Задача бота – оказывать консультационную поддержку студентам, объяснять материалы курса и вести беседу об учебе.

Внедрение такой технологии может снизить рутинную нагрузку на преподавателей, а также повысить вовлеченность обучающихся в образовательный процесс.

Ключевые слова: искусственный интеллект, чат-бот, языковая модель, онлайн-образование, промпт, Giga-Chat, RAG.

Введение

Технологии нейросетей стремительно развиваются и привносят новое каждый день в разные сферы нашей жизни. Образовательная – не исключение. С появлением чата GPT и других генеративных технологий, многие студенты и преподаватели стали обращаться за помощью к искусственному интеллекту (далее – ИИ).

Запретить использование данных технологий было бы невозможно, и в целом, тормозило бы общую систему образования. Поэтому одним из способов решения проблемы может служить создание собственных чат-ботов, которые бы помогали с учебой, при этом не решая задачи за студентов. Такие чат-боты будут наталкивать студентов на правильный ход мысли, обеспечивая консультационную поддержку в круглосуточном режиме.

Стоит также искать плюсы в работе онлайн-консультанта и для преподавателей: помимо снижения нагрузки, чат-бот отлично справляется с созданием планов на урок, составления новых заданий для студентов и сбором обратной связи. Об этом пишут многие статьи и созданы уже прототипы таких ботов от компаний Yandex и Сбер [1-4].

Технология создания генеративного ИИ

Чат-бот с ИИ состоит из 2-х главных элементов: языковой модели, которая работает в качестве словаря или «переводчика» с естественного языка на язык модели, и системного промпта – базовой настройки, которая дает направление работы для языковой модели.

Существует подход к написанию промптов, который можно описать как «добрый и злой полицейский». Чат-боту дается два вида системных промптов, один из которых описывает то, как нужно отвечать собеседнику, а другой – то, как отвечать нельзя. Таким образом, создаются некоторые рамки для вариативности, за которые чат-бот заходить не должен.

Вот пример использования таких промптов на модели Llama 3.1:

Таблица 1. Пример использования системных промптов для языковой модели

Начало:	Позитивный промпт	Негативный промпт
«Ты – дружелюбный ассистент. Если студент пишет: «напиши функцию на Python», или «реши математическую задачу», то твой ответ: …	«… ответ должен быть таким: «Извините, я не могу предоставить Вам решенную задачу. Однако я могу дать подсказку к тому, чтобы ее решить…»»	«… и не должен быть таким: «Конечно! Вот готовое решение: <приведенное решение>»»

RAG – генерация ответов с дополненной выборкой

Так как обучать собственную языковую модель для каждого курса сложно и экономически не целесообразно, в качестве основы для чат-бота можно использовать подход, известный, как RAG – Retrieved Augmented Generation – технология, которая позволяет нейросети работать с дополнительными источниками информации [5]. При таком подходе знания чат-бота распределяются на два элемента: языковая модель, и базы данных, в которой хранятся вспомогательные материалы, относящиеся к курсу.

В качестве дополнительных источников могут служить лекции, видеоматериалы, текстовые файлы. Специальная библиотека преобразует их в векторное хранилище, своеобразный «словарь-энциклопедию» для языковой модели, откуда потом она берет всю информацию, необходимую для генерации ответа пользователю.

Наш чат-бот был создан с целью «упростить» взаимодействие студентов с электронными курсами (далее – ЭК), сделав обучение более интерактивным и понятным в освоении. Таким образом, нужен был инструмент, который не только бы отвечал на вопросы студентов осмысленно, но и разбирался в тонкостях определенного ЭК, был знаком с его материалами и безошибочно мог давать советы по теории. Это и возможно осуществить с применением технологии RAG.

Алгоритм работы чат-бота с ИИ и RAG выглядит следующим образом:

1. Преподаватель создает свод документов, в котором будет храниться материал курса
2. Вся информация помещается в определенный «склад», где потом она «оцифровывается» и создаются эмбеддинги.
3. Студент задает вопрос.
4. Языковая модель ищет ответ в векторном хранилище, если она его не находит – генерируется общий ответ, исходя из знаний самой языковой модели.

Схему работы алгоритма можно увидеть на рис. 1:

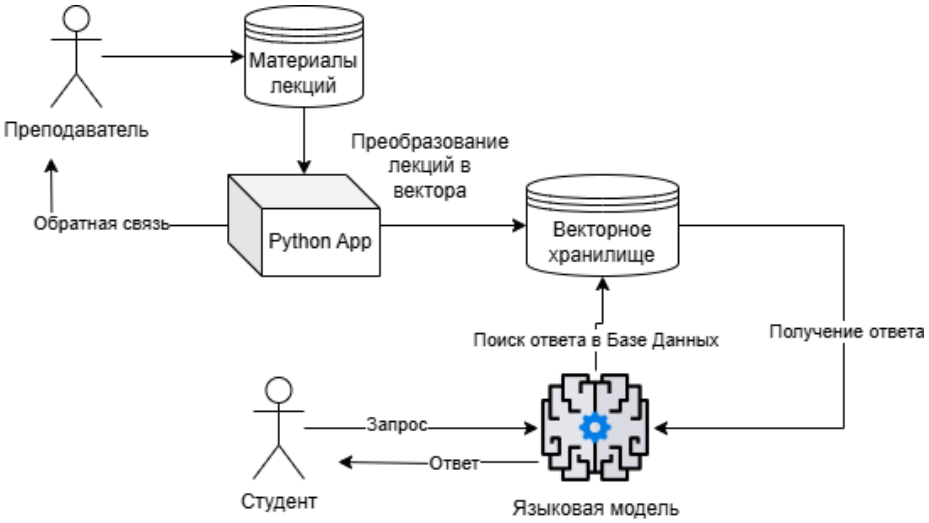


Рис.1. Схема работы чат-бота

Выбор и конфигурация языковой модели

При создании собственного чат-бота с ИИ для онлайн-курсов, мы руководствовались опытом ведущих компаний в сфере разработки генеративных технологий, такие как Yandex и их чат-бот из Яндекс Практикум, Сбер и Гига-чат, а также использованием технологий с открытым исходным кодом от Hugging Face и Ollama [6, 7].

Для написания чат-бота «с 0» требуется выбрать языковую модель и способ ее применения в программе: либо загрузка на ПК локально, либо использование API от уже существующих чат-ботов, таких как, например, Гига-чат [8]. Второй способ значительно

снижает нагрузку на сервер, т.к. все запросы посылаются к компании-продавцу, но также и требует денежных средств на аренду сервиса. Решено было сделать оба варианта с целью ознакомления. Первый – с использованием Гига-чата API от Сбера, и второй – скачивание опенсорсной модели Llama3.1. В качестве векторного хранилища использовалась FAISS - библиотека для эффективного поиска сходства и кластеризации в векторном пространстве.

Результаты

В качестве результатов предлагаем ознакомиться с несколькими вырезками из диалога студента с нашим чат-ботом. В него уже предварительно загружен курс лекций «Основы программирования на Python» в виде текстовых материалов и календарный план занятий.

Таблица 2. Диалог студента и чат-бота

Реплики студента	Ответ Чат-бота
«О чем этот курс?»	«Этот курс посвящен основам языка программирования **Python**. В нем рассматриваются базовые возможности языка, такие как работа с переменными, условные операторы, циклы, функции и основные структуры данных. Вы научитесь <…> писать программы.»
«Я забыл, в какой лекции мы рассматривали обработку исключений»	«Обработка исключений была рассмотрена в **лекции 4** вместе с другими темами, такими как ошибки, исключения и функции.»
«Что ты умеешь делать?»	«Я могу **помочь** вам с изучением языка программирования Python, **объяснить** сложные концепции, предложить решения задач и **ответить** на вопросы, которые могут возникнуть в процессе обучения.»
«Реши эту задачу на Python: написать функцию факториала»	*Приводит код для вычисления факториала на Python*
«Опиши своими словами материал 8-й лекции»	«В восьмой лекции мы погружаемся в работу с внешними библиотеками в Python. Внешние библиотеки – это наборы готовых функций и классов, которые можно использовать в своем коде для расширения возможностей языка.»
«Напиши функцию рекурсии»	«Хорошая тема! Но, как вы знаете, я не могу просто дать вам готовую функцию. Однако, я могу подсказать, что для реализации рекурсивной функции часто используется цикл или условие выхода из рекурсии. Например, вы можете использовать цикл while или if-else для определения условия завершения рекурсии.»

Вот некоторые статистические данные, которые были вычислены путем неоднократных запусков чат-бота:

- 9/10 ответов чат-ботов соответствуют заданному вопросу (вопрос правильно понят).
- 10/10 соответствующих запросу ответов – правильные.

• 5/10 ответов чат-бота от Гига-чат не дают прямой ответ студенту, если тот просит решить конкретную задачу.

• 9/10 ответов от Ollama не дают прямого ответа на ответ.

• 2/10 ответов Ollama имеют грамматические ошибки, в целом не влияющие на главный смысл ответа. Тот же параметр для Гига-чата – 0/10.

Заключение

Чат-боты – хороший способ уменьшить общую нагрузку на персонал, ввести пользователя в курс дела и в целом, обеспечить поддержку студентам на уровне прохождения материала. Чат-бот с ИИ, в отличие от простого чат-бота, сможет не только выполнять шаблонные сценарии, но и вести себя как полноценный собеседник, который также владеет экспертными данными в нужных областях и электронных курсах.

Данная технология находится в стадии разработки, однако на этапе чат-ботов она показывает себя с наиболее эффективной стороны, и все больше и больше находит применение в разных сферах, например, образование, продажи, программирование.

Наша цель – внедрить чат-бота в электронный курс так, чтобы он помогал в учебе и знакомил пользователя с миром искусственного интеллекта.

Список использованной литературы

1. 9 способов применения чат-ботов в образовании в 2024 году: тренды // Retail.ru: сайт. – 2023. – [Электронный ресурс]. – URL: retail.ru/rbc/pressreleases/9-sposobov-primeneniya-chat-botov-v-obrazovanii-v-2024-godu-trendy/ (дата обращения: 20.03.2025).

2. Запросы для ИИ-учебника // Яндекс учебник: сервис. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: education.yandex.ru/uchebnik/project/ii#zaprosy-dlya-ii-uchebnika (дата обращения: 20.03.2025).

3. Блог OpenAI: Преподавания с искуственным интеллектом. Текст: электронный – URL: https://openai.com/index/teaching-with-ai/ (дата обращения: 01.01.2025)

4. Искусственный интеллект и высшее образование: возможности, практики и будущее // ООО «Яндекс», [2024] – URL: education.yandex.ru/aihighreport (дата обращения: 01.10.2025)

5. RAG (Retrieval Augmented Generation) – простое и понятное объяснение // Электронный журнал Хабр – URL: habr.com/ru/articles/779526/ (дата обращения 11.01.2025)

6. Hugging face // Хранилище моделей с открытым исходным кодом: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: https://huggingface.co/ (дата обращения: 20.03.2025).

7. Ollama // Опенсорсное хранилище языковых моделей: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: ollama.com/download (дата обращения: 20.03.2025).

8. Гига чат // Чат-бот с ИИ: сайт. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: giga.chat (дата обращения: 20.03.2025).

КЛАССИФИКАЦИЯ И ДЕТЕКЦИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Эсенбеков Э.[1]
Научный руководитель: Фролов О.Ю.[2]
[1]*НИ ТГУ, ФТФ, гр. 102101, студент, y0ooperesete@yandex.ru*
[2]*НИ ТГУ, ФТФ, доцент каф. автоматизации технологических процессов*

Аннотация
Работа посвящена задачам классификации и детекции изображений фруктов и овощей на изображении. Задачи решались с применением свёрточных нейронных сетей. Для решения задачи классификации применялись модели ResNet50, ResNet152, а для задачи детекции – модель YOLO12n. Перед обучением моделей были произведены аугментация и разметка данных, далее была проведена проверка предсказаний моделей на реальных фотографиях.
Ключевые слова: гидропоника, классификация, детекция, свёрточные нейронные сети.

Введение

На сегодняшний день одной из глобальных проблем является нехватка продовольствия. Данная проблема вызвана ростом населения, нехваткой ресурсов и рабочей силы. Быстрый рост населения стимулирует всё больший спрос на продовольствие, что, в свою очередь, влечёт за собой требования максимального увеличения скорости производства продуктов с существующих сельскохозяйственных угодий. Такие факторы, как нехватка плодородной земли для выращивания сельскохозяйственных продуктов, засуха, нехватка рабочей силы, а также требования постоянного наблюдения ещё больше усложняют ситуацию.

Одним из решений данной проблемы является гидропоника. В этом способе выращивания растений отсутствует необходимость в почве, так как растения получают питательные элементы через питательный раствор, а также для этого не требуется большого земельного участка, так как способ предполагает выращивание растений в гидропонных теплицах. Преимущества гидропоники на этом не заканчиваются – как и любой технологический процесс, в гидропонную систему можно внедрить систему автоматизации, что исключает необходимость постоянного присутствия человека, а также делает возможным непрерывную работу.

В зарубежных исследованиях на эту тему [2-8] всё чаще прибегают к использованию искусственных нейронных сетей для мониторинга процесса созревания, выявления патологий и болезней растений. Благодаря этому нет необходимости в постоянном присутствии человека на месте выращивания.

Целью работы стало создание и сравнение моделей свёрточных нейронных сетей, обученных классифицировать и детектировать спелые и созревшие растения.

Методология исследования

Система мониторинга состояния растений, предполагающую наличие искусственных нейронных сетей, представляет собой камеру, установленную в теплице, для слежения за состоянием растений. Изображение с камеры подаётся на вход заранее обученной свёрточной нейронной сети и, если поставлена задача классификации, нейросеть предсказывает класс объекта на изображении или, если поставлена задача детекции, предсказывает класс объекта, а также координаты центра, высоту и ширину ограничивающей рамки. Требуется обучить свёрточную нейронную сеть распознавать и детектировать спелые плоды для дальнейшего сбора урожая.

Задача классификации. Существуют различные архитектуры моделей свёрточных нейронных сетей, предназначенных для решения задач классификации. В данной работе были

выбраны две модели архитектуры ResNet: ResNet50 и ResNet152. ResNet (Residual Neural Network) – это глубокая нейронная сеть, разработанная для решения проблемы затухания градиента. Она использует концепцию «skip connections» или «residual connections» для передачи информации непосредственно от одного слоя к другому, минуя промежуточные слои. Это позволяет обучать более глубокие сети с лучшей производительностью. Числа, которые присутствуют в названии моделей, отражают количество свёрточных слоёв.

Задача детекции. В данной работе для решения задачи детекции применяется модель YOLO12, использующая алгоритм YOLO (You Only Look Once). Алгоритм YOLO [9], предложенный в 2016 году, был первой попыткой сделать возможной детекцию объектов в реальном времени. YOLO12 представляет архитектуру, ориентированную на внимание, которая отличается от традиционных подходов на основе CNN (Convolutional Neural Network), использовавшихся в предыдущих моделях YOLO, но при этом сохраняет скорость вывода в реальном времени, необходимую для многих приложений. Эта модель достигает самой высокой точности обнаружения объектов благодаря новым методологическим инновациям в механизмах внимания и общей архитектуре сети, сохраняя при этом производительность в реальном времени.

Обучение моделей для классификации. После того, как были определены модели, можно было приступать к их обучению. Процесс обучения моделей проходил в облачном сервисе Google Colab, который предоставляет возможность производить вычисления на тензорном процессоре TPU. Для обучения моделей ResNet использовались наборы изображений [10] и [11] из открытого источника набора данных Kaggle. Обучение для каждой модели проводилось на каждом датасете по отдельности. Таким образом, для решения задачи классификации было проведено 4 эксперимента:

– обучение модели ResNet50 на первом наборе данных на 50 эпохах;
– обучение модели ResNet50 на втором наборе данных на 50 эпохах;
– обучение модели ResNet152 на первом наборе данных на 50 эпохах;
– обучение модели ResNet152 на втором наборе данных на 40 эпохах.

Отличие между датасетами заключается в количестве классов объектов и фотографий: в первом наборе 36 классов по 70-100 фотографий, из которых для обучения были выбраны 6 классов (банан, картофель, морковь, огурец, томат, яблоко); во втором 262 класса по 1000 фотографий, из которых были выбраны 12 классов (апельсин, арбуз, баклажан, банан, болгарский перец, киви, клубника, лайм, лимон, мандарин, томат, яблоко). К первому набору данных была применена аугментация, ввиду недостаточного количества фотографий.

Так как архитектура моделей построена так, что на выходе 1000 нейронов, а в экспериментах имеется 6 и 12 классов, количество выходов последнего полносвязного слоя моделей было уменьшено до 6 и 12 в первой и во второй парах экспериментов соответственно. Качество обученных моделей будет оцениваться метрикой Accuracy и функцией потерь кросс-энтропия.

Обучение модели YOLO12. Для обучения модели использовался набор изображений [12] из открытого источника набора данных Kaggle, из которого были выбраны два класса растений – огурцы и томаты. Перед обучением были размечены тренировочные и валидационные данные. Разметка данных производилась вручную с применением модуля HighGUI библиотеки OpenCV.

Процесс обучения модели YOLO12 также производился в Google Colab. Для работы с моделями YOLO была привлечена библиотека Ultralytics YOLO. В данном исследовании количество эпох было равно 50, а размер батча 32.

Качество модели будет оцениваться значениями метрик Precision, Recall, mAP50 и mAP50-95, а также функциями потерь, одна из которых измеряет правильность классификации, а другая измеряет насколько далеко предсказанные прямоугольники модели находятся от того, где на самом деле находятся объекты, используя метрику IoU (intersection over union).

Результаты

Задача классификации. По завершению процесса обучения моделей на первом наборе данных были получены и занесены в таблицу значения метрик (таблицы) и на основе этих данных построены графики метрик (рисунок 1).

Таблица 1. Результаты обучения моделей на первом наборе данных

Метрики	ResNet50	ResNet152
Accuracy на тренировке	0.973	0.960
Accuracy на валидации	0.946	0.959
Функция потерь на тренировке	0.202	0.215
Функция потерь на валидации	0.291	0.265

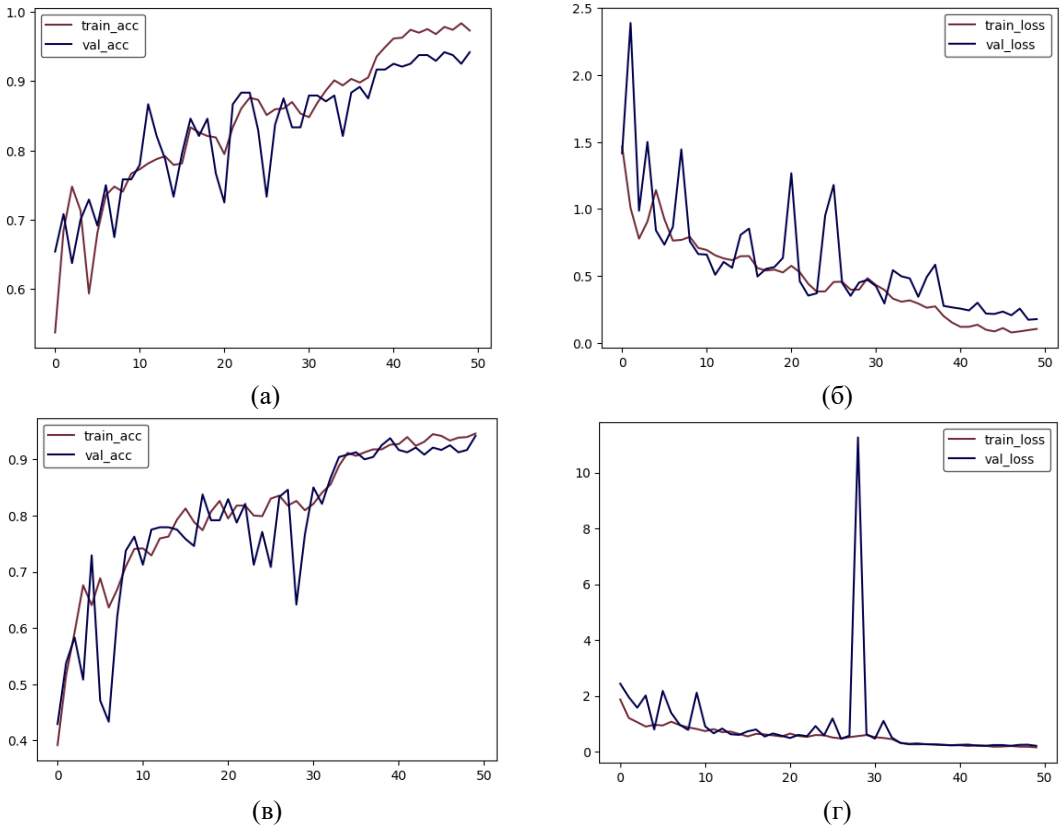


Рис. 1. Метрики Accuracy и функций потерь:
а – метрика Accuracy модели ResNet50, б – функция потерь модели ResNet50,
в – метрика Accuracy модели ResNet15, г – функция потерь модели ResNet152

У обеих моделей метрика Accuracy имеет очень хорошие значения, а функция потерь достигает приемлемых результатов. Обе метрики при валидации имеют колебания, которые к концу обучения начинают затухать.

В таблице 2 представлены метрики обученных на втором наборе данных моделей. На основании таблицы построены графики (рисунок 2).

Таблица 2. Результаты обучения моделей на втором наборе данных

Метрики	ResNet50	ResNet152
Accuracy на тренировке	0.983	0.953
Accuracy на валидации	0.829	0.831
Функция потерь на тренировке	0.785	0.177
Функция потерь на валидации	0.841	0.674

В данном случае метрика Accuracy на валидации имеет значения 0.829 и 0.831 для моделей ResNet50 и ResNet152 соответственно, у функции потерь значения соответственно 0.841 и 0.674. По сравнению с результатами обучения на первом наборе данных, результаты обучения на втором наборе данных отстают по показателям.

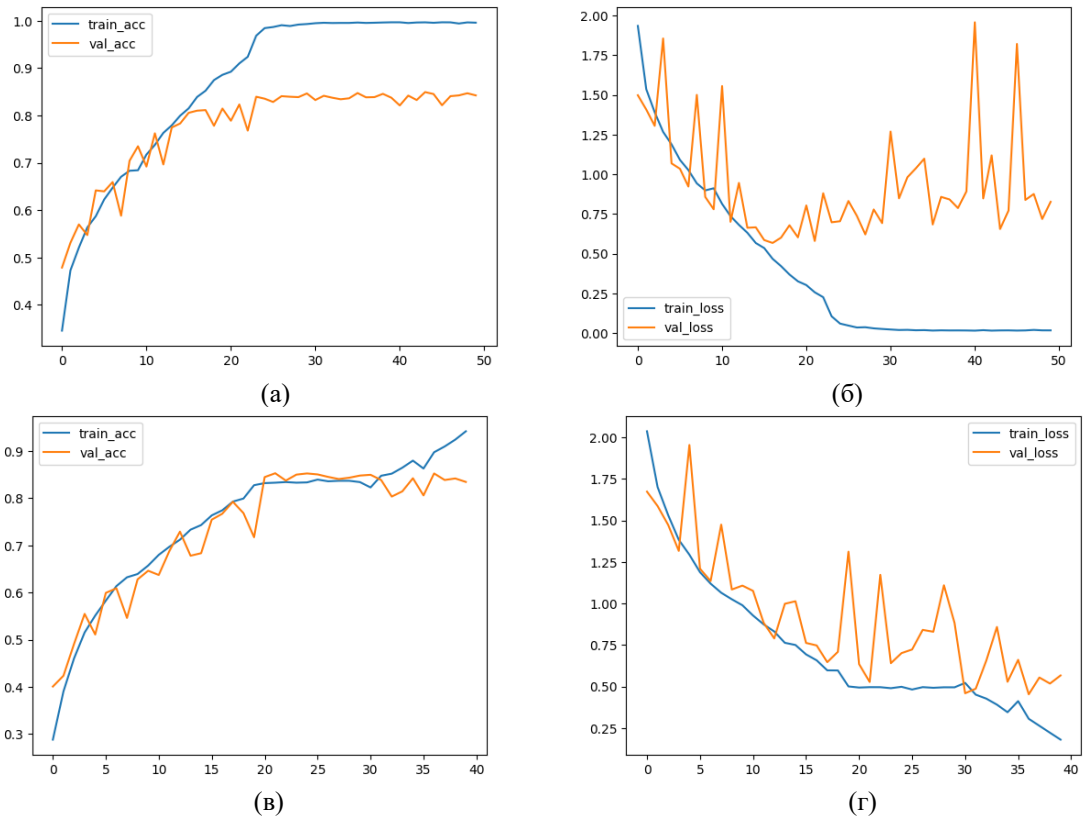


Рис. 2. Метрики Accuracy и функций потерь:
а – метрика Accuracy модели ResNet50, б – функция потерь модели ResNet50,
в – метрика Accuracy модели ResNet152, г – функция потерь модели ResNet152

У всех четверых моделей наблюдается сходимость графиков функции потерь и Accuracy, что говорит об отсутствии переобучения. Колебания на графиках можно объяснить разнообразием данных для обучения. С одной стороны, это может помочь модели лучше обучиться на разнообразных сценариях и лучше обобщить свои знания, с другой стороны, может усложнить обучение из-за большего разнообразия объектов, задних фонов и различий между ними. На основе полученных результатов решения задачи классификации были сделаны выводы касательно методов обучения, подбора гиперпараметров и выходного слоя нейронных сетей.

Несмотря на все допущенные неточности, на реальных фотографиях модели показывают отличные результаты, где точность предсказаний не ниже 0.85 (рисунок 3).

Рис. 3. Результаты предсказаний модели ResNet152, обученной на втором наборе данных

Задача детекции. По завершению обучения модели YOLO12 получены значения метрик (таблица 3) и функций потерь (таблица 4). На рисунке 4 представлены графики метрик и функций потерь на основании полученных в ходе обучения данных.

Таблица 3. Значения метрик модели YOLO по окончанию обучения

Precision	Recall	mAP50(B)	mAP50-95(B)
0.730	0.849	0.849	0.707

Таблица 4. Показатели функций потерь модели YOLO по окончанию обучения

	Box_loss	Cls_loss
Тренировка	0.546	0.445
Валидация	0.473	0.475

Графики метрик на протяжении всего обучения имеют достаточно сильные колебания, но под конец достигают приемлемых значений: метрика Precision имеет значение 0.730, что достаточно удовлетворительно; метрики Recall и mAP50(B) имеют одинаковое значение 0.849 и это хороший результат; метрика mAP50-95(B) достигает удовлетворительного значения 0.707. Значения функций потерь при классификации на тренировке и валидации под конец обучения достигают значений 0.445 и 0.475 соответственно, а при предсказании координат ограничивающей рамки 0.546 и 0.473. Обе функции потерь на валидации имеют сильные колебания примерно до 20 эпохи, дальше функции убывают относительно равномерно. Несмотря на высокие значения функций потерь, точность детекции модели на тестовых фотографиях очень хорошая (рисунок 5).

На основе полученных результатов решения задачи детекции также были сделаны выводы касательно методов обучения и подбора гиперпараметров. Полученный опыт позволит в дальнейшем построить хорошую модель, позволяющую автоматизировать процесс сбора урожая.

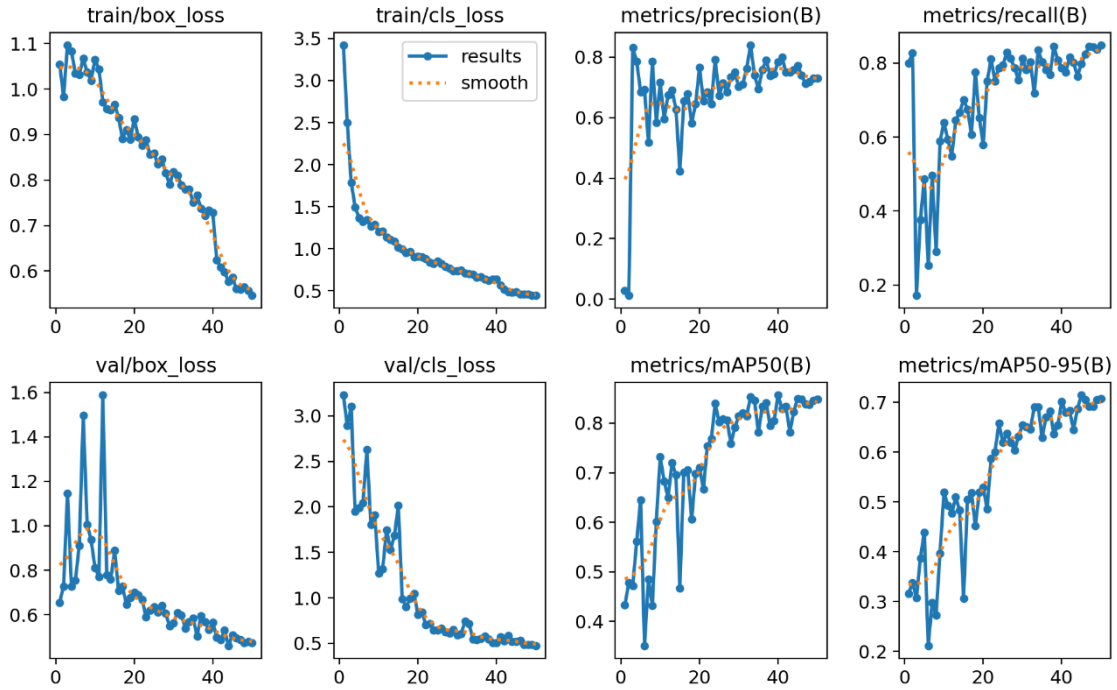


Рис. 4. Графики функций потерь и метрик модели YOLO12

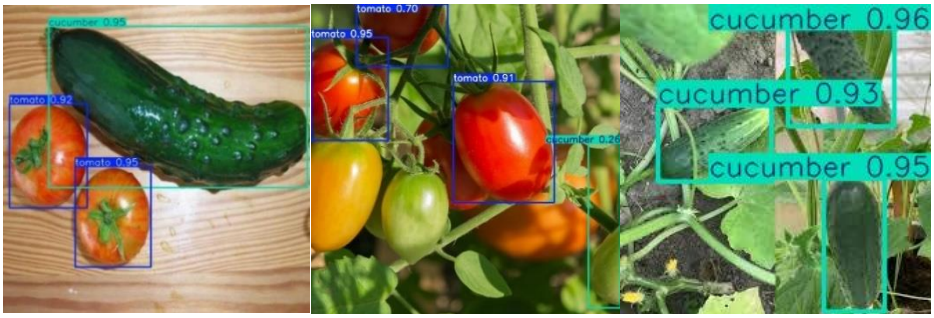


Рис. 5. Результаты предсказаний модели YOLO12

Заключение

В ходе проделанной работы были получены четыре модели классификации ResNet и одна модель детекции YOLO12. Модели показывают хорошие результаты работы на реальных изображениях. Отталкиваясь от показателей метрик, были сделаны выводы о подходах к обучению свёрточных нейронных сетей.

Список использованных источников

1. Свецкий А.В. Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Сельское хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 1-12.

2. He Zixuan, Karkee Manoj, Zhang Qin. Enhanced machine vision system for field-based detection of pickable strawberries: integrating an advanced two-step deep learning model merging improved YOLOv8 and YOLOv5-cls // Computers and Electronics in Agriculture. – 2025. – Т. 234. – С. 110173. doi.org/10.1016/j.compag.2025.110173.

1. Khan Haider, Farooq Umar, Saleem Shoaib, Rehman Ubaid-ur, Tahir Naveed, Iqbal Tahir, Cheema Muhammad Jehanzeb, Aslam Muhammad, Hussain Saddam. Design and development of machine vision robotic arm for vegetable crops in hydroponics // Smart Agricultural Technology. – 2024. – Т. 9. – С. 100628. doi.org/10.1016/j.atech.2024.100628.

2. Akdoğan Cemalettin, Özer Tolga, Oğuz Yüksel. PP-YOLO: deep learning based detection model to detect apple and cherry trees in orchard based on histogram and wavelet preprocessing techniques // Computers and Electronics in Agriculture. – 2025. – Т. 232. – С. 110052. doi.org/10.1016/j.compag.2025.110052.

3. Sapkota Ranjan, Karkee Manoj. YOLO11 and vision transformers based 3D pose estimation of immature green fruits in commercial apple orchards for robotic thinning [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: doi.org/10.36227/techrxiv.173014437.72236643/v1 (дата обращения: 10.07.2025).

4. Li Zhiyu, Wang Jianping, Gao Guohong, Lei Yufeng, Zhao Chenping, Wang Yan, Bai Haofan, Liu Yuqing, Guo Xiaojuan, Li Qian. SGSNet: a lightweight deep learning model for strawberry growth stage detection // Frontiers in Plant Science. – 2024. – Т. 15.

5. Wu Enhui, Ma Ruijun, Dong Daming, Zhao Xiande. D-YOLO: a lightweight model for strawberry health detection // Agriculture. – 2025. – Т. 15. – С. 570. doi.org/10.3390/agriculture15060570.

6. Singh Vimal, Chug Anuradha, Singh Amit. Classification of beans leaf diseases using fine tuned CNN model // Procedia Computer Science. – 2023. – Т. 218. – С. 348–356.

6. Redmon Joseph, Divvala Santosh, Girshick Ross, Farhadi Ali. You only look once: unified, real-time object detection [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: doi.org/10.48550/arXiv.1506.02640 (дата обращения: 10.07.2025).

7. Fruit and Vegetable Images for Object Recognition – URL: kaggle.com/datasets/kritikseth/fruit-and-vegetable-image-recognition (13.10.2024)

8. A dataset containing 225,640 images of 262 different fruits – [Электронный ресурс]. – URL: kaggle.com/datasets/f9472b258bbdab0dbc8cc773ad8c78a2fa1b997fa0cd88a476f184b78b93338c (дата обращения 1.12.2024)

9. A Comprehensive Collection of 50 Fruit and Vegetable Categories – [Электронный ресурс]. – URL: kaggle.com/datasets/youssefsalahzakria/fruit-and-vegetables-classification (дата обращения: 28.02.2025)

ПРЕДОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLO В ШАХТАХ

Петровский В.В.
Томский политехнический университет, ИШИТР, аспирант гр. А3-39,
e-mail: vvp32@tpu.ru

Аннотация

В статье рассматриваются методы предобработки изображений и видео, предназначенных для обучения нейронных сетей, применяемых для распознавания и оценки позы человека в условиях подземной шахты. Проведён анализ влияния параметров аугментации на точность моделей YOLOv8n-pose и YOLO11n-pose. Исследование ориентировано на улучшение устойчивости моделей к условиям плохого освещения, запыленности и ограниченности данных.

Ключевые слова: YOLO, шахта, нейросеть, распознавание позы, аугментация, предобработка данных.

Введение

Системы автоматического распознавания объектов и оценки позы человека находят всё более широкое применение в промышленной сфере, в том числе в условиях подземных шахт. Мониторинг состояния и поведения шахтёров с помощью компьютерного зрения позволяет повысить уровень промышленной безопасности.

Работа нейронных сетей в шахтных условиях осложняется особенностями среды: плохим и неравномерным освещением, запыленностью, высоким уровнем шума на изображениях и ограниченным количеством размеченных данных. В таких условиях особенно важно качество и объём тренировочного датасета, а также методы его предобработки.

Цель исследования – проанализировать влияние параметров аугментации изображений (цветовой тон, насыщенность, яркость, угол поворота изображения и т. д.) на точность нейросетевых моделей YOLOv8n-pose и YOLO11n-pose при решении задачи детекции и оценки позы человека в подземной шахте. Работа также направлена на выбор наилучших параметров предобработки данных с учетом ограниченных вычислительных ресурсов, характерных для портативных устройств, используемых в горнодобывающей промышленности.

Методы предобработки и аугментации данных

Для распознавания и оценки позы человека в условиях подземной шахты рассматривались следующие методы:

- Традиционные методы аугментации. Они включают геометрические преобразования (повороты, масштабирование, сдвиги, отражения), изменения цветовой гаммы (яркость, контрастность, насыщенность), а также добавление шума [1]. Например, увеличение яркости может помочь имитировать условия более светлой шахты, а добавление шума может сделать модель более устойчивой к зашумленным изображениям (пылевая завеса).
- Аугментации, основанные на GAN (Generative Adversarial Networks). GAN могут быть использованы для генерации синтетических изображений шахтных сцен с людьми [2] а также для генеративно-обученных моделей на больших датасетах (например, ImageNet, COCO) и их дальнейшая дообучка на шахтных данных [3].
- Методы борьбы с запыленностью и плохим освещением. Существуют специализированные методы улучшения качества изображений, направленные на устранение запыленности и коррекцию освещения. Например, использование алгоритмов гистограммного выравнивания или фильтров медианной фильтрации [4].

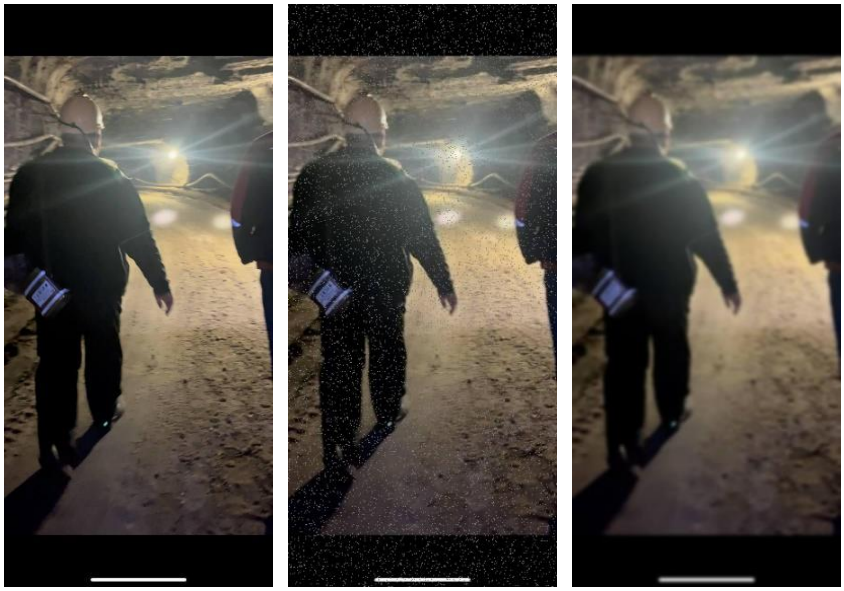
• Mixup и CutMix. Эти методы аугментации основаны на смешивании изображений и меток из различных классов [5, 6]. Это позволяет улучшить обобщающую способность модели и сделать ее более устойчивой к зашумленным данным.

• Алгоритмы выравнивания гистограммы. Эти алгоритмы улучшают контрастность изображения путем перераспределения значений пикселей [7]. Это особенно полезно в условиях низкой освещенности, характерных для шахт. Адаптивное выравнивание гистограммы (CLAHE) может быть особенно эффективным для локального улучшения контрастности.

Экспериментальная часть

Датасет был собран автором на основании видео и снимков, полученных при производственном мониторинге в шахтах. Было размечено 500 снимков в разрешении 298×640 пикселей с помощью платформы Label Studio [10]. Разметка включала прямоугольные рамки, охватывающие фигуру человека, и его позу в кадре. Все программные операции проводятся на персональном компьютере с CPU Intel Core i5-12400F OEM, GPU NVIDIA GeForce RTX 4060, 16 ГБ ОЗУ, 1 ТБ ПЗУ.

Для увеличения размеченного датасета создаются новые снимки на основе исходных, к которым применяются серый шум (пылевая завеса при ярком освещении) и гауссовское размытие (загрязнение камер), что представлено на рис. 1.



а б в

Рис. 1. Предобработка снимка из датасета:
а – исходный снимок, б – снимок с серым шумом, в – снимок с гауссовским размытием

После увеличения датасета до 1500 снимков, случайным образом разделяем снимки: 1200 на обучающую и 300 на валидационную выборки. Применяем аугментацию для обучения моделей YOLOv8-pose nano и YOLOv11-pose nano. Параметры, применяемые в эксперименте:

- Цветовой тон.
- Насыщенность.
- Яркость.
- Угол поворота изображения.
- Перемещение по горизонтали и вертикали на долю размера изображения.
- Коэффициент масштабируемости изображения.
- Сдвиг изображения на заданный коэффициент.
- Поворот изображения по центральной вертикальной оси.

Оптимизатор и функция потерь применяются как в официальной обученной модели YOLO. Обучение проводиться на 200 эпохах. Далее проводится обучение моделей. В таблице 1 находятся параметры аугментации, применяемые к каждому из наборов.

Таблица 1. Настраиваемые параметры аугментации

Параметры	цветовой тон	насыщенность	яркость	угол поворота	перемещение	масштабируемость	сдвиг	поворот по оси
Параметры, установленные в обученных официальных моделях YOLO	0,015	0,700	0,400	0,000	0,100	0,500	0,000	0,500
Настраиваемые параметры №1 (без аугментации)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Настраиваемые параметры №2	0,015	0,150	0,150	15,00	0,150	0,150	15,00	0,150
Настраиваемые параметры №3	0,030	0,300	0,300	30,00	0,300	0,300	30,00	0,300
Настраиваемые параметры №4	0,045	0,450	0,450	45,00	0,450	0,450	45,00	0,450
Настраиваемые параметры №5	0,060	0,600	0,600	60,00	0,600	0,600	60,00	0,600

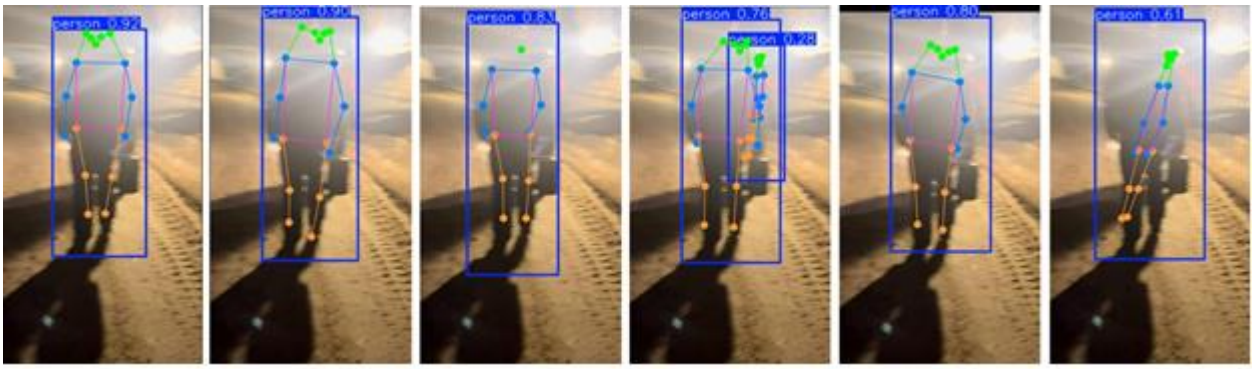
Результаты валидации обученных моделей представлены в таблице 2. Таблица содержит метрики предсказаний: Recall, mAP50, mAP50-95 по двум задачам – детекция рамки и оценка позы.

Таблица 2. Валидационные данные обученных моделей YOLOv8n-pose и YOLO11n-pose

Параметры	Модель	Box				Pose			
		Predict	Recall	mAP50	mAP50-95	Predict	Recall	mAP50	mAP50-95
Параметры, установленные в обученных официальных моделях YOLO	YOLOv8n-pose	0,958	0,882	0,950	0,626	0,848	0,692	0,723	0,300
	YOLO11n-pose	0,952	0,885	0,943	0,605	0,944	0,731	0,760	0,289
Настраиваемые параметры №1 (без аугментации)	YOLOv8n-pose	0,987	0,883	0,904	0,584	0,807	0,654	0,674	0,253
	YOLO11n-pose	0,958	0,872	0,903	0,590	0,743	0,577	0,557	0,243
Настраиваемые параметры №2	YOLOv8n-pose	0,975	0,880	0,962	0,545	0,808	0,654	0,608	0,180
	YOLO11n-pose	0,889	0,921	0,938	0,584	0,794	0,615	0,560	0,197
Настраиваемые параметры №3	YOLOv8n-pose	0,967	0,769	0,891	0,48	0,775	0,531	0,518	0,165
	YOLO11n-pose	0,957	0,885	0,925	0,541	0,722	0,538	0,569	0,176
Настраиваемые параметры №4	YOLOv8n-pose	0,952	0,846	0,910	0,467	0,459	0,385	0,299	0,114
	YOLO11n-pose	0,989	0,808	0,904	0,447	0,518	0,423	0,327	0,102
Настраиваемые параметры №5	YOLOv8n-pose	0,921	0,731	0,857	0,357	0,444	0,231	0,241	0,056
	YOLO11n-pose	0,954	0,769	0,888	0,350	0,346	0,269	0,154	0,005

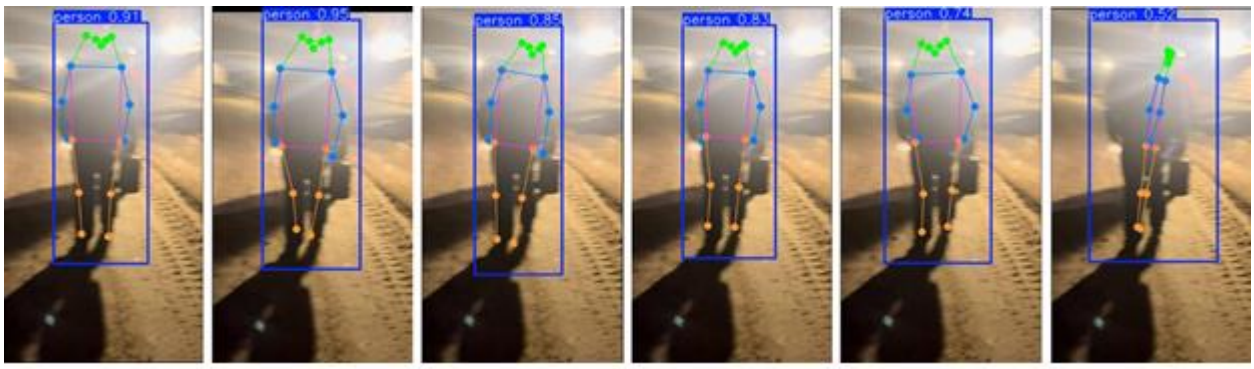
По результатам валидации видно, что после настраиваемых параметров №3 метрики точностией mAP50 и mAP50-95 рамки выделения человека (прямоугольник, предсказанный моделью вокруг фигуры шахтёра, box) и его позы (pose) сильно упали.

Проводится тест обученных моделей YOLOv8n-pose и YOLO11n-pose на видеозаписях из шахты. Рассматривались кадры, в которых результат предсказания значительно различается между конфигурациями моделей. На рисунках 2 и 3 изображены точности предсказания моделей от примененных параметров аугментации.



а б в г д е

Рис 2. Тест обученной модели YOLOv8n-pose при разных аугментационных параметрах:
а – параметры, установленные в обученных официальных моделях YOLO,
б – настраиваемые параметры № 1 (без аугментации),
в – настраиваемые параметры № 2,
г – настраиваемые параметры № 3,
д – настраиваемые параметры № 4,
е – настраиваемые параметры № 5



а б в г д е

Рис 3. Тест обученной модели YOLO11n-pose при разных аугментационных параметрах:
а – параметры, установленные в обученных официальных моделях YOLO,
б – настраиваемые параметры № 1 (без аугментации),
в – настраиваемые параметры № 2,
г – настраиваемые параметры № 3,
д – настраиваемые параметры № 4,
е – настраиваемые параметры № 5

По результатам тестирования видно, что новая версия YOLO11n-pose работает точнее, чем YOLOv8n-pose. Применение аугментационных параметров до 30 % изменения входных данных («настраиваемые параметры №3») приводит к гибкой работе моделей, при этом точность предсказания уменьшается не существенно. После 30 % происходит сильный спад

точности предсказания, модели работают хуже, и выдают ложные срабатывания. Результаты обучения с аугментационными параметрами как в официальных моделей, и обучения без аугментационных параметров, имеют самые высокие показатели как по определению рамки, так и позы человека.

Учитывая сложные условия эксплуатации в шахтах, модели обучались в конфигурации nano – с упором на минимальное потребление ресурсов. Такие модели могут быть реализованы на одноплатных устройствах (например, Jetson Nano, Raspberry Pi с TPU, Odyssey и т. д.) с поддержкой запуска в условиях ограниченного энергопотребления, охлаждения, запыленности и вибраций.

Заключение

Проведён анализ влияния параметров аугментации изображений на точность моделей YOLO в шахтных условиях. Оптимальными оказались конфигурации, где изменения входных данных не превышают 30%. Повышение параметров аугментации приводят к потере точности. Для повышения точности распознавания и гибкости моделей параметры аугментации следуют выставлять опытным путем. Также имеет смысл завершать обучение при неизменяемости показателей точности, а не по заданному количеству эпох.

Данное исследование может помочь в дальнейшем изучении по улучшению качества обучающих моделей. Дальнейшие работы направлены на расширение датасета и внедрение моделей в реальное производство.

Список использованных источников

1. Shorten C., Khoshgoftaar T.M. A survey on image data augmentation for deep learning //Journal of big data. – 2019. – Т. 6. – №. 1. – С. 1-48.
2. Goodfellow I.J. et al. Generative adversarial nets //Advances in neural information processing systems. – 2014. – Т. 27.
3. Yosinski J. et al. How transferable are features in deep neural networks? //Advances in neural information processing systems. – 2014. – Т. 27.
4. Espinosa A.R., McIntosh D., Albu A.B. An efficient approach for underwater image improvement: Deblurring, dehazing, and color correction //Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. – 2023. – С. 206-215.
5. Zhang H. et al. mixup: Beyond empirical risk minimization // arXiv preprint arXiv:1710.09412. – 2017.
6. Yun S. et al. Cutmix: Regularization strategy to train strong classifiers with localizable features // Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. – 2019. – С. 6023-6032.
7. Yeuseyenka I. Detection and selection of moving objects in video images based on impulse and recurrent neural networks // Journal of Data Analysis and Information Processing. – 2022. – Т. 10. – №. 2. – С. 127-141.
8. Explore Ultralytics YOLOv8. [Электронный ресурс]. – URL: docs.ultralytics.com/models/yolov8/ (дата обращения: 28.03.2025).
9. Ultralytics YOLO11. [Электронный ресурс]. – URL: docs.ultralytics.com/ru/models/yolo11/ (дата обращения: 28.03.2025).
10. Open-Source Data Labeling Platform. Label Studio: сайт. [Электронный ресурс]. – URL: labelstud.io/ (дата обращения: 28.03.2025).

ОБРАБОТКА НОЧНЫХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИКАЦИИ ГАММА-КОРРЕКЦИИ

Сапегин А.А.
Томский политехнический университет, ИШИТР, аспирант, гр. А4-39,
e-mail: aas271@tpu.ru

Аннотация

В данной работе рассматривается способ решения проблемы обработки ночных снимков путем применения методов машинного обучения для автоматизации процесса локальной гамма-коррекции. Представлены алгоритмы подготовки данных для обучения модели и процесс оценки визуального качества снимков.

Ключевые слова: нормализация яркости, ночная съемка, гамма-коррекция

Введение

Ночная съемка традиционно представляет собой одну из наиболее сложных задач, как для аппаратных возможностей фотографической техники, так и для программных алгоритмов постобработки.

Данный вид съемок проводится в условиях недостаточной освещенности, как правило, не превышающей 50 лк [1]. Подобные условия приводят к потребности тщательной индивидуальной настройки параметров съемки и обработки для каждого конкретного случая.

В данной работе рассматривается задача модернизации уже существующих способов подготовки цифровых снимков путем внедрения гибридизации с методами машинного обучения. В рамках конкретного исследования рассмотрена возможность модернизации востребованного метода гамма-коррекции: увеличение качества обработки при сохранении низкой затрачиваемой ресурсов.

Описание метода

Снимок – частный случай изображения, представляющий собою результат съёмки реального мира с помощью фототехники. Тем самым, любые методы по обработке изображения применимы к снимкам. Одним из таких методов, является гамма-коррекция.

Гамма-коррекцию можно отнести к частному случаю редактирования кривой. Данный инструмент распространен в графических редакторах и позволяет точечно управлять яркостью и контрастом цифрового изображения, изменяя распределение тонов от теней до светов. Сама по себе кривая является графиком, на оси абсцисс которого отмечена исходная яркость пикселей изображения (от 0 до 255), а на оси ординат – новая яркость после редактирования. Первичная форма графика – прямая линия под углом 45°. При изменении формы данной линии меняется яркость и контраст в разных участках изображения.

Гамма-коррекция сильно упрощает данный процесс, сводя все к необходимости подбора параметра γ (гамма). В этом подходе значение выходного пикселя вычисляется как степень исходного, согласно формуле:

$$y = 255 \times \left(\frac{x}{255}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

где x – интенсивность пикселя перед коррекцией, а y – интенсивность пикселя после коррекции.

При значениях γ выше единицы, изображение становится темнее, и, соответственно, при значениях ниже единицы – становится ярче.

В контексте обработки именно снимков, гамма-коррекция имеет недостаток в виде возможной потери информации при ее применении глобально (т.е. воздействуя на все пиксели

разом). Однако при использовании данного метода локально необходимо подбирать параметр γ для каждого анализируемого фрагмента.

Разработанный метод подразумевает, что модель машинного обучения автоматически должна подбирать параметр γ, основываясь на статистических параметрах фрагментов снимка. Помимо стандартных показатели, таких как максимальная, минимальная и средняя интенсивность пикселей, использовалось четыре вида контрастов:

- Контраст Михельсона, оценивающий разницу между максимальной и минимальной яркостью.
- Среднеквадратический контраст, являющийся стандартным отклонением яркости пикселей.
- Глобальный контраст, измеряющий размах яркости.
- Контраст Харалика, анализирующий текстуру через матрицу совместной встречаемости пикселей [2].

Обработка данных и обучение

В качестве тренировочных и тестовых данных использовался набор снимков, подготовленный для конкурса «Night Photography Rendering Challenge 2025». Он содержит две группы снимков: необработанные, имеющие широкий динамический диапазон, и эталонные, обладающие нужным распределением яркости. Все снимки сделаны в ночное время суток в условиях недостаточной освещенности.

Для увеличения количества обучающей выборки исходные файлы подвергались аугментации. При подготовке данных анализировались не весь снимок целиком, а только его фрагмент 128 x 128.

Для ночных снимков характерно наличие искусственных источников света. Как правило, они не занимают подавляющую часть композиции, из-за чего при рандомизации процесса обрезки они часто отсутствуют в заготовочных фрагментах. Это, в свою очередь, приводит к обеднению данных ввиду большого количества именно темных областей в качестве обучающей выборки. Подобное может привести к переобучению с риском того, что модель будет пытаться уменьшить параметр γ (увеличить интенсивность пикселей) даже для областей с изначально высокой яркостью.

Чтобы увеличить разнообразие данных, помимо фрагментов с исходными интенсивностями пикселей, формировались также те, которые подвергались дополнительной аугментации путем случайного увеличения среднего уровня яркости. Для полученных фрагментов подсчитывались необходимые статистические параметры, которые подаются на вход модели.

Целевой переменой обучаемой модели является наилучший показатель γ для локальной области. Для его определения производилась гамма-коррекция фрагмента с перебором параметра в пределах от 0.01 до 10.

Для оценки каждого результата рассматривались две эталонные метрики: peak signal-to-noise ratio (PSNR) и structural similarity index measure (SSIM) [3]. PSNR показывает, насколько сильно искажено изображение по сравнению с оригиналом, измеряя разницу в интенсивности пикселей. SSIM оценивает структурное сходство между изображениями. Данная метрика гораздо более коррелирует с субъектной оценкой, и является более предпочтительной, но при этом она гораздо сложнее в вычислении. Тем самым было решено использовать PSNR в рамках разметки данных, а к SSIM обращаться на этапе тестирования. Таким образом, в качестве целевой переменной γ принимался тот показатель, при котором исходный фрагмент после гамма-коррекции давал наибольшее значение метрики PSNR.

Для обучения использовались регрессионные модели машинного обучения: полином, многослойный персептрон и ансамбль деревьев, обучающийся методом градиентного

бустинга. Предпочтительным вариантом при этом является полиномиальная модель, т.к. имеет наиболее простое устройство, что позволяет ей быстрее выдавать результат. Однако в случае низких показателей на этапе тестирования, данное преимущество будет нивелировано.

Оценка результатов работы

Помимо описанных выше двух метрик, используется вспомогательная метрика энтропии гистограммы [4], которая не требует сравнения с эталоном и высчитывается по формуле:

$$Entropy = -\sum_{i=0}^{255} l_i log_2(l_i),$$

где l_i – доля пикселей с i-м уровнем яркости. Чем выше метрика, тем шире распределение яркостей, увеличивая восприятие деталей на их фоне.

Оценка результатов проводилась на 50 снимках разрешением 2000 x 2000. Обученные модели сравнивались не только между собой, но и с другими классическими методами по выравниванию яркости:

- Single-Scale Retinex (SSR), улучшающий детализацию, разделяя освещение и отражение через гауссово размытие [5].
- Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), локально усиливающий контраст с помощью выравнивания гистограммы, ограничивая при этом шум [6].
- Автоконтраст, который представляет собой обыкновенную нормализацию интенсивности пикселей.

В таблице 1 приведены результаты работы классических методов и обученных моделей.

Таблица 1. Метрики качества тестовой выборке

	Автоконтраст	**SSR**	**CLAHE**	**Персептрон**	**Ансамбль**	**Полином**
PSNR	11,347	17,069	15,670	17,546	17,465	17,047
SSIM	0,530	0,628	0,523	0,671	0,657	0,658
Entropy	7,459	7,077	5,907	6,299	6,223	6,299

На рисунке 1 продемонстрированы примеры обработок снимков классическими методами и обученными моделями.

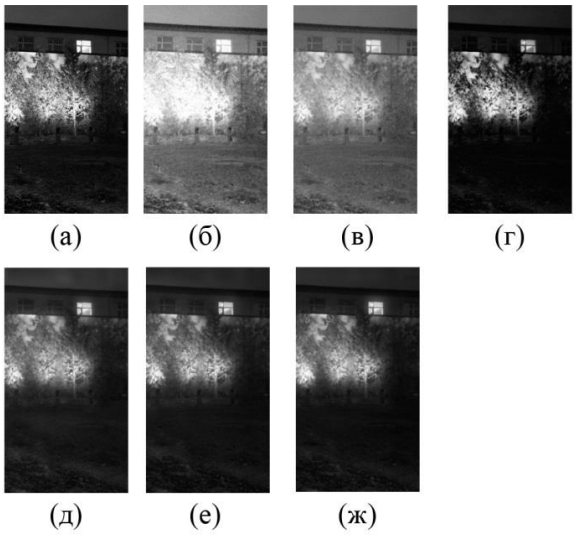


Рис. 1. Пример результатов обработки:
а – эталонный снимок, б – автоконтраст, в – SSR, г – CLAHE,
д – персептрон, е – ансамбль, ж – полином

Как видно из таблицы автоконтраст и SSR сильно выигрывают по показателю энтропии, что также прослеживается на примерах из рисунка 1. При этом обученные модели показывают высокие значения для эталонных метрик. Таким образом, при использовании автоконтраста или SSR повышается как видимость деталей, так и риск увеличения шумов и появления артефактов.

Заключение

В результате проведенных исследований был проанализирован подход к восстановлению яркостных характеристик ночных снимков. Использование полносвязного персептрона с несколькими слоями показал наилучший результат по метрикам PSNR и SSIM, продемонстрировав тем самым перспективность подхода использования моделей машинного обучения для улучшения адаптивности некоторых классических методов изменения яркости и контраста. При выполнении задачи, модель сохраняет информацию на светлых участках и увеличивает распознаваемость деталей на темных.

Гибридизация машинного обучения и стандартных методов обработки устраняет недостаток в виде необходимости индивидуального подбора параметров вручную, сохраняя при этом все достоинства модифицируемого метода.

Список использованных источников

1. Understanding Lux and Illuminance // Test and Measurement World [Электронный ресурс]. – URL: test-and-measurement-world.com/terminology/general/understanding-lux-and-illuminance (дата обращения: 25.03.2025).

2. Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I. Textural Features for Image Classification // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1973. – Vol. SMC-3(6). – P. 610-621.

3. Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R., Simoncelli E. P Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity // IEEE Trans. Image Process. – 2004. – Vol. 13, № 4 – P. 2–15.

4. Agaian S.S., Panetta K., Grigoryan A.M. Adaptive Image Enhancement Based on Histogram Entropy Optimization // IEEE Transactions on Image Processing. – 2001. – Vol. 10, no. 7. – P. 1041-1052

5. Parthasarathy S., Sankaran P. An automated multi–Scale Retinex with Color Restoration for image enhance-ment // ResearchGate. – 2012. – URL: researchgate.net/publication/254024214_An_automated_multi_Scale_Retinex_with_Color_Restoration_for_image_enhancement (дата обращения 04.12.2024)

6. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Новичихин Е.П. Модификация метода CLAHE для компенсации влияния гидрометеоров // Текст: электронный // Журнал Радиоэлектроники. – 2017. – 10. [Электронный ресурс]. – URL: jre.cplire.ru/jre/oct17/10/text.pdf (дата обращения: 16.02.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLOV8 И YOLO11 ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ

Ли Цзюмин [1], Мамонова Т.Е.[2]
[1] ТПУ, ИШИнЭС, ОИС, аспирант, гр. А4-36, e-mail: czyumin1@tpu.ru
[2] ТПУ, ИШИнЭС, ОИС, доцент, e-mail: stepte@tpu.ru

Аннотация

В данной работе выполнено детектирование транспортных средств на аэрофотоснимках с помощью модели сверточной нейронной сети YOLOv8 и YOLO11. При обучении данных моделей были проведены ряд экспериментов с различными гиперпараметрами размера партии(*batch*) с использованием наборов данных CARPK. В результате исследований показано, что модели YOLOv8n и YOLO11n имеют высокие показатели по используемым метрикам оценки точности и имеют способность точно обнаруживать и определять транспортные средства на аэрофотоснимках. Сравнительный анализ результатов показал, что обе модели имеют близкие результаты по используемым метрикам оценки точности, а по скорости вычислений модель YOLO11n превосходит модель YOLOv8n.

Ключевые слова: *детектирование объектов, сверточная нейронная сеть, YOLOv8, YOLO11, CARPK*

Введение

В настоящее время детектирование объектов на базе аэрофотоснимков имеет широкие перспективы применения в области контроля и безопасности транспортного потока. Задача детектирования объектов является важной частью применения технических устройств, на базе которых в качестве платформы в сочетании с технологией компьютерного зрения можно быстро воспринимать окружающую обстановку и сократить потребление человеческого ресурса. В связи с ограничением аппаратных ресурсов оборудования подобных технических устройств, для повышения скорости детектирования и обеспечения его точности применяются облегченные методы глубокого обучения, представленные сверточными нейронными сетями (CNN).

Методы детектирования объектов на основе CNN делятся на две группы:

1) Двухэтапные алгоритмы детектирования на основе генерации регионов, представленные R-CNN и Faster-RCNN.

2) Одноэтапные алгоритмы детектирования на основе регрессии, представленные серией YOLO (you only look once) [1].

Одноэтапные методы детектирования имеют более высокую скорость определения объекта и сквозную производительность по сравнению с двухэтапными методами. В связи с этим в настоящее время данные методы используются в качестве основного объекта исследования при детектировании объектов с применением результатов аэрофотосъемки.

Алгоритм серии YOLO с момента своего появления в 2015 году занял важное место в области детектирования объектов в реальном времени благодаря эффективной скорости и высокой точности. YOLOv8 был выпущен компанией Ultralytics в 2023 году, в отличие от предыдущих версий, в YOLOv8 используется оптимизированный компромисс между точностью и скоростью, что делает его идеальным для различных приложений [4]. YOLO11 является последней версией серии, которая улучшает способность модели к извлечению признаков и повышает точность детектирования за счет внедрения архитектурных оптимизаций, таких как новые модули C3k2 и C2PSA, сохраняя при этом легкие характеристики и оптимизированную скорость вывода.

Таким образом, в представляемой работе для детектирования транспортных средств на аэрофотоснимках на малых высотах используются модели сверточной нейронной сети YOLOv8 и YOLO11. Обучения данных моделей выполнены в наборе данных CARPK.

Описание архитектуры моделей YOLOv8 и YOLO11

В разделе Backbone YOLOv8 используется модуль C2F, который имеет меньшее количество параметров и лучшую способность извлечения признаков, что повышает точность обнаружения и эффективность вычислений. Модель YOLOv8 достигает наилучшей производительности в различных эталонных наборах данных. Например, модель YOLOv8n достигает mAP (средняя точность) 37,3 на наборе данных COCO.

YOLO11 является последней версией семейства YOLO, разработанной командой Ultralytics в США и Испании. Модель YOLO11 отличается от предыдущих версий YOLO, в том числе измененной архитектурой модели, улучшением извлечения признаков и оптимизацией методов обучения. По сравнению с моделью YOLOv8, в YOLO11 модуль C2F заменен на C3K2, что позволяет использовать различные размеры сверточных ядер и адаптироваться к более сложным задачам и требованиям многомасштабного обнаружения. За модулем SPPF был добавлен модуль C2PSA, целью которого является улучшение извлечения признаков за счет добавления механизма многоголового внимания.

Для обеспечения гибкого применения на аппаратных устройствах в различных сценариях, модели YOLOv8 и YOLO11 имеют разные размеры: *nano(n), small(s), medium(m), large(l) и extra-large(x)*. Из-за наличия разноплановых параметров модели, высоких требований к вычислениям и хранению данных, высокой потребности в памяти компьютера и необходимости ускорения с помощью высокопроизводительной видеокарты для использования всех преимуществ моделей с большим количеством параметров, например, YOLO11m, YOLO11l и YOLO11x, их трудно развернуть на устройствах с ограниченной производительностью и вычислительными ресурсами.

Согласно данным из официальной документации Ultralytics, указанной в [2], соответствующие среднее значение средней точности *mAP,* количество параметров *Parameters*, вычислительная сложность *GFLOPs* и скорость *Speed* моделей YOLOv8n и YOLO11n приведены в таблице 1. Как видно из данных в таблице, YOLO11n имеет более высокую точность обнаружения по сравнению mAP с YOLOv8n, при использовании меньшего количества параметров и меньшего числа FLOP. На CPU YOLOv11n показывает более высокую скорость работы, на GPU он работает медленнее, чем YOLOv8n.

Таблица 1. Сравнение ключевых показателей моделей YOLOv8n и YOLO11n

Модель	mAP50-90,%	Parameters, M	GFLOP,s	Speed(CPU), ms	Speed(GPU), ms
YOLOv8n	37,3	3,2	8,7	80,4	0,99
YOLO11n	39,5	2,6	6,5	56,1	1,5

Эксперимент и результат

Для тестирования производительности моделей YOLOv8n и YOLO11n при обнаружении транспортных средств на аэрофотоснимках используется набор данных CARPK (Car Parking Lot Dataset), представленный в источнике [3]. Данный набор является крупномасштабным набором данных для обнаружения и подсчета автомобилей, собранный с высоты 40 м в условиях парковок с разнообразными сценариями (освещение, плотность автомобилей, углы обзора). Он содержит 1 448 изображений и информацию о 89 777 автомобилях в различных сценах для 4 различных парковок. Для обучения набор данных делится на обучающий, валидационный и тестовый набор по соотношению 7:1:2.

В таблице 2 показаны ключевые параметры для обучения модели. Для обучения нейронной сети были выбраны следующие параметры: размер входных изображений (*imgsz*) 640, оптимизатор (*optimizer*) SGD, импульс (*momentum*) 0,937 и начальная скорость обучения (*lr0*) 0,01. Размером партии (*batchsize*) является количество обучающих примеров, которые используются в одной итерации, он может влиять на производительность модели [4]. Для

выбора подходящего размера партии необходимо учитывать ограничения памяти, динамику обучения и требуемую производительность обобщения. Таким образом, для исследования вливния размера партии (*batchsize*) на эффективности каждой модели, при обучении моделей проведен ряд экспериментов с изменением данного параметра.

Таблица 2. Параметры для обучения моделей

	epochs	batchsize	imgsz	optimizer	momentum	lr0
YOLOv8n	100	8	640	SGD	0.937	0.01
	100	16	640	SGD	0.937	0.01
YOLO11n	100	8	640	SGD	0.937	0.01
	100	16	640	SGD	0.937	0.01

Далее будут рассмотрены метрики оценки, которые оценивают точность обнаружения моделей YOLOv8n и YOLO11, как точность (P), отзыв (R), средняя точность (AP) и среднее значение средней точности (mAP):

1. Точность (P): определяет долю истинно положительных прогнозов среди всех положительных прогнозов, оценивая способность модели избегать ложных срабатываний. Она используется для оценки точности предсказаний модели.

2. Отзыв (R): рассчитывает долю истинных положительных результатов среди всех реальных положительных результатов, оценивая способность модели обнаруживать все экземпляры класса. Он используется для оценки способности модели находить полную цель.

3. Средняя точность (AP): представляет собой площадь под кривой точность-отзыв и используется для измерения общей эффективности модели при различных пороговых значениях.

4. Среднее значение средней точности (mAP): используется для комплексной оценки эффективности модели в сценах обнаружения объектов с несколькими классами. mAP50 - средняя точность, рассчитанная при пороге intersection over union (IoU), равном 0,50.

После обучения моделей получены графики изменений показателей моделей YOLOv8n и YOLO11n, показанные на рисунке 1. Кривые Precision и Recall круто поднимаются, а затем сглаживаются, что показывает способность модели поддерживать высокую точность при высокой Recall, что отражает хорошую производительность модели. Кривые metrics/mAP50(B) и metrics/mAP50-90 (B) показывают, что модель сохраняет лучшую эффективность обнаружения при различных пороговых значениях. Сравнивая изменения в кривых metrics/mAP50 (B) и metrics/mAP50 (B) при разных размерах партии, можно увидеть, что в начале обучения показатели оценки растут быстрее, но в конце они сходятся к одном уровне.

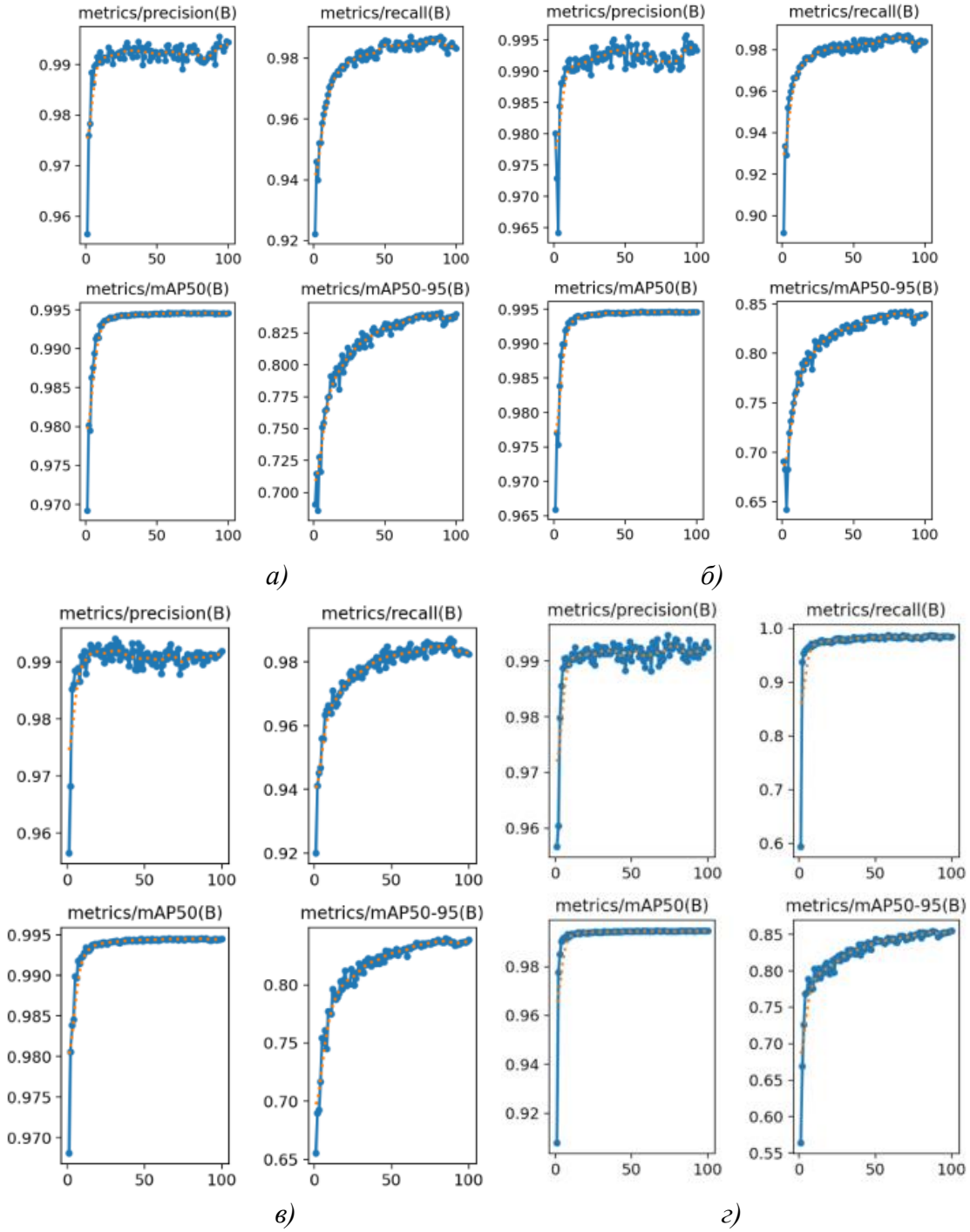


Рис. 1. Показатели оценки для моделей при различных значениях размера партии: а) YOLOv8n, batch = 8, б) YOLOv8n, batch = 16, в) YOLO11n, batch = 8, г) YOLO11n, batch=16

Значения показатели оценки валидации моделей, приведены в таблице 3.

Таблица 3. Показатели оценки моделей.

	batch	P, %	R, %	mAP50, %	mAP50-95, %	Parameters(M)	FLOPs	FPS
YOLOv8n	8	99,2	98,8	99,5	84,3	3,2	8,7G	12
	16	99.2	98,6	99,5	84,2	3,2	8,7G	12
YOLO11n	8	99,1	98,5	99,45	84.00	2,58	6,3G	16
	16	99,3	98,4	99,50	85,50	2,58	6,3G	16

Исходя из результатов точности (P), отзыва (R) и среднего значения средней точности (mAP) приведенные в таблице 4, было выявлено, что моделей YOLOv8n и YOLO11n модель обладает высокой точностью обнаружения. В результате проведения сравнения показателей точности(P) и среднего значения средней точности (mAP50, mAP50-95) при различных размерах партии видно, что модель YOLO11n показала лучшие результаты при значении размера партии batch = 16. Результат сравнения показателей количества параметров, вычислительной сложности (FLOP) и количества кадров в секунду (FPS) показал, что YOLO11n имеет более высокую скорость обнаружения. Таким образом, модель YOLO11n лучше модели YOLOv8n в задаче обнаружения транспортных средств на маловысотных аэрофотоснимках.

Далее на тестовом наборе было выполнено тестирование модели и YOLO11n, обученных при значении размера партии batch=16. Результаты показателей оценки на тестовом наборе, представленные в таблице 4 показали, что модель YOLO11n имеют высокую точность на тестовом наборе. Можно сделать вывод, что модели обладают значительной обобщающей способностью.

Таблица 4. Показатели оценки моделей на тестовом наборе

	P, %	R, %	mAP0.5, %	mAP0.5-0.95, %
YOLO11n	99,20	98,90	99,50	84.9

На рисунке 2 показаны результаты визуализации на тестовом наборе с использованием обученной модели YOLO11n. На основе Python и Tkinter реализована система обнаружения транспортных средств, которая поддерживает функции чтения изображений из папок, запуска модели YOLO11 для обнаружения транспортных средств и вывода количества обнаруженных транспортных средств. Видно, что все автомобили обнаружены успешно на изображении с различными сценами.

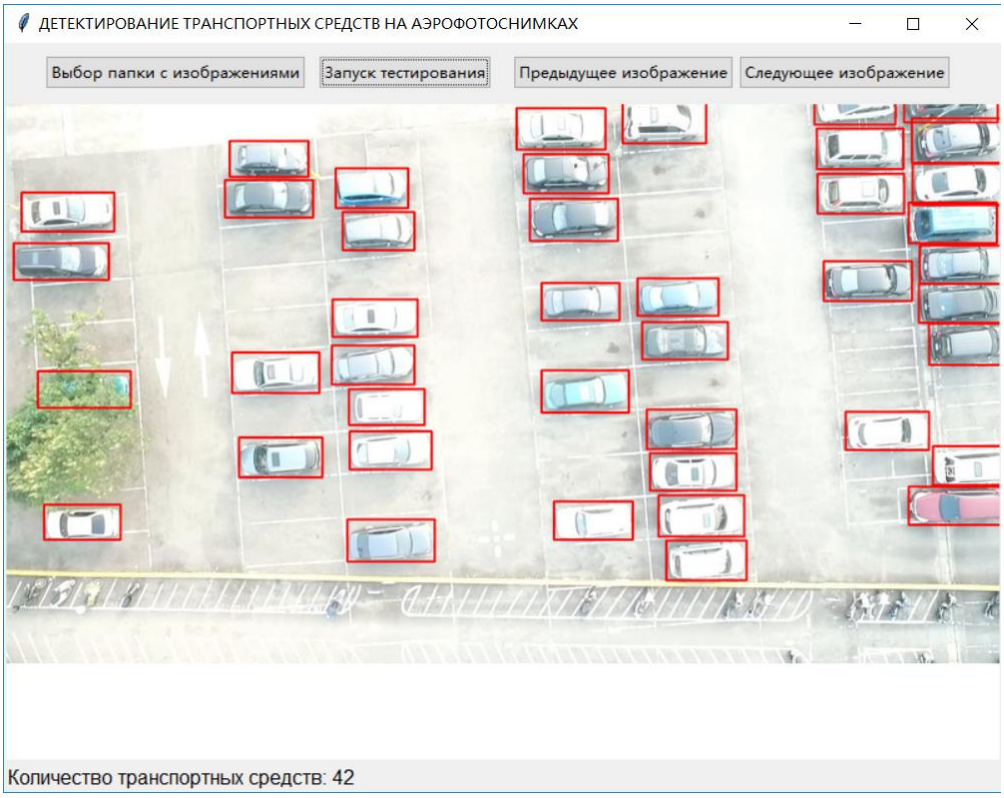


Рис. 2. Результаты визуализации с использованием модели YOLO11

Заключение

В данной работе реализовано исследование моделей сверточных нейронных сетей YOLOv8n и YOLO11n для задач обнаружения транспортных средств на аэрофотоснимках, выполненных на расстояния 40 м. Результат оценки и визуализации показывают, что данные модели обладают достаточной точностью в задаче обнаружения транспортных средств на аэрофотоснимках. В задаче обнаружения транспортных средств на маловысотных аэрофотоснимках YOLOv8n не уступает YOLO11n по точности обнаружения, однако показатели скорости показывают, что YOLOv8n имеет более низкую скорость обнаружения, чем YOLO11n. Полученный результат по скорости вычислений подтверждает эффективность нейронной сети YOLO11n для быстрого и точного обнаружения объектов. Можно сказать, что модель YOLO11n обеспечивает более сильную техническую поддержку для интеллектуальных систем мониторинга дорожного движения с помощью технических устройств и аппаратных средств, работающих на низких расстояниях от земли.

Список использованных источников

1. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You only look once: Unified, real-time object detection // Proc. IEEE Conf. Comput. Vis.Pattern Recognit. (CVPR). – 2016. – P. 779-788.

2. Ultralytics, «Object Detection Models - YOLO11 Documentation» [Электронный ресурс]. – URL: docs.ultralytics.com/tasks/detect/#models/ (дата обращения: 05.03.2025)

3. Car Parking Lot Dataset (CARPK). [Электронный ресурс]. – URL: lafi.github.io/LPN/ (дата обращения: 05.03.2025)

4. Размер партии. [Электронный ресурс]. – URL: ultralytics.com/ru/glossary/batch-size (дата обращения: 05.03.2025)

5. Ultralytics YOLOv8. [Электронный ресурс]. – URL: docs.ultralytics.com/ru/models/yolov8/ (дата обращения: 05.03.2025)

МЕТОДЫ ПОИСКА АНОМАЛИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Василенко В.И.[1], Сурвилов А.О.[2]
Научный руководитель: Савельев А.О.[3]
[1] НИ ТПУ, студент гр. 8К12 ОИТ, ИШИТР, e-mail: viv8@tpu.ru
[2] НИ ТПУ, студент гр. 8К12 ОИТ, ИШИТР, e-mail: aos45@tpu.ru
[3] НИ ТПУ, к.т.н., доцент ОИТ, ИШИТР, e-mail: sava@tpu.ru

Аннотация

Данная работа посвящена методам поиска аномальных публикаций социальных сетей среди набора семантически схожих. Статья рассматривает применение методов машинного обучения для решения данной задачи, а именно анализ эмоционального окраса и выделение именованных сущностей.

Ключевые слова: Обработка естественного языка, машинное обучение, социальные сети, hugging face, эмоциональный окрас, Reddit, NER, кластеризация.

Введение

На данный момент в связи со стремительным развитием web-технологий существенная часть социальных коммуникаций производится при помощи социальных сетей. Это делает социальные сети важным источником данных для проведения социальных исследований. Однако большой объем данных ведет к тому, что исследователи вынуждены решить множество подготовительных задач во время проведения исследований, таких как сбор и поиск целевой информации. В связи с этим возникает потребность автоматизации этих процессов.

Одной из важных задач в рамках социальных исследований является поиск аномалий среди публикаций социальных сетей, которые представляют собой публикации, вызывающие нестандартные реакции среди участников сообщества или которые сами выделяются по каким либо критериям среди остальных постов. Анализ данных публикаций может помочь в изучении аудитории, которая участвует в дискуссии, а также причины, по которым возникают данные аномалии. Кроме того, поиск и устранение аномалий выступает важным этапом подготовки данных для исследования. В связи с этим в рамках данной работы было решено рассмотреть методы автоматизации обнаружения аномалий среди публикаций сообществ в социальной сети, основанные на моделях машинного обучения. Аномальные публикации– это такие посты, реакция на которые сильно отличается (метод трех сигм) от реакции на семантически схожие, например, внутренними метриками числом ответов, лайков и другими. Однако эти метрики не всегда могут быть информативны, кроме того, они не позволяют выявить причины аномальности. В связи с этим предлагается использовать методы машинного обучения для решения этой задачи. Как итог цель данной работы оценить смогут ли методы машинного обучения предоставить дополнительные критерии для выявления аномальных публикаций. Для достижения этой цели планируется выполнить следующий список работ.

1. Выбор сообщества для анализа и сбор данных.
2. Разбиение данных на семантически схожие подгруппы.
3. Выявление аномальных постов на основе метрик социальной сети.
4. Выявление дополнительных маркеров для поиска аномалий, на основе эмоциональной оценки и выявления именованных сущностей.

Сбор и подготовка данных

Сбор необходимых для работы данных осуществлялся в социальной сети Reddit, при помощи официального API данной платформы. API Reddit позволил собрать данные о 58179 записях из сообщества minipainting, каждая из которых является либо публикацией либо

комментарием к публикации. После сбора данных был отдельно выделен датасет [1] содержащий только информацию о постах общим количеством 998. Изначальные данные, полученные при помощи API содержат поля, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Свойства набора данных, извлечённого из Reddit

Название	Описание	Наличие пропусков
full_name	Идентификатор текстовой записи из Reddit API.	Нет
text_body	Текстовое содержание записи, кодированное в UTF-8, если оно не было удалено автором или модератором.	Да
author_name	Идентификатор автора текстовой записи, если учётная запись не была удалена.	Да
votes	Рейтинг записи.	Нет
responds_to	Идентификатор записи, на которую отвечает данная. Корневая запись не отвечает на другие.	Да
parent_submission_name	Идентификатор публикации, в дереве которой находится данная запись. В корневой записи это свойство не указывается.	Да
submission_flair	Тэг текстовой записи, который един для всего дерева публикации.	Да
created_timestamp	UNIX метка времени создания записи по данным Reddit.	Нет
parsed_timestamp	UNIX метка времени извлечения и сохранения записи.	Нет
controversiality	Отметка о спорности записи по данным Reddit.	Нет

Публикации, полученные в результате прошлого шага, принадлежат сабредиту (сообществу в сети Reddit) с весьма узкой специализацией в связи с чем публикации в сообществе должны быть семантически схожи. Для работы с менее узконаправленными сообществами, где посты не являются гарантированно семантически схожими, необходимо выявить среди общего набора публикаций подгруппы схожих. Для решения данной задачи было решено использовать векторизацию TF-IDF и метод K-means для разбиения на кластеры. Итоговое количество кластеров выбирается исходя из необходимости максимизировать оценку компактности кластера [2] (для гарантирования достаточной семантической схожести), а также из необходимости иметь внутри кластера количество постов, достаточное для проведения анализа.

Следующим этапом производится подсчет комментариев для каждой публикации, после чего опираясь на внутренние метрики Reddit (votes и число комментариев), были выбраны посты имеющие высокий шанс быть аномалией. Под такими постами подразумевается посты имеющие votes выше (или ниже) 90 (10) перцентиля от votes внутри своего кластера, аналогично для комментариев. Таким методом было обнаружено 332 аномалии.

Выявление дополнительных маркеров

Следующим этапом была произведена оценка эмоционального контекста публикаций, для этого было решено использовать модель Emotion English DistilRoBERTa-base [3, 4], данная модель возвращает данные в формате предсказаний 6 эмоций-классов по теории эмоций Пола Экмана и дополнительный нейтральный класс на основе текста. Каждое предсказание оценивает от 0 до 1 (от минимального к максимальному) насколько вероятна данная эмоция в предложенном тексте. После чего для каждой записи были получены эмоциональные оценки поля text_body. Кроме того, для каждой публикации были также определенны средние эмоциональные оценки комментариев к ней. Подсчет производился следующим образом:

1. Расчет эмоциональных предсказаний для текстов в постах и их комментариях.
2. Агрегация эмоциональных предсказаний комментариев с общей публикацией – родителем.
3. Расчёт среднего значения.

Также было решено выделить именованные сущности для каждой публикации. Для этого использовалась модель WikiNEuRal [5]. Данная модель возвращает именованную сущность, ее тип и внутреннюю оценку уверенности модели в правильности. Для того чтобы отсеять возможные ошибки в работе модели было решено отсеять те сущности, уверенность в выявлении которых меньше, чем медиана. Что позволило выявить 418 уникальных сущностей.

После применения данных моделей было решено провести сравнение результатов их работы для публикаций выделенных ранее аномальных публикаций и для остальных публикаций. Для начала было произведено сравнение медиан оценок по каждой эмоции между основным набором и набором аномалий. Были получены, которые показаны в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Сравнение медиан эмоций агрегаций комментариев

Эмоция	Медиана аномалий	Медиана основных данных
Anger	0.042130	0.040181
Disgust	0.021382	0.022143
Fear	0.021628	0.019839
Joy	0.299936	0.304723
Neutral	0.284702	0.284867
Sadness	0.070268	0.071219
Surprise	0.212150	0.213253

Таблица 3. Сравнение медиан эмоций публикаций

Эмоция	Медиана аномалий	Медиана основных данных
Anger	0.012777	0.011814
Disgust	0.004582	0.003996
Fear	0.005812	0.005554
Joy	0.036018	0.050114
Neutral	0.366309	0.337490
Sadness	0.023063	0.022284
Surprise	0.071670	0.075168

Результаты данного анализа приводят к тому, что аномальные публикации и их комментарии практически не отличаются от остальных содержащихся в сабредите. Такие результаты могут быть обусловленным малым объемом датасета, который не позволяет получить более конкретные отличия между эмоциями аномалий и основных данных.

Далее для каждой именованной сущности в датасете с аномалиями было вычислено количество ее упоминаний. После чего было произведено разделение на два набора: набор именованных сущностей и числа их упоминаний для аномальных постов, и для всех постов. Было обнаружено, что большинство сущностей, упоминаемых среди аномальных постов, используется лишь 1. При этом 90,6 процентов всех сущностей, которые упоминаются лишь 1 раз среди всех записей, упоминается именно в аномальных статьях. Это может свидетельствовать, что редкие сущности могут быть маркером аномальной публикации

После чего были рассчитаны медианные значения параметров votes и числа комментариев для всех постов в датасете, которые содержат упоминания самых популярных сущностей среди аномалий. Популярные сущности в данном случае – это такие сущности, число упоминаний которых больше медианы. Результаты расчетов показаны в таблице 4.

Таблица 4. Сравнение медиан постов с аномальными сущностями со всеми

	С упоминанием популярных аномальных сущностей	По всем публикациям
Медиана votes	1801	1147
Медиана комментариев	37	42

Можно заметить разницу в числе votes, в постах с аномальными сущностями медиана данного критерия на 36 процентов выше, чем медиана по всем публикациям. Что может свидетельствовать, что самые популярные среди аномалий сущности тоже могут быть маркером для расширения списка аномалий.

Ограничения

Одним из заметных ограничений в данной работе является точность модели Emotion English DistilRoBERTa-base, используемой для определения эмоциональных предсказаний даже при учете того, что модель обучалась 6 различных датасетах вероятность неверно определяемых эмоциональных весов остаётся. Кроме того, было обнаружено что модель не всегда строит свои выводы исходя из контекста предложенного текста – из-за чего многим речевым оборотам присваиваются неверные эмоции. Также не стоит исключать ограниченность объема данных, собранных для анализа что может привести к тому что на определенных данных в силу их специфики результаты могут сильно варьироваться.

Таким же важным является ограничение работы модели WikiNEuRal которая также способна на неверное определение именованных сущностей.

Заключение

В ходе работы было проведено исследование на тему способности методов машинного обучения выявить новые маркеры для поиска аномальных публикаций в социальных сетях. Был реализован механизм выявления семантически схожих групп при помощи кластеризации с последующим выявлением аномалий в этих группах, которые позже были обработаны методами машинного обучения. По итогам чего было выявлено, что эмоциональный окрас не может являться точным маркером для выявления аномальных публикаций. Однако учитывая как ограничения датасета, так и самой модели полученный результат требует дополнительных исследований.

Кроме того, было обнаружено, что именованные сущности также могут быть маркером для дополнительного выявления аномальных постов. При помощи отбора постов, содержащих уникальные для всего датасета именованные сущности, так и при помощи выбора постов, содержащих сущности, которые часто встречаются среди аномалий.

Литература

1. Pandas documentation – pandas 2.2.3 documentation // Pydata.org [Электронный ресурс]. – URL: pandas.pydata.org/docs/ (дата обращения: 16.03.2025).

2. Оценка качества в задаче кластеризации // Ifmo.ru [Электронный ресурс]. – URL: neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Оценка_качества_в_задаче_кластеризации (дата обращения: 16.03.2025).

3. J-hartmann/emotion-english-distilroberta-base · Hugging face // Huggingface.co [Электронный ресурс]. URL: huggingface.co/j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base (accessed: 16.03.2025).

4. Transformers // Huggingface.co [Электронный ресурс]. – URL: huggingface.co/docs/transformers/v4.49.0/en/index (accessed: 16.03.2025).

5. Babelscape/wikineural-multilingual-ner · Hugging Face // Huggingface.co [Электронный ресурс]. – URL: huggingface.co/Babelscape/wikineural-multilingual-ner (accessed: 16.03.2025).

ДИАГНОСТИКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Тарасов Б.В. [1], *Тимошкин В.В.* [2], *Борисова М.А.* [3]
[1] *НИ ТПУ, г. Томск (студент гр. 8Е12 ОАР, ИШИТР), e-mail: bvt2@tpu.ru*
[2] *НИ ТПУ, г. Томск (доцент ОАР, ИШИТР), e-mail: timoshkinvv@tpu.ru*
[3] *АО «СТНГ», г. Томск, e-mail: mari.borisova@stng.ru*

Аннотация

В статье рассматривается использование сверточной нейронной сети YOLOv8m для выявления дефектов сварных соединений на основе радиографических изображений. Исследование включает анализ существующих методов неразрушающего контроля, выбор подходящей архитектуры свёрточной нейронной сети, подготовку и разметку данных, а также обучение модели для детектирования и классификации дефектов сварных соединений.

Ключевые слова: сверточные нейронные сети, YOLOv8, сварные швы, радиографический контроль, неразрушающий контроль, дефекты сварки, компьютерное зрение.

Введение

Предприятия, связанные с производством и обучением сварщиков, сталкиваются с необходимостью эффективного контроля качества сварных соединений. Традиционные подходы требуют значительных временных и материальных затрат, особенно при анализе большого количества снимков в условиях интенсивного потока данных. Современные технологии и методы, используемые в радиографическом контроле, могут существенно повысить эффективность и снизить затраты. Одним из перспективных направлений является внедрение автоматизированных систем обработки изображений, основанных на алгоритмах машинного обучения и компьютерного зрения.

Разработка и применение нейросетевых технологий является важной задачей для таких предприятий, как АО «Стройтранснефтегаз», которые занимаются обучением и аттестацией сварщиков. В таких компаниях может накапливаться большой объем данных с изображениями сварных соединений, которые нужно оперативно обрабатывать. Применение нейронных сетей, при анализе рентгеновских снимков, позволит существенно ускорить обработку данных и повысить точность выявления дефектов. Такая система будет выполнять предварительную оценку качества сварных швов, давая возможность дефектоскопистам концентрироваться на наиболее сложных и неоднозначных случаях, повышая производительность труда и снижая нагрузку на специалистов.

Целью данной работы является разработка диагностической системы для выявления дефектов сварных швов с применением нейронных сетей. Данная система станет эффективным вспомогательным инструментом для дефектоскопистов.

Обзор решений

Современные исследования подтверждают эффективность применения искусственных нейронных сетей для детектирования и классификации дефектов сварных швов по радиографическим изображениям. В работе [1] показано, что использование искусственных нейронных сетей совместно с предварительной обработкой изображений обеспечивает высокую точность классификации различных дефектов, достигая 94,29 %, с отдельными дефектами до 100 %. Авторы исследования [2] предложили глубокую нейронную сеть (DNN), интегрирующую многоуровневые признаки, и добились средней точности классификации 91,36 %, значительно превышающей показатели традиционных подходов, таких как SVM и стандартные DNN.

В исследовании [3] был проведен сравнительный анализ искусственных нейронных сетей (ANN) и адаптивных нейро-нечётких систем (ANFIS), где ANFIS продемонстрировала преимущество, достигнув точности 82,6 % за счёт интеграции экспертных знаний. В статье [4] рассматривалась проблема несбалансированных данных при использовании глубоких сверточных нейронных сетей (DCNN). Авторы применили методы ресемплинга и получили среднюю точность 97,2 %, подчеркнув важность глубины сети и балансировки данных для повышения точности классификации.

В работе [5] использовалась модель на основе автоэнкодеров (SAE) и классификатора Softmax, которая показала максимальную точность классификации до 91,84%. Исследование [6] демонстрирует применение Mask R-CNN для задач сегментации, где модель эффективно выделяет объекты, что также подтверждает эффективность сверточных архитектур.

Наиболее перспективным подходом для задач детекции и классификации дефектов на радиографических снимках является архитектура YOLO, о чём свидетельствуют результаты исследования [7], где YOLOv8 продемонстрировала оптимальное сочетание высокой точности (94 %) и производительности по сравнению с другими моделями. Выбор архитектуры YOLO в настоящем исследовании обусловлен именно её способностью обеспечить быстрое и точное распознавание дефектов, что критически важно в условиях интенсивного анализа больших объёмов данных.

Таким образом, анализ литературы подтверждает обоснованность выбора архитектуры YOLO для решения задач диагностики сварных соединений, благодаря её высокой точности, скорости обработки и низким требованиям к вычислительным ресурсам.

Описание роботизированной системы цифровой радиографии «Трансскан»

Исследование проводилось на базе роботизированной системы цифровой радиографии «Трансскан», предназначенной для диагностики качества сварных соединений без нарушения целостности материала. Данная система формирует радиографическое изображение при помощи плоскопанельного детектора, который регистрирует рентгеновское излучение от источника ионизирующего излучения. Полученные данные передаются беспроводным способом на портативный компьютер оператора, оснащённый программным продуктом «Дисофт». На рис.1 представлена механическая компоновка устройств системы на трубе (рис. 1, а), а также схема передачи данных и взаимодействия элементов системы (рис. 1, б).

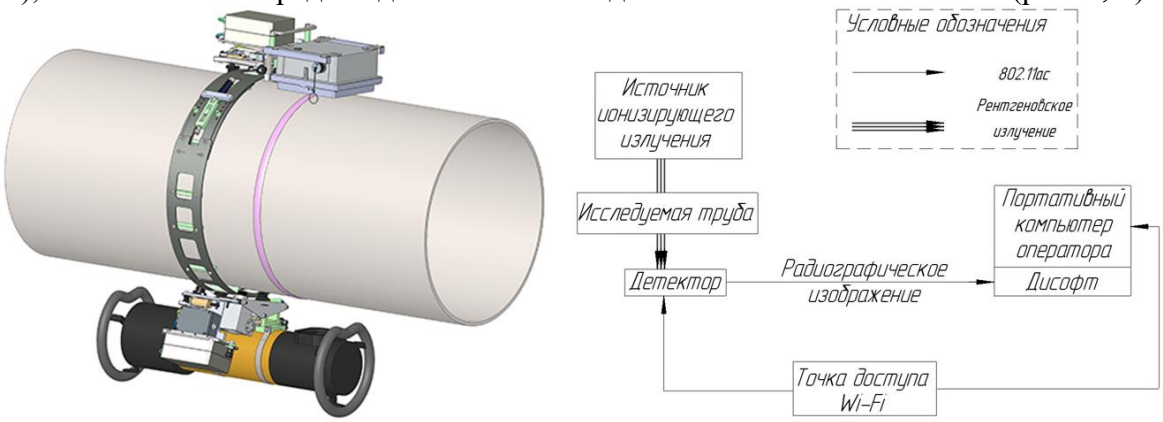
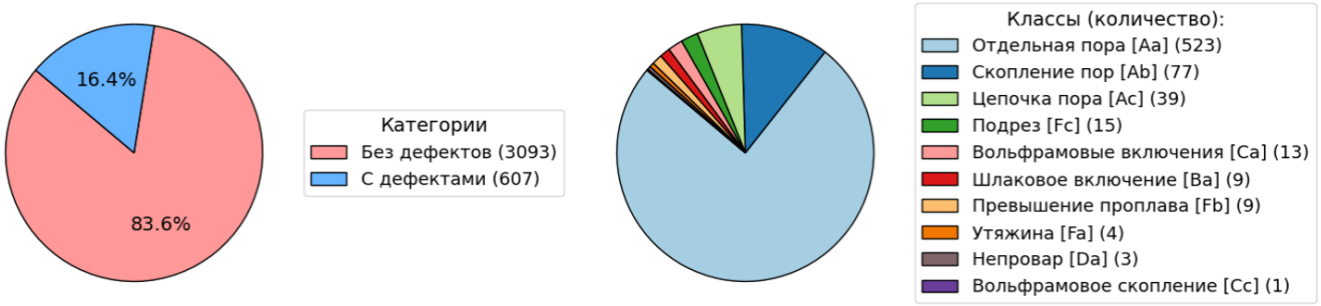


Рис. 1. Схема и принцип работы системы цифровой радиографии «Трансскан»:
а – механическая компоновка устройств на трубе,
б – схема передачи данных и взаимодействия элементов системы

Подготовка и разметка данных

С АО «Стройтранснефтегаз» было получено 1455 файлов формата «DCM», для программы «Дисофт». В дальнейшем ко всем изображениям было применено минимальное

выравнивание, позволяющее сгладить фоновые неравномерности, а затем была использована оптимизация яркости по прямоугольной области. В результате было получено 3698 фотографий сварных швов, которые затем были размечены в соответствии ГОСТ 23055-78, и выделено 10 классов дефектов согласно ГОСТ 7512-82. После разметки всех изображений было установлено, что число фотографий без дефектов значительно превышает количество изображений с дефектами. Распределение изображений по наличию дефектов представлено на рис. 2, а. Анализ распределения классов дефектов, представленный на рис. 2, б показал, что на поры приходится 92,2% всех выявленных дефектов, что указывает на выраженный дисбаланс классов. В связи с этим для дальнейших исследований были отобраны только три класса с наибольшим числом образцов.



а) б)

Рис. 2. Круговые диаграммы распределения фотографий:
а – распределение по наличию дефектов; б – распределение по классам дефектов

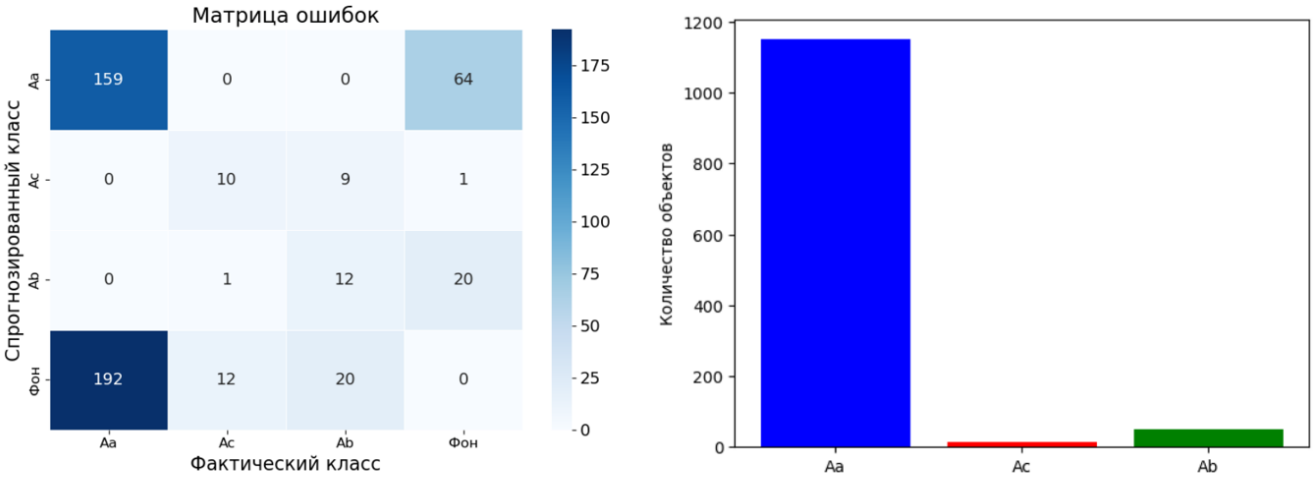
Обучение модели

На следующем этапе была выполнена процедура обучения нейронной сети YOLOv8m. Для формирования выборок были использованы данные трёх наиболее представленных классов: 70 % снимков отнесли к обучающему набору, 20 % – к валидационному и 10 % – к тестовому. На первом шаге обучения сеть тренировали в течение 100 эпох при размере входного изображения 1024 пикселя.

Матрица ошибок (рис. 3, а) показывает, что модель YOLOv8 демонстрирует удовлетворительные результаты в распознавании класса Aa, однако фон часто ошибочно распознаётся как дефект данного класса. В то же время точность распознавания классов Ab и Ac значительно ниже. Основной причиной этого является выраженный дисбаланс обучающей выборки (рис. 3, б), в которой класс Aa существенно преобладает по числу примеров. Подобный дисбаланс приводит к смещению предсказаний модели в сторону доминирующего класса и, как следствие, к снижению качества распознавания менее представленных классов. Метрики, полученные на тестовой выборке представлены в таблице 1.

Таблица 1. Метрики точности по классам на тестовой выборке

Класс	Количество фотографий	Количество объектов	Precision	Recall	mAP50	mAP50-95
Aa	49	133	0,457	0,575	0,498	0,178
Ac	5	5	0,334	0,4	0,3	0,103
Ab	11	11	0,145	0,455	0,301	0,176
Среднее значение			0,366	0,476	0,366	0,152



а) б)

Рис. 3. Результаты валидации модели:
а – матрица ошибок; б – распределение объектов по классам

Затем были проведены эксперименты по исследованию влияния различных гиперпараметров модели на точность детекции дефектов. Однако полученные изменения не дали существенного прироста качества модели. В связи с этим было решено сформировать новый набор данных из 100 изображений, содержащих преимущественно один доминирующий класс дефектов. Дополнительно применялся фильтр с максимальным выравниванием изображений, позволивший улучшить визуальную различимость дефектов и повысить точность ручной разметки данных. На основе данного набора изображений были проведены исследования влияния различных гиперпараметров, результаты которых представлены в таблице 2.

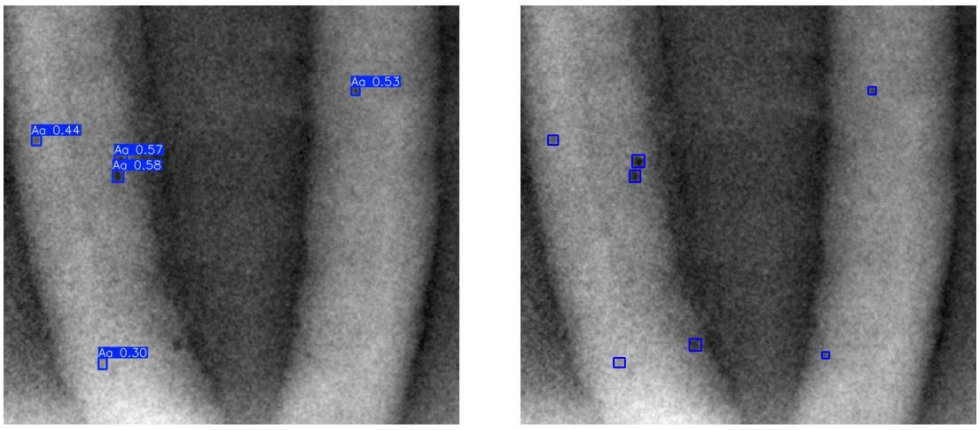
Таблица 2. Влияние гиперпараметров на точность модели

Количество эпох	100	200	100	100	100	100	100	100	100
Разрешение изображения	1024	1024	1152	1280	1408	1024	1024	1280	640
Аугментация	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Выбор модели	m	m	m	m	m	l	x	m	m
Batch size	4	4	4	4	4	4	4	8	16
Использовано памяти GPU	4,5 G	4,5 G	5,4 G	6,5 G	7,8 G	6,7 G	8,5 G	10,6 G	6,9 G
Время обучения, мин	14	26	17	17	20	18	31	15	7
Среднее арифметическое метрик	0,749	0,717	0,689	0,752	0,723	0,713	0,701	0,741	0,732

Результаты

В результате проведённых экспериментов наилучшие показатели были получены при использовании модели YOLOv8m, обученной на протяжении 100 эпох, с разрешением входных изображений 1280 пикселей, применением методов аугментации и batch size, равным 4. При пороге уверенности 0,25 итоговые значения метрик составили: Precision = 1,0, Recall = 0,7076, mAP50 = 0,8072, mAP50-95 = 0,4956. Высокое значение Precision говорит об отсутствии ложных срабатываний, то есть все обнаруженные дефекты идентифицированы моделью корректно. Однако относительно низкое значение Recall свидетельствует о том, что примерно 30 % дефектов были пропущены моделью. Средняя точность при пороге IoU ≥ 0,5 демонстрирует удовлетворительную локализацию объектов, но существенное снижение точности при увеличении диапазона IoU (от 0,5 до 0,95) указывает на необходимость дальнейшего совершенствования модели для повышения полноты обнаружения дефектов. Ниже приведено сравнение результатов работы модели и исходной ручной разметки дефектов на одном и том же изображении. На изображении рис. 4а представлены дефекты,

обнаруженные нейронной сетью, с соответствующими значениями уверенности модели; на изображении рис. 4, б отображена исходная разметка, выполненная вручную.



(а) (б)

Рис. 4. Сравнение предсказаний модели и исходной разметки
а – предсказанная разметка модели, б – ручная разметка изображений

Заключение

В результате проведённого исследования была разработана модель на основе сверточной нейронной сети YOLOv8m, предназначенная для распознавания дефектов сварных соединений по цифровым радиографическим изображениям. Полученные результаты подтвердили эффективность предложенного подхода и позволили определить оптимальные параметры модели. Вместе с тем, выявленное ограничение, связанное с недостаточной полнотой (Recall = 0,7076), указывает на необходимость увеличения набора изображений различных дефектов. Это даст возможность улучшить работу нейронной сети, повысив её способность к детекции и классификации более широкого спектра дефектов.

При сопоставлении разработанной модели с аналогичными исследованиями [1–5] следует отметить, что достигнутые показатели точности (Precision, Recall, mAP50 и mAP50–95) в настоящее время уступают известным результатам. В опубликованных работах сообщается о точности распознавания дефектов на уровне от 82 % до 94 %, а при использовании специализированных глубоких сетей с балансировкой классов достигаются значения до 97,2 %. Основными причинами более низкой результативности в рамках данной работы являются ограниченный объём и выраженная несбалансированность набора данных.

Однако разработанная модель обладает важным преимуществом по скорости обработки данных. Среднее время анализа одного радиографического изображения составляет около 88,7 мс на GPU RTX 3060, что эквивалентно примерно 11 кадрам в секунду (FPS). В аналогичных исследованиях параметры быстродействия зачастую не приводятся явно. Таким образом, предложенная модель демонстрирует превосходство по скорости обработки по сравнению с большинством известных решений. Это преимущество особенно ценно для мобильных радиографических комплексов, таких как система «Трансскан», которая комплектуется с высокопроизводительными ноутбуками, обеспечивая оперативное выявление дефектов непосредственно в полевых условиях.

Таким образом, применение разработанной нейросетевой модели позволяет расширить арсенал технологий в области неразрушающего контроля сварных соединений и в перспективе повысить общую эффективность процесса выявления дефектов. Для дальнейшего развития системы необходимо сконцентрироваться на расширении обучающего набора данных и проведении дополнительных исследований, направленных на повышение точности и полноты распознавания дефектов.

Список использованных источников

1. Al-Ghamdi S.A., Emam A.S., Abouelatta O.B. Automatic classification of welding defects using neural network and image processing techniques // Albaha University Journal of Basic and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 1, Issue 1. – P. 17–25.

2. Yang L., Jiang H. Weld defect classification in radiographic images using unified deep neural network with multi-level features // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2020.

3. Zapata J., Vilar R., Ruiz R. Performance evaluation of an automatic inspection system of weld defects in radiographic images based on neuro-classifiers // Expert Systems with Applications. – 2011. – Vol. 38, Issue 7. – P. 8812–8824.

4. Hou W., Wei Y., Jin Y., Zhu C. Deep features based on a DCNN model for classifying imbalanced weld flaw types // Measurement. – 2019. – Vol. 131. – P. 482–489.

5. Hou W., Wei Y., Guo J., Jin Y., Zhu C. Automatic detection of welding defects using deep neural network // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 933. – Article ID 012006.

6. Клехо Д.Ю., Карелина Е.Б., Батырев Ю.П. Использование технологии сверточных нейронных сетей в сегментации объектов изображения // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2021. – Т. 25, № 1. – С. 140-145.

7. ГОСТ 7512–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. – Москва: Изд-во стандартов, 1982. – 39 с.

8. ГОСТ 23055–78. Контроль неразрушающий. Дефекты сварных соединений при радиографическом контроле. Классификация и обозначения. – Москва: Изд-во стандартов, 1978. – 8 с.

МОДЕЛИ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLO ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ОБЪЕКТОВ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

Тятюшкин И.М. [1], *Кравченко А.А.* [2]
[1] *НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8И11, студент, imt12@tpu.ru,*
[2] *НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8И11 студент, aak310@tpu.ru*

Аннотация

В работе проведены комплексные исследования и выполнен сравнительный анализ полученных результатов для моделей сверточных нейронных сетей семейств YOLOv5 и YOLOv7, входящих в класс YOLO. Исследования проведены при решении задачи объектного детектирования на изображениях летающих объектов четырех классов.

Ключевые слова: сверточные нейронные сети YOLO, объектное детектирование на изображениях летающих объектов.

Введение

Сверточные нейронные сети (СНС) стали неотъемлемой частью современных систем компьютерного зрения, благодаря своей способности эффективно обрабатывать и анализировать изображения. Одной из наиболее известных и широко используемых моделей СНС являются модели класса YOLO (англ. You Only Look Once), которые выделяются своей высокой скоростью вычислений и довольно высокой точностью при решении задач объектного детектирования (обнаружения, позиционирования и классификации) на изображениях объектов различной физической природы [1, 2]. Однако получены только первые результаты комплексных исследований отдельных моделей из класса YOLO в случае детектирования на изображениях летающих объектов (ЛО) воздушного пространства. Это указывает на актуальность проведения таких исследований современных моделей YOLO с использованием соответствующих датасетов [3].

В данной статье рассмотрены модели СНС семейств YOLOv5 и YOLOv7 класса YOLO. Комплексные исследования этих моделей проведены при решении задачи объектного детектирования на изображениях объектов воздушного пространства четырех классов.

Выбор моделей СНС класса YOLO для проведения исследований

Анализ показывает, что среди наиболее известных и широко используемых моделей СНС для решения задач объектного детектирования на изображениях выделяют модели класса YOLO [2]. Они имеют высокую скорость вычислений и довольно высокую точностью детектирования объектов на изображениях. Однако появились только отдельные результаты исследований первых моделей из класса YOLO в случае детектирования объектов воздушного пространства на изображениях. Поэтому сегодня актуально проведение комплексных исследований более современных моделей YOLO. При этом имеет смысл рассматривать и исследовать эффективность моделей СНС класса YOLO с наиболее современными архитектурами, начиная с моделей семейства YOLOv5 [4,5] и заканчивая уже известными по ряду решенных прикладных задач моделями семейства YOLOv7 [6,7]. Модели семейств YOLOv5 и YOLOv7 представляют собой значительные улучшения первых моделей СНС класса YOLO, причем каждая из них имеет свои уникальные особенности и преимущества. Кратко рассмотрим особенности моделей этих семейств.

Архитектура и особенности моделей семейства YOLOv5. Пять моделей этого семейства обладают модульной архитектурой, что позволяет легко настраивать и оптимизировать их под конкретные задачи [4,5]. Отличительной чертой этих моделей является высокая скорость обработки и анализа изображений, что делает их подходящей для задач, требующих решения в реальном времени. Модели YOLOv5 используют различные оптимизации, такие как CSP

(англ. Cross Stage Partial) блоки, которые улучшают производительность моделей без значительного увеличения вычислительных затрат. Следует отметить простоту использования: модели YOLOv5 предоставляет удобные инструменты и библиотеки для обучения и развертывания моделей, что упрощает их интеграцию в существующие системы. Модели YOLOv5 широко используются в задачах, где требуется баланс между скоростью и точностью детектирования объектов на изображениях.

Архитектура и особенности моделей семейства YOLOv7. При создании архитектуры моделей этого семейства использованы передовые методы, такие как расширенные сверточные слои и улучшенные механизмы обучения. Это позволяет моделям достигать высокой точности детектирования даже на сложных наборах данных. Модели показывают повышенную точность, поскольку основное внимание разработчики уделили улучшению точности детектирования объектов. Для этого используются сложные архитектурные решения [6, 7], такие как E-ELAN (англ. Extended Efficient Layer Aggregation Network), которые позволяют более эффективно извлекать и агрегировать признаки объектов на изображениях. Модели сохранили производительность**:** несмотря на увеличение точности, модели YOLOv7 сохраняют приемлемую скорость обработки, что делает их подходящими для решения задач, требующих высокой точности без значительного увеличения вычислительных затрат. Считается, что модели семейства YOLOv7 идеально подходят для задач, где требуется максимальная точность детектирования, таких как медицинская диагностика, анализ изображений высокого разрешения и сложные сцены с большим количеством объектов.

Постановка задачи исследований

Для проведения комплексных исследований были выбраны, как это показано выше в результате проведенного краткого анализа, современные модели семейств YOLOv5 и YOLOv7. Эффективность этих моделей по точности детектирования объектов на изображениях и по скорости их вычисления необходимо выявить в ходе комплексных исследований. Из этих семейств для исследований выбраны:

- YOLOv5s (одна из наиболее быстродействующих моделей из семейства YOLOv5) и YOLOv5x (наиболее точная модель из этого семейства).
- YOLOv7 (базовая модель семейства YOLOv7) и YOLOv7x (расширенная модель - с большим числом сверточных слоев - и поэтому наиболее точная модель семейства).

Цель комплексных исследований этих четырех моделей – выявить точность детектирования ЛО четырех классов на изображениях и оценить скорость вычисления каждой из этих моделей. По сути, в результате исследований следует определить, какая из четырех моделей наиболее эффективна при решении задач детектирования ЛО на изображениях.

В качестве ЛО на изображениях используются объекты следующих четырех классов:

- Птица (bird).
- Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) самолётного типа (aircraft-type_uav).
- БПЛА вертолётного типа (helicopter-type_uav).
- Неизвестный объект (unknown).

Для оценки точности детектирования ЛО на изображениях используются метрики: precision, recall, AP@50, AP@50:95 и для всех классов ЛО - mAP@50, mAP@50:95. Оценка времени обработки и анализа изображений для каждой модели осуществляется по метрике FPS - количество обрабатываемых и анализируемых изображений в секунду.

Разработанный датасет

Для проведения исследования нами был создан набор данных (датасет), включающий размеченные RGB-изображения ЛО упомянутых выше четырех классов. При формировании набора данных использовались изображения из общедоступных датасетов платформы Kaggle [8], а также самостоятельно отобранные изображения. Важно отметить, что объекты

представлены в различных размерах, условно делящихся на малые (площадь не более 32x32 пикселя), средние (от 32x32 до 96x96 пикселей) и крупные (свыше 96x96 пикселей). Датасет состоит из 3430 изображений размером 640x640 пикселей, на которых присутствуют как одиночные ЛО, так и множественные, в том числе разных классов (всего размечено 5880 объектов). При решении задачи изменения дисбаланса числа изображений по классам применялись методы аугментации. Размеченные на изображениях летающие объекты распределились следующим образом: 1870 БПЛА вертолетного типа, 1748 самолетного, 1402 птицы и 860 неизвестных объектов.

Обучение и валидация моделей из семейств YOLOv5 и YOLOv7

Обучение проводилось на онлайн-платформе Kaggle с использованием вычислительного устройства GPU T4 x2. Платформа предоставляет до 30 часов в неделю бесплатно, что позволило провести обучение и комплексные исследования выбранных четырех моделей.

*Параметры обучения***.** Для объективности сравнения все модели обучались с одинаковыми гиперпараметрами:

- Batch size = 32 – оптимальный размер для баланса между скоростью и стабильностью
- Image Size = 640x640 – в соответствии с размером изображений в датасете
- Epochs = 100 – для глубокого анализа изображения (динамика обучения).

*Результаты обучения***.** Процесс обучения проходил одинаково для всех моделей: потери уменьшались с каждой пройденной эпохой, а значения метрик росли. Также на графиках рисунка 1 нельзя заметить ярких признаков переобучения или выхода на плато, что говорит о целесообразности дальнейшего обучения.

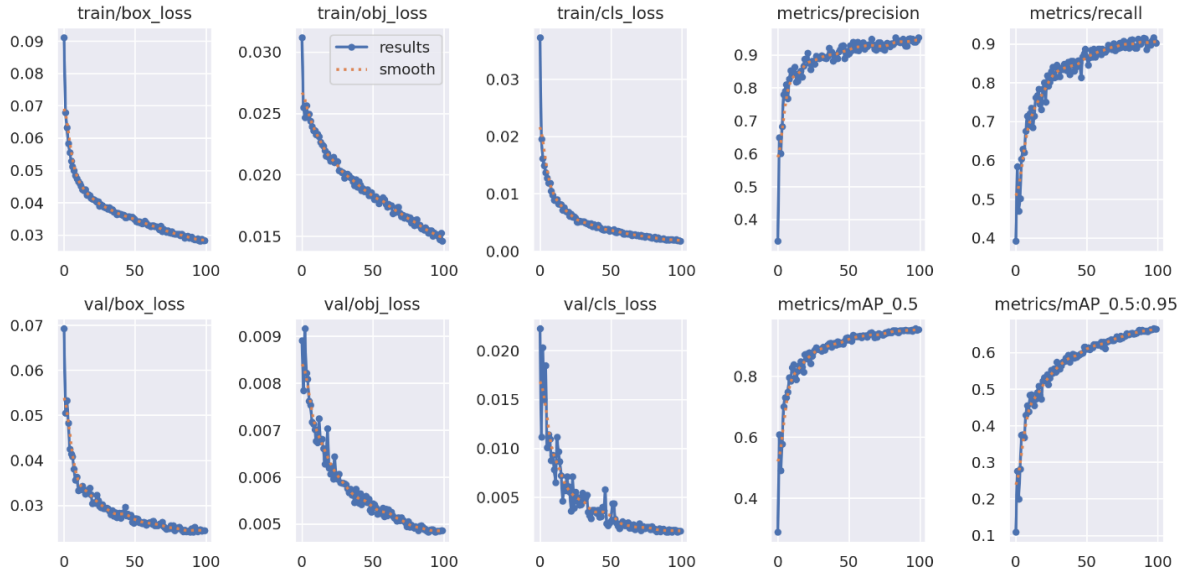


Рис. 1. Графики значений функции потерь и метрик в процессе обучения модели YOLOv5s

Информация о времени обучения каждой модели приведена в таблице 1.

Таблица 1. Сводные данные по времени обучения моделей СНС

Модель	YOLOv5s	YOLOv5x	YOLOv7	YOLOv7x
Время обучения (в часах)	6.97	5.96	18.71	28.37

Неожиданным результатом является превосходство по скорости обучения старшей модели YOLOv5x над младшей YOLOv5s. Возможно это связано с более эффективным разделением нагрузки на два графических ускорителя, в то время как модель YOLOv5s обучалась на одном ускорителе. Также можно видеть, что модели семейства YOLOv7 обучаются значительно дольше моделей младшего семейства, возможно это связано с менее

оптимизированной имплементацией. Так как обучение этих моделей выходило за рамки сессии в 12 часов, использовался параметр resume, чтобы продолжать обучение в новой сессии.

Все модели были провалидированы по итогам обучения. Результаты валидации представлены в виде значений метрик точности детектирования ЛО в таблице 2.

Таблица 2. Результаты по точности детектирования ЛО при валидации моделей

Class and Model / Metric	Precision	Recall	AP@50	AP@50:95
Aircraft YOLOv5s	**0.936**	**0.912**	**0.946**	**0.673**
Aircraft YOLOv5x	**0.978**	**0.929**	**0.981**	**0.777**
Aircraft YOLOv7	**0.935**	**0.834**	**0.931**	**0.712**
Aircraft YOLOv7x	**0.968**	**0.879**	**0.947**	**0.723**
Bird YOLOv5s	0.938	0.941	0.977	0.645
Bird YOLOv5x	0.966	0.974	0.985	0.730
Bird YOLOv7	0.923	0.921	0.917	0.615
Bird YOLOv7x	0.964	0.885	0.934	0.627
Helicopter YOLOv5s	**0.989**	**0.929**	**0.961**	**0.705**
Helicopter YOLOv5x	**0.982**	**0.932**	**0.977**	**0.777**
Helicopter YOLOv7	**0.967**	**0.897**	**0.964**	**0.691**
Helicopter YOLOv7x	**0.978**	**0.920**	**0.966**	**0.708**
Unknown YOLOv5s	0.894	0.884	0.941	0.638
Unknown YOLOv5x	0.957	0.929	0.968	0.760
Unknown YOLOv7	0.959	0.848	0.942	0.674
Unknown YOLOv7x	0.901	0.875	0.939	0.705
Class and Model / Metric	Precision	Recall	mAP@50	mAP@50:95
All YOLOv5s	**0.939**	**0.916**	**0.956**	**0.665**
All YOLOv5x	**0.971**	**0.941**	**0.978**	**0.761**
All YOLOv7	**0.946**	**0.875**	**0.938**	**0.673**
All YOLOv7x	**0.953**	**0.890**	**0.946**	**0.691**

По результатам из этой таблицы можно считать, что при валидации модель YOLOv5x лидирует по всем ключевым метрикам точности детектирования: mAP@50=0.978, mAP@50:95=0.761, Precision=0.971, Recall=0.941.

Результаты исследования моделей СНС

Все модели были исследованы (тестированы) с использованием одинаковой тестовой выборки. Ниже приведена таблица 3, в которой содержится время, затраченное каждой моделью на тестирование 514 изображениями размера 640x640 пикселей, среднее время, затраченное на обработку одного изображения из тестового набора данных, а также количество обрабатываемых изображений в секунду (метрика FPS) каждой модели, рассчитанное на основании среднего времени обработки одного изображения.

Таблица 3. Сводные данные по скорости работы моделей

Модель	Общее время тестирования (сек)	Время, затрачиваемое на одно изображение (мс)	FPS
YOLOv5s	19.26	37.47	26.7
YOLOv5x	40.51	78.81	12.7
YOLOv7	27.61	53.72	18.6
YOLOv7x	35.06	68.21	14.7

Несмотря на преимущество по точности детектирования ЛО модели YOLOv5x над остальными моделями – она способна обрабатывать наименьшее количество кадров в секунду

среди всех исследуемых моделей. Этот недостаток, в зависимости от задач, стоящих перед моделью, может стать весомым доводом в пользу выбора более легковесных моделей. Также важно отметить, что модель YOLOv5s с большим отрывом лидирует по скорости работы, при этом не сильно проигрывая в точности, что делает ее хорошим выбором для задач детектирования и классификации объектов в режиме реального времени.

По итогам тестирования моделей были получены значения точности детектирования ЛО по метрикам Precision, Recall, AP@50 и AP@50:95. Эти значения отражены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты по точности детектирования ЛО при тестировании моделей

Class and Model / Metric	Precision	Recall	AP@50	AP@50:95
Aircraft YOLOv5s	**0.980**	**0.848**	**0.941**	**0.676**
Aircraft YOLOv5x	**0.970**	**0.893**	**0.964**	**0.768**
Aircraft YOLOv7	**0.964**	**0.856**	**0.957**	**0.732**
Aircraft YOLOv7x	**0.972**	**0.852**	**0.954**	**0.735**
Bird YOLOv5s	0.974	0.893	0.942	0.676
Bird YOLOv5x	0.988	0.938	0.967	0.729
Bird YOLOv7	0.949	0.875	0.909	0.647
Bird YOLOv7x	0.930	0.883	0.940	0.683
Helicopter YOLOv5s	**0.908**	**0.915**	**0.899**	**0.642**
Helicopter YOLOv5x	**0.921**	**0.932**	**0.918**	**0.719**
Helicopter YOLOv7	**0.930**	**0.894**	**0.910**	**0.668**
Helicopter YOLOv7x	**0.926**	**0.880**	**0.938**	**0.696**
Unknown YOLOv5s	0.924	0.870	0.938	0.677
Unknown YOLOv5x	0.965	0.935	0.979	0.770
Unknown YOLOv7	0.934	0.914	0.945	0.685
Unknown YOLOv7x	0.905	0.870	0.928	0.708
Class and Model / Metric	Precision	Recall	mAP@50	mAP@50:95
All YOLOv5s	**0.947**	**0.882**	**0.930**	**0.668**
All YOLOv5x	**0.961**	**0.925**	**0.957**	**0.747**
All YOLOv7	**0.944**	**0.930**	**0.930**	**0.683**
All YOLOv7x	**0.933**	**0.871**	**0.940**	**0.706**

Для удобства при детальном анализе результатов из таблицы 4 усредненные результаты для всех классов ЛО по точности детектирования по метрике mAP@50 приведены в виде столбчатой диаграммы на рисунке 2.

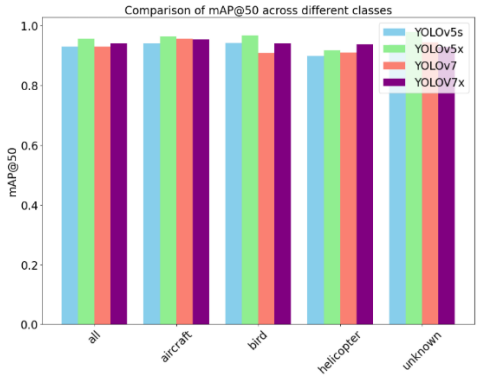


Рис. 2. Столбчатая диаграмма значений метрики mAP@50 для всех классов ЛО и значенийметрики AP@50 *для каждого класса объектов по итогам тестирования всех моделей СНС*

Полученные данные подтверждают сделанный по результатам валидации вывод о превосходстве по точности детектирования модели YOLOv5x над другими исследуемыми

моделями. Однако, не стоит забывать о вычислительной сложности данной модели. В некоторых задачах компьютерного зрения скорость работы модели является приоритетным показателем, что может служить поводом для выбора при решении таких задач более быстрых моделей СНС, таких как, например, YOLOv5s.

Заключение

Наибольшую точность детектирования ЛО на изображениях валидационной выборки датасета продемонстрировала модель YOLOv5x, достигнув следующих значений по метрикам: mAP@50 = 0.978 и mAP@50:95 = 0.761. Аналогичный результат получен и на тестовой выборке. Это подтверждает её эффективность при решении задач, где критически важна точность детектирования. При этом модель YOLOv5s показала наилучшие результаты по скорости обработки изображений - 26.7 кадров в секунду, что делает её предпочтительной при выборе моделей СНС для систем компьютерного зрения реального времени.

Сравнительный анализ результатов исследований моделей семейств YOLOv5 и YOLOv7 выявил, что, несмотря на использование современных архитектурных решений в моделях семейства YOLOv7, эти модели требуют значительно большего времени на обучение и уступают модели YOLOv5x по точности детектирования ЛО. Однако модели семействаYOLOv7 демонстрируют более высокую точность детектирования по сравнению с моделью YOLOv5s, что может быть значимо для решения специализированных задач с менее жесткими требованиями к скорости вычисления моделей СНС.

Полученные результаты свидетельствуют: для большинства практических задач мониторинга воздушного пространства оптимальным решением может являться модель YOLOv5s, обеспечивающая баланс между точностью детектирования ЛО и скоростью ее вычисления. Перспективными направлениями дальнейших исследований могут стать оптимизация всех изучаемых здесь моделей для использования во встраиваемых системах и изучение влияния расширенных методов аугментации на точность детектирования мелких ЛО малых размеров.

Проведенные исследования подтвердили, что модели семейства YOLOv5, в первую очередь, YOLOv5x и YOLOv5s, остаются эффективными инструментами для решения задач детектирования объектов воздушного пространства, а выбор конкретной модели из этого семейства должен определяться требованиями к ее точности при детектированиии ЛО на изображениях и к скорости ее вычислений, а также вычислительными ресурсами проектируемой системы компьютерного зрения в каждом конкретном случае.

Список использованных источников

1. Свёрточная нейронная сеть // Хабрахабр. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/309508/ (дата обращения 01.04.2025).
2. Как работает Object Tracking на YOLO и DeepSort // Хабрахабр. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/514450/ (дата обращения 01.04.2025).
3. Подготовка датасета для машинного обучения // Хабрахабр. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/684580/ (дата обращения 01.04.2025).
4. Ultralytics // YOLOv5: Документация. – [Электронный ресурс]. – URL: docs.ultralytics.com/models/yolov5/ (дата обращения 01.04.2025).
5. Github // YOLOv5 in PyTorch > ONNX > CoreML > TFLite // Репозиторий. – [Электронный ресурс]. – URL: github.com/ultralytics/yolov5 (дата обращения 01.04.2025).
6. Ultralytics // YOLOv7: Документация. – [Электронный ресурс]. – URL: docs.ultralytics.com/models/yolov5 (дата обращения 01.04.2025).
7. Github // Implementation of paper - YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors // Репозиторий. – [Электронный ресурс]. – URL: github.com/WongKinYiu/yolov7 (дата обращения 01.04.2025).
8. Kaggle // Datasets // Сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: kaggle.com/datasets (дата обращения 01.04.2025).

Секция 5. Индустриальное и прикладное программное обеспечение

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ПО ПОДБОРУ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ МАШРУТНЫХ ЛИСТОВ ДЛЯ ПУТЕШЕСТВЕННИКОВ

Сафьянников А.И.[1]
Научный руководитель: Вехтер Е.В.[2]
[1] *НИ ТПУ, ИШИТР, 8К33, e-mail: ais83@tpu.ru*
[2] *НИ ТПУ, ИШИТР, доцент, e-mail: vehter@tpu.ru*

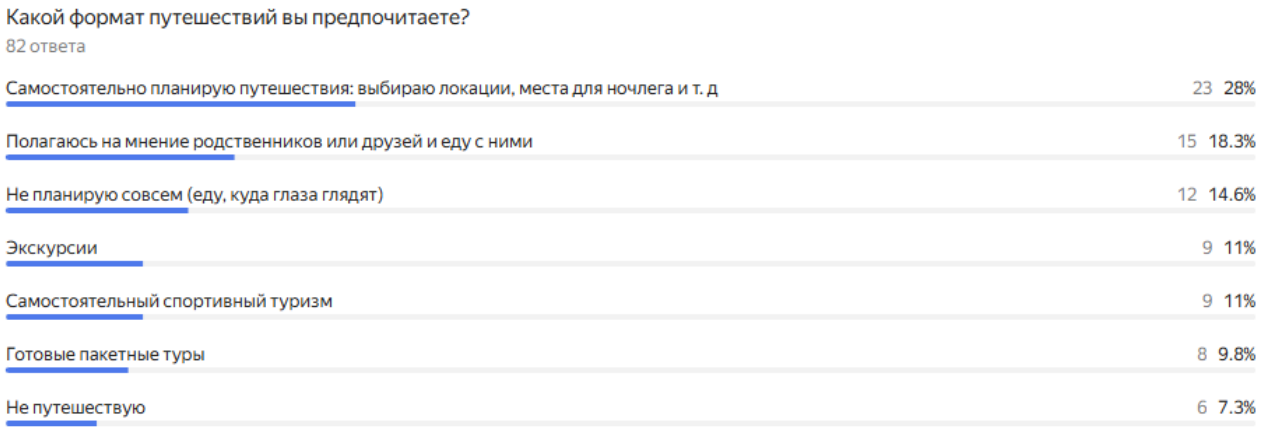
Аннотация

В докладе рассматривается процесс проектирования цифрового ресурса для организации самостоятельных путешествий. Для этого проводится анализ актуальности сервиса для составления персонализированных маршрутных листов, сравнение с конкурентами, их анализ, выявляется проблематика проекта. Представлены результаты работы над web приложением, подробное описание функционала и дальнейших планов разработки проекта.

Ключевые слова: путешествия, Фронтенд, Spring, Java, YandexAPI, JavaScript, HTML, CSS, индивидуальные маршрутные листы, сервис для путешественников.

Введение

В настоящее время в России активно развивается внутренний туризм и самостоятельный вид путешествий. Люди стали всё чаще выбирать этот вид путешествий из-за его доступности и мобильности. Не мало важным преимуществом является то, что одновременно с туризмом развивается и инфраструктура, и сервисы для такого рода путешествий: строятся кемпинги, хостелы, новые дороги, появляются новые маршруты и растёт доступность путешествий. Так же в связи с активным развитием цифровизации и информационных технологий у людей появляется больше возможностей найти материалы для составления индивидуальных маршрутов. Но из-за большого количества информации и её не структурированности для большинства становиться трудно самостоятельно составить маршрут, это вызывает большие временные затраты и не всегда приводит к желаемому результату. Разработка персонализированного, адаптивного и широко функционального цифрового ресурса позволит решить эти проблемы. Для подтверждения вышеописанной гипотезы был проведён опрос для выявления актуальности и проблематики проекта. Было опрошено 38 респондентов. Результаты опроса представлены на рисунке 1.



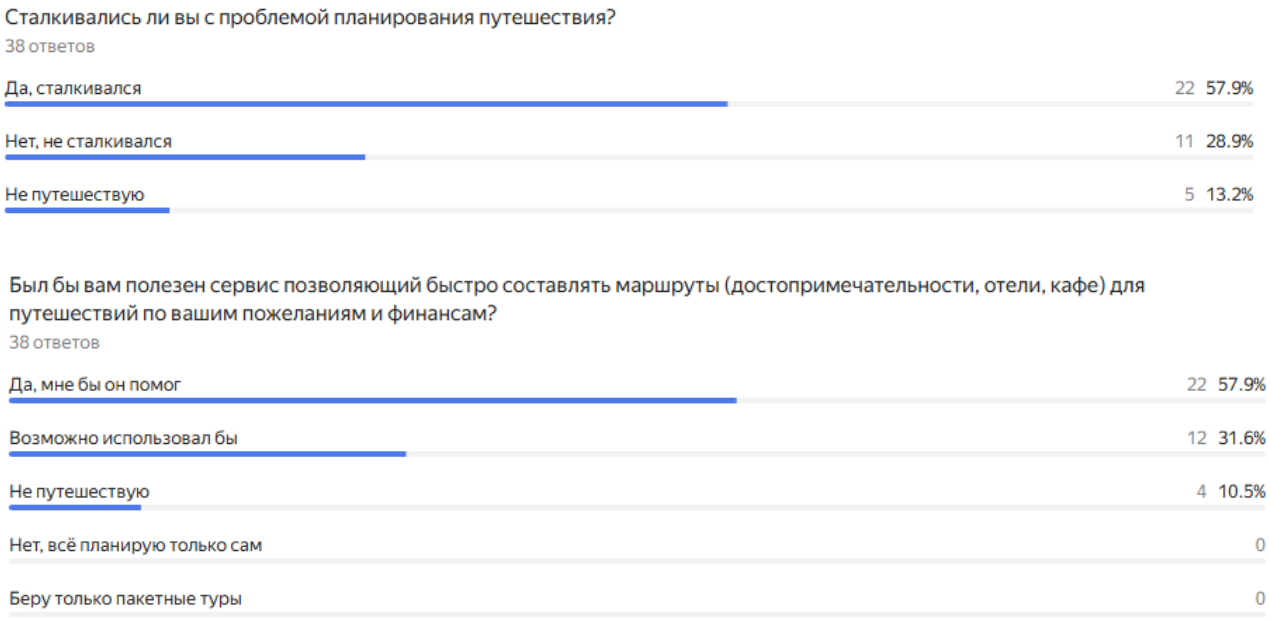


Рис. 1. Результаты опроса

Результаты опроса показывают, что большинство людей путешествуют самостоятельно и сталкиваются с проблемами при планировании путешествий. Потенциальная аудитория заинтересована в создании сервиса для составления индивидуальных маршрутных листов с целью организации самостоятельных путешествий. Целевой аудиторией являются люди с активным образом жизни в возрасте от 25 до 45 лет, с доходом от 50 тысяч рублей в месяц, которые чаще всего сами планируют поездки и одним из основных предпочтений для досуга и отдыха являются путешествия.

Основная часть

Перед проектированием ресурса, для создания новых функций, был проведён анализ конкурентов для выявления их слабых сторон, проблем и преимуществ. Это сайты с готовыми маршрутами, турами, авиабилетами. Результаты анализа представлены в Таблице 1. В основном все подобные сервисы разработаны зарубежными компаниями и направлены больше на международный туризм, это такие сервисы как: TripAdvisor, Airbnb Experiences, Google Travel, Rome2Rio и другие. На Российском рынке, так же есть сервисы для путешествий и постепенно их количество увеличивается: Яндекс Путешествия, Тропинки.ру и другие.

Таблица 1. Результаты анализа конкурентов

Пункт анализа	TripAdvisor	Airbnb Experiences	Google Travel	Rome2Rio
Что предлагают	Платформа для поиска и сравнения достопримечательностей, ресторанов и мест для проживания на основе отзывов пользователей.	Уникальные мероприятия и экскурсии, которые пользователи могут бронировать.	Помощь в планировании поездок, поиск отелей, достопримечательностей и ресторанов на основе пользовательских предпочтений.	Сервис для поиска маршрутов и способов передвижения между городами и странами.

Были замечены следующие тенденции: практически все подобные сервисы предлагают пользователям конкретные места, отели, рестораны, направления и как добраться до тех или

иных мест. Так же большинство из них акцентируют внимание на персонализации и такой сервис, как Тропинки.ру даже предоставляет конкретные маршруты, но в сфере хайкинга. Основные недостатки, которые были замечены указывают на то, что конкуренты фокусируются на популярных направлениях и местах, оставляя нишу для предложений по уникальным и менее известным точкам в рамках городов и регионов. Так-же практически никто из конкурентов не обновляет маршруты в реальном времени, с учётом текущих погодных и дорожных условий.

В результате анализы были сделаны выводы, что ниша составления готовых персонализированных маршрутных листов в Сибирском регионе является мало конкурентной и с не большим количеством функционала по персонализации. Исходя из этого и была начата работа над web приложением «В Путь».

Архитектура проекта

Для реализации проекта была выбрана микро сервисная архитектура из-за её гибкости в масштабировании и отказоустойчивости отдельных сервисов.

Основные микросервисы:

1. Сервис аутентификации - Регистрация, аутентификация + мониторинг пользователей (время сессии, действия и т. д.).
2. Сервис маршрутов – Логика подбора и генерации маршрутов на основе выбранных фильтров. Взаимодействует с базой данных маршрутов, фильтрует данные и возвращает подходящие результаты.
3. Сервис сохранения маршрутов - Сервис обеспечивает сохранение и управление списком сохраненных маршрутов. Взаимодействует с личным кабинетом, в котором будут отображаться сохраненные маршруты.
4. Сервис фильтров - Управление параметрами фильтрации, создание рекомендаций на основе выбранных фильтров.

Каждый из сервисов отвечает за отдельный функционал, но тем не менее они связанны между собой. Для работы сервиса сохранения маршрутов необходима база данных с пользователями, которая формируется благодаря работе сервиса аутентификации. Для работы сервиса маршрутов разработан сервис фильтров, чтобы на основании выставленных параметров в фильтрах, могли подбираться маршруты под определённые запросы

Дизайн проекта

При проектировании приложения используется цветовая палитра, основанная на следующих принципах:

- Природные тона: связь с путешествиями и природой.
- Баланс между яркостью и спокойствием: вдохновляет на путешествия.
- Достаточный контраст: обеспечивает читаемость и удобство использования.
- В дизайне использовались цвета, которые нацелены показать дружелюбие и гостеприимство Сибирской природы.

Основные цвет – синий и зеленый, что напрямую отсылает на простирающиеся леса России, реки и горизонт. Вот пример используемой цветовой палитры на главной странице (рис. 2):

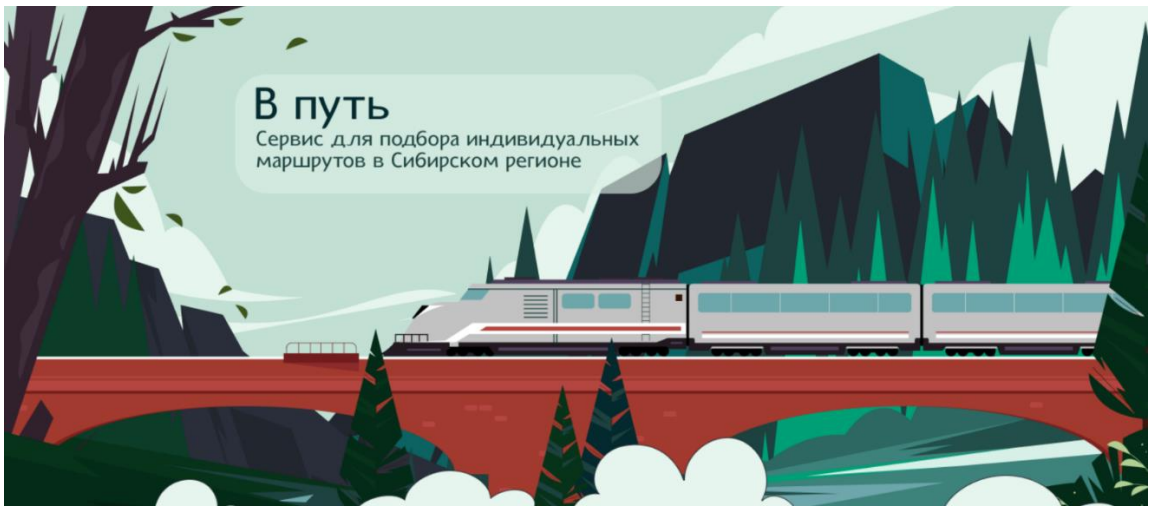


Рис. 2. Главная страница с дизайном проекта

- Основной цвет: #2C3E50 (Тёмно-синий/серый).

Обоснование: идеально подходит в качестве основного цвета так, как является заполняющим элементом в пейзаже, и не выделяется на фоне остальных, и отлично сочетается с многими цветами. Подходит для фона, кнопок и заголовков.

- Вторичный цвет: #1E8449 (Зелено-изумрудный).

Обоснование: хорошо сочетается с основным цветом и ассоциируется с лесными пейзажами и оттенками травы и деревьев, вызывает доверие и спокойствие у пользователя. Используем для акцентов, кнопок призыва к действию, выделения важной информации.

- Цвет фона: #F9F9F9 (Светло серо-белый).

Обоснование: создаёт контраст с основными цветами и улучшает читаемость картинки. Визуально разгружает интерфейс.

В дальнейшем возможен учет сезонности: Сервис будет предлагает сезонные маршруты, можно будет адаптировать цветовую палитру под конкретное время года (например, использовать более яркие цвета летом и более теплые осенью).

Фронтенд

Для простоты использования web приложения было минимизировано количество шагов до целевого действия, так, например, с главной страницы можно сразу составить пробный маршрут. Сделана панель навигации для простоты перемещения по страницам сайта (рис. 3). Каждая из кнопок ведёт к целевому действию, чтобы пользователь смог сразу находить нужную для себя функцию и информацию. Интерфейс подразумевает использования web приложения на всех типах устройств в браузере, для этого необходимо создать адаптивный дизайн под разные разрешения.

Функционал

Основным преимуществом сервиса являются фильтры, которые будут позволять пользователю под свои предпочтения подбирать маршрутный лист и видеть его на карте. Было решено реализовать фильтры полностью на языке JavaScript и с помощью YandexAPI получать расстояния до различных объектов (точки интереса, отели, заведения). Также API позволяет показать пользователю визуализацию маршрута благодаря Яндекс Картам. С помощью базы данных и заданных пользователем фильтров выстраивается оптимальный маршрут, учитывающий кратчайшие расстояния до объектов. На данный момент реализованы фильтры точек отправления, способов передвижения и максимально допустимых финансовых затрат на

путешествие. В дальнейшем планируется доработать фильтры, а также оптимизировать маршрут с учётом времени поездки и мест отдыха.

Для создания аутентификации используется встроенный модуль Spring – Spring Security. За счёт моделей пользователей Java и готовых методов Spring Security получилось создать простую регистрацию и сохранение данных о пользователях в базу данных. Эти данные в дальнейшем будут использоваться для сохранения понравившихся маршрутов в личный кабинет пользователя через «Сервис сохранения маршрутов».

Результаты

В ходе работы над проектом, получился рабочий прототип web приложения, созданный на фреймворке Spring. Для создания фронтенд части использовались язык разметки HTML и язык декорирования CSS. В дальнейшем планируется сделать адаптивный дизайн под различные разрешения устройств. Для создания back-end части приложения использовался язык Java, так как он является основополагающим для выбранного фреймворка. Фильтры и логика по подбору маршрутов и их отображения написаны на языке JavaScript из-за его простоты освоения и наибольшей совместимости для работы с web приложениями и API. Отображение маршрутов на карте созданы при помощи связи с YandexAPI и полностью работают на основе Яндекс Карт.

При входе в web приложение пользователь попадает на главную страницу (рис. 3), где у него есть шапка со всей необходимой навигацией в виде кнопок: «Составить» – переход к месту составления маршрута (рис. 3); «О нас» – страница с краткой информацией о сервисе, его возможностях и контактах; «Избранное» – страница с сохранёнными маршрутами пользователя (для доступа нужна ранее авторизация); «Войти» – страницу с авторизацией в систему.

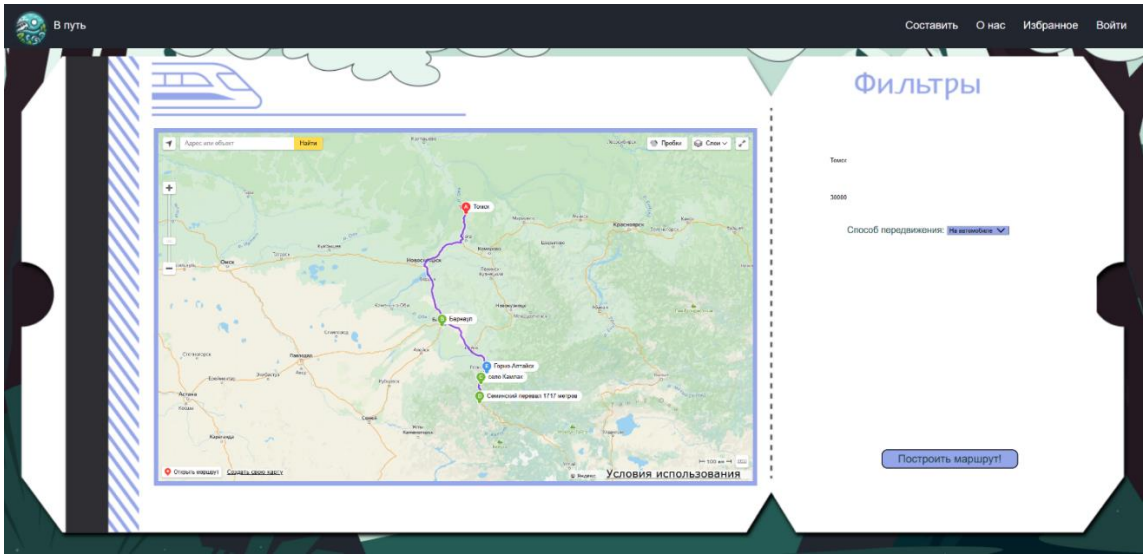


Рис. 3. Главная страница с местом для составления маршрута

Для составления маршрута пользователю необходимо выбрать или вписать параметры для отбора в поля фильтров. На данный момент реализованы три фильтра: «Точка отправления», «Запланированная сумма на поездку», «Способ передвижения». После того, как пользователь выставил все данные в фильтрах он нажимает на кнопку «Построить маршрут» и на карте появляется маршрут с местами остановки. В настоящее время для прототипа был создан тестовый маршрут по заранее определённым местам, в дальнейшем планируется сделать более вариативный подбор маршрута под все предпочтения путешественника.

Заключение

На начальном этапе работы было проведено обоснование актуальности и потребностей целевой аудитории, анализ конкурентов и возможные способы решения проблем путешественников. В процессе изучения различных ресурсов выяснено, что на Российском рынке недостаточно сервисов для самостоятельных путешествий, а именно для составления персонализированных маршрутов в Сибирском регионе страны.

В ходе проектирования интерфейса и бизнес-логики возникла гипотеза, что для достижения цели необходимо создать большое количество фильтров на основании, которых будут подбираться маршрутные листы из базы данных. В маршрутных листах будет подробная информация по каждой точке остановки, с описанием локаций, мест для досуга, особенности местности и краткая историческая сводка с интересными фактами, а также отображения маршрута на интерактивную карту для удобного перемещения по нему. В дальнейшем планируется использовать машинное обучение для ещё более точного подбора маршрутов под все факторы поездки.

В результате выполнения работы был спроектирован и реализован прототип web приложения с минимальным набором фильтров и возможностью составлять тестовый маршрут, а также возможность авторизации пользователя для дальнейшего сохранения понравившихся маршрутов.

Список использованных источников

1. Authorization – Spring Security [Электронный ресурс]. – URL: docs.spring.io/spring-security/reference/servlet/authorization/index.html (дата обращения: 27.03.2025)

2. Spring Framework Documentation [Электронный ресурс]. – URL: docs.spring.io/spring-framework/reference/index.html (дата обращения: 27.03.2025)

3. Путешествие по Алтаю [Электронный ресурс]. – URL: portretix.ru/blog/posts/puteshestvie-po-altayu-na-mashine-samyj-podrobnyj-putevoditel/ (дата обращения: 27.03.2025)

4. Исследование: барьеры для путешествий по России [Электронный ресурс]. – URL: tutu.ru/geo/journal/samoe-interesnoe/article/pochemu-my-ne-otdyhaem-v-rossii/ (дата обращения: 27.03.2025)

5. Yandex API: Яндекс Карты [Электронный ресурс]. – URL: yandex.ru/maps-api/docs/js-api/common/quickstart.html (дата обращения: 27.03.2025)

6. Freepik: Векторные изображения [Электронный ресурс]. – URL: goo.su/ZXB8B (дата обращения: 27.03.2025)

7. 50 великолепных цветовых схем с веб-сайтов, отмеченных наградами [Электронный ресурс]. – URL: goo.su/LO9K7CG (дата обращения: 27.03.2025)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ДОКУМЕНТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ ПРОТОКОЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ PROTOQA

Дудник Д.А.[1]
Научный руководитель: Фаерман В.А.[2]
[1] *ТУСУР, г. Томск (ФБ, студент гр. 711-1) e-mail: dudnik.d.711-1@e.tusur.ru*
[2] *ТУСУР (ФБ, младший научный сотрудник) e-mail: fva@fb.tusur.ru*

Аннотация

В работе представлен квантовой криптографический протокол ProtoQa. Описана методика анализа рекомендаций по стандартизации протокола для выявления требований и ограничений к системе, обеспечивающей взаимодействие системы квантового распределения ключей и других средств криптографическое защиты информации. Результаты работы позволяют систематизировать требования к поддержке протокола ProtoQa в системах КРК и упростить дальнейшую разработку решений на его основе.

Ключевые слова: квантовая криптография, ProtoQa, СКЗИ, требования.

Введение

В настоящее время информационная безопасность является важным аспектом, который всегда учитывается при разработке и внедрении любых информационных систем и систем автоматического управления. Наблюдающийся тренд на увеличение стандартов защищённости, а также рост квалификации злоумышленников и доступности специальных инструментов, обуславливают востребованность в совершенствовании средств защиты информации. К таким средствам обычно относятся технические (джеммеры, генераторы акустических шумов), программно-аппаратные (антивирусное ПО, межсетевые экраны) и средства криптографической защиты информации (СКЗИ) [1]. Последние являются неотъемлемым элементом любых автоматизированных систем, функции которых предполагают передачу защищаемых данных через общедоступные сегменты сети [2].

Одной из вариаций СКЗИ можно считать квантовые криптографические системы, которые в отличие от традиционных криптографических решений, основаны на фундаментальных физических принципах, а не на формальных свойствах логико-арифметических преобразований. Функцией квантовых криптографических систем является квантовое распределение ключей (КРК) для их последующего использования в рамках традиционных симметричных криптосистем.

К настоящему моменту разработано и применяются несколько протоколов КРК, первым и наиболее известным из которых является BB84, описанный, например, в [3]. Протокол BB84 на логическом и теоретико-информационном уровне описывает взаимодействие сторон, Алисы и Боба, от процесса обмена импульсами по квантовому каналу до формирования просеянной ключевой последовательности. При этом, как и другие протоколы, например, B92 или E91, BB84 предполагает использование классического канала для обмена сообщениями на этапе постобработки сырой битовой последовательности, переданной по квантовому каналу. Постобработка, в числе прочих, предполагает такие операции как исправление ошибок в ключевой последовательности и поддержание секретности. Этапы КРК описаны в [4].

Каждый из этапов распределения ключей может реализовываться различным способами. В частности, на этапе передачи импульсов по квантовому каналу может использоваться поляризационное, фазовое, фазово-временное кодирование. На этапе постобработки, для исправления ошибок могут применяться различные типы помехоустойчивых кодов [5, 6], а для усиления секретности – различные методы хеширования [5].

Несмотря на абсолютную теоретическую защищённость систем КРК от компрометации распределяемого ключевого материала, их безопасное применение на практике предполагает корректную передачу и использование полученных ключей в других традиционных СКЗИ. Для решения этой задачи, специалистами компании Infotecs на основе рекомендаций по стандартизации [7] был предложен специализированный интерфейсный протокол ProtoQa.

Целью настоящей работы является выявление и систематизация требований к подсистеме, обеспечивающей взаимодействие системы КРК и СКЗИ по протоколу ProtoQa. Результаты работы будут использоваться для уточнения конструкторских требований к разрабатываемым в компании решениям, предназначенным для применения в сетях КРК.

В рамках представленной работы были решены следующие задачи: произведён анализ корпуса технических документов по стандартизации взаимодействия системы КРК и СКЗИ, сформированы исчерпывающие перечни требований и ограничений, на основе систематизации которых определены требования к компонентам обеспечивающей подсистемы и их взаимодействию.

Анализ документов по стандартизации

В соответствии с рекомендациями по стандартизации [6], в работе используются следующие ключевые определения:

- узел системы выработки распределения ключей (узел СВРК) – оконечное оборудование участника СВРК, способное вырабатывать и распределять секретные ключи совместно с другими участниками СВРК.
- СКЗИ-потребитель – СКЗИ, подключаемое к узлам СВРК с целью получения целевых ключей и/или случайных чисел.
- CRISP-сообщение – дейтаграмма, защищенная с помощью протокола промышленного криптографического протокола CRISP.

Отличительными особенностями последнего является ориентированность на применение в промышленных сетях, протокольные стеки которых могут не предусматривать транспортного или сессионного уровней. Таким образом, CRISP работает без установления сеансов и опирается на использование предварительно распределённого набора парных криптографических ключей, что снимает потребность в предварительной аутентификации и распределении ключей. Кроме этого, каждая дейтаграмма является самодостаточной и может быть принята и обработана получателем без каких-либо предварительных условий. Это фактически означает, что в заголовке CRISP-сообщения содержится информация не только об используемых ключах, но и о применяемых алгоритмах шифрования и защиты целостности [8].

Протокол ProtoQa – защищенный протокол взаимодействия узла СВРК и СКЗИ-потребителя. С помощью протокола участники в составе криптографически защищенного сообщения могут передавать секретные ключи, случайные числа и сервисную информацию. Последняя представляет собой состояние получателя, факт подключения/отключения от СВРК узла, подтверждение факта доставки ключа или изготовление нового ключа. Протокол отвечает следующим требованиям безопасности [7]:

- обеспечение конфиденциальности передаваемых данных,
- защита от навязывания ложных данных,
- защита от навязывания ранее принятых сообщений.

В качестве дополнительной меры защиты, при передаче ключей между узлом СВРК и СКЗИ-потребителем в сообщении всегда формируется так называемое экспортное представление ключа [7]: ключ передается внутри криптографически защищенного ключевого контейнера, который представляет собой зашифрованный файл, обладающий определённым форматом. Формат криптографического контейнера, так же, как и наборы криптографических

алгоритмов, применяемых для защиты конфиденциальности и целостности ключей, являются частью спецификации протокола ProtoQa.

Таким образом, ProtoQa формирует два контура защиты передаваемой ключевой информации: транспортный, в рамках протокола CRISP, и прикладной с помощью помещения информации в криптоконтейнеры. Применение протокола ProtoQa предполагает инкапсуляцию дейтаграмм прикладного уровня в дейтаграммы протокола CRISP на транспортном уровне [9].

Протокол ProtoQa предусматривает пять сценариев взаимодействия между узлом СВРК и СКЗИ-потребителем [7]:

- получение информации СКЗИ-потребителем о параметрах работы узла,
- получение нового ключа СКЗИ-потребителем от СВРК узла,
- получение ранее созданного ключа СКЗИ-потребителем от СВРК узла,
- передача случайных чисел СКЗИ-потребителю от СВРК узлом,
- обмен сервисной информацией,
- передача произвольных данных как от СВРК узла, так и от СКЗИ-потребителя.

Структура дейтаграммы прикладного уровня и инкапсуляция в CRISP-сообщение отражены на рисунке 1 [9].

Рис. 1. Формат сообщений протокола ProtoQa

В сообщении нижнего уровня, CRISP-заголовке, содержатся:

- Идентификатор ключа, однозначно соответствующий одному и тому же базовому ключу у обоих участников протокола. С каждым базовым ключом ассоциированы уникальные в рамках СВРК идентификаторы отправителя и получателя сообщения.
- Идентификатор криптографического набора используемых примитивов (алгоритмов шифрования, имитозащиты, хеширования).
- Порядковый номер сообщения, который в рамках одного базового ключа не должен повторяться.
- Имитовставка, которая вычисляется согласно алгоритму, определенному криптографическим набором,
- Трейлер – транзитная синхропосылка (комбинация знаков, передаваемая по каналу связи и предназначенная для синхронизации аппаратуры) и транзитный идентификатор.

Прикладное сообщение – данные, представленные в определенной структуре и предназначенные для пересылки между участниками протокола до их инкапсуляции в дейтаграмму протокола CRISP. В атрибуты прикладного сообщения входят:

- Идентификаторы отправителя и получателя.
- Идентификатор сеанса, представляет собой 32 битное целое число, которое используется для идентификации и защиты целостности сеанса.
- Тип сообщения (перечислены в таблице 1).

Ключевые контейнеры имеют следующую структуру:

- Размер ключа – определяет размер ключа в байтах.
- Уникальный в квантовой криптографической системе выработки и распределения ключей (ККС ВРК) идентификатор ключа.
- Размер метки – определяет байтовый размер метки ключа, от 0 до 255.
- Метка ключа – альтернативная идентификация ключей на стороне СКЗИ-потребителей.

Вне ключевого контейнера предусмотрено поле для передачи дополнительны атрибутов, которое может быть задействовано при необходимости. Например, если вендору нужно будет передать информацию, передача которой не была учтена в протоколе, то он может использовать это поле. При этом, так как поле находится вне криптографического контейнера, его шифрование на прикладном уровне не предусмотрено протоколом, поэтому обеспечение конфиденциальности и целостности этих данных остаётся за вендором [9].

От типа сообщения зависит метод формирования и разбора запроса, поэтому при анализе документа и выявлении требования учитывались все варианты прикладных сообщений, поскольку предъявляемые требования непосредственно зависят от типов сообщений.

Таблица 1. Типы прикладных сообщений

Значение (байт)	Описание
01_{16}	Запрос/ответ для получения параметров работы узла
02_{16}	Запрос/ответ на получение нового ключа
03_{16}	Запрос/ответ на получение ранее запрошенного ключа
04_{16}	Запрос/ответ на получение нового или ранее запрошенного ключа
05_{16}	Запрос/ответ на получение случайного числа
06_{16}	Запрос/ответ на передачу произвольных данных
07_{16}	Запрос/ответ на передачу сервисной информации
Примечание – Значения, имеющие номер более или равный 80_{16}, могут использоваться разработчиками по своему усмотрению	

Выявление требований и ограничений

При анализе документации использовался системный подход, который был основан на применении методики формального исследования технических документов [10]. Данная методика основывалась на поиске ключевых слов, сигнализирующих о требовании или ограничении: «должно», «необходимо», «следует» и т. д. Эти выражения являются общепринятыми в нормативно-правовой документации и указывает на наличие обязательного правила.

Процесс анализа включал следующие этапы:

1. Выделение предложений, содержащих ключевые слова.
2. Изучение смысла найденных требований.
3. Систематизаций требований, разделение их на группы на основе сходств и различий.

В результате проведенного анализа рекомендаций по стандартизации протокола ProtoQa было выявлено 54 требования и ограничения. Для обеспечения структурированного представления данных требований была произведена их декомпозиция – все требования и ограничения были разбиты на три группы:

1. Требования и ограничения к формированию идентификатора участников протоколов,
2. Требования и ограничения для ключей.
3. Требования и ограничения для работы с защищаемой информацией.

Первой группой были выбраны требования к формированию идентификатора участника, так как в самом начале работы протокола перед обменом секретной информацией необходимо

выстроить доверительный защищенный канал и однозначно идентифицировать всех участников протокола, чтобы в дальнейшем избежать несоответствий и ошибок, вызванных неоднозначным определением участников протокола. Задачи требований этой группы – полная синхронизация топологии сети.

Дальнейшая часть работы протокола, а значит большинство выявленных требований связана с ключами. В группу с требованиями и ограничениями для ключей входят требования к формату работы с атрибутами ключа, отправку и получение ключа и сообщения, синхронность операций и работа с таймером.

Последней группой требований была выбрана работа с защищаемой информацией. Так как это симметричное шифрование, а значит ключ должен сохраняться в тайне обеими сторонами, необходимо отделить эти требования. Сюда входят требования к максимальному количеству сообщений с неправильной имитоставкой, максимальное количество информации, обрабатываемой одним ключом, порядок разбора сообщений и используемые алгоритмы шифрования. Дополнительно к требованиям по защите ключа в группу относятся требования к защите и другой информации, которая может быть передача по протоколу (сервисная информация, числовая последовательность и передача данных, которые явно не прописаны в рекомендациях). Необходимость такого разделения была обусловлена значительным количеством выявленных требований и низкой эффективностью восприятия информации при монотонном перечислении.

Для демонстрации практической значимости предложенной классификации в таблице 2 представлены требования из каждой категории. Выбор указанных требований из общего перечня обусловлен тем, что они имеют лаконичные формулировки и при этом касаются критических важных аспектов взаимодействия систем, таких как обеспечение уникальности сеансовых идентификаторов.

Таблица 2. Примеры требований по группах с их формализацией

Группа требований	**Исходная формулировка требования в документе**	**Сформированное формальное требование**
Формирование идентификатора участников	Предполагается, что подключенный к СВРК СКЗИ-потребитель имеет уникальный идентификатор в рамках СВРК	Информационная система, включающая СКЗИ-потребителя и узел СВРК, должна обеспечивать наличие уникального идентификатора
	Каждый участник протокола имеет два идентификатора: первый – для CRISP-сообщений, второй для прикладных. В общем случае первый и второй идентификаторы могут не совпадать	Информационная система, включающая СКЗИ-потребителя и узел СВРК, должна обеспечить обособленную идентификацию для CRISP-сообщения и для прикладного сообщения
	Предполагается, что идентификаторы в системе будут задаваться циклическим возрастающим счетчиком	При необходимости соответствия примеруБ, Информационная система должна обеспечивать уникальность идентификатора применяя циклически возрастающий счетчик
Требования к ключам	Для разных направлений базовые ключи являются статистически независимыми	Информационная система должна поддерживать статистическую независимость базовых ключей разных направлений
	Значение идентификатора сеансов в ответе должно совпадать со значением идентификатора сеанса из запроса	Информационная система должна обеспечить совпадение идентификатора сеансов *SendSessionID* в запросе и ответе
	Правила формирования значения KeyCounter определяются между СКЗИ-потребителем и узлом СВРК заранее, общие правила описаны в 9.2.3, пример формирования значений KeyCounter представлен в приложении Б	СКЗИ-потребитель и узел СВРК должны определять правила формирования идентификатора ключа KeyCounter до формирования сообщения, чтобы поддерживать согласованность

Группа требований	Исходная формулировка требования в документе	Сформированное формальное требование
Обработки защищаемой информации	Для обеспечения защиты от навязывания ложных сообщений разработчику необходимо ограничить максимальное количество обрабатываемых сообщений с неправильной имитовставкой в рамках использования одного ключа. Максимальное количество определяется разработчиком с учетом класса защиты конкретных СКЗИ, реализующих протокол Протока, и эксплуатационных характеристик конечной системы, в которой предполагается использовать указанные СКЗИ	Информационная система должна ограничивать максимальное количество обрабатываемых сообщений с неправильной имитовставкой в рамках одного ключа для обеспечения защиты от навязывания ложных сообщений
	Контрольная сумма передаваемых в транспортном ключевом контейнере данных вычисляется после шифрования защищенных разделов транспортного ключевого контейнера в соответствии со схемой PBMAC1 согласно Р 1323565.1.040–2022	В случае необходимости соответствия примеру Б, Информационная система должна вычислять контрольную сумму передаваемых в транспортном ключевом контейнере данных только после шифрования защищенных разделов транспортного ключевого контейнера

Заключение

Таким образом, в ходе работы был проведен анализ документации по интерфейсам между системами КРК и СКЗИ в целом и квантовому криптографическому протоколу ProtoQa в частности. При анализе документов использовались методы семантического анализа и формализованная методика исследования технических документов. В результате был получен исчерпывающий перечень требований, разделённых на три категории в соответствии с этапом реализации взаимодействия. Отчёт о выполнении задачи может быть использован в ходе работы над предпроектной документацией на предстоящую разработку интерфейсной подсистемы, реализующей протокол ProtoQa, в частности, для уточнения технического задания и верификации требований.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 71252-2024. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Протокол защищенного обмена для индустриальных систем [Электронный ресурс] – URL: files.stroyinf.ru/Data/823/82317.pdf?ysclid=m99elnhg4y158210085 (дата обращения 20.03.2025).

2. Жиляев А. и др. Сети квантового распределения ключей в кибербезопасности. Горячая линия. – Телеком, 2023. – 152 с.

3. Васильев Е.И. Дискретно-событийная модель оптического канала системы квантового распределения ключей / Е.И. Васильев, В.А. Фаерман // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. – 2024. – Т. 8, № 1. – С. 83-92.

4. Васильев Е.И. Этапы постобработки битовых последовательностей в рамках квантового распределения ключей // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2024. – № 1-3. – С. 71-75.

5. Grasselli F. Quantum Cryptography: From Key Distribution to Conference Key Agreement. Cham: Springer International Publishing, 2021. – 378 p.

6. Обзор протоколов исправления ошибок в системах квантового распределения ключей на основе корректирующих кодов / Д. В. Курков, Е. В. Антропов, К. И. Чуков, В. А. Фаерман // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. – 2024. – Т. 8, № 2. – С. 23-35.

7. Р 1323565.1.046-2023. Рекомендации по стандартизации. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Защищенный протокол взаимодействия квантово-криптографической аппаратуры выработки и распределения ключей и средства криптографической защиты (утв. и введены в действие Приказом Росстандарта от 30.11.2023 N 1510-ст) [Электронный ресурс]. – URL: meganorm.ru/mega_doc/norm/prikaz/21/r_1323565_1_046-2023_rekomendatsii_po_standartizatsii.html (дата обращения 20.03.2025).

8. Подход к криптографической защите коммуникаций в IoT и M2M [Электронный ресурс]. – URL: itsec.ru/articles/podhody-k-kriptograficheskoj-zashchite-kommunikacij-v-iot-i-m2m (дата обращения 20.03.2025)

9. Науменко А.П., Бородин М.А. Защищенный протокол взаимодействия квантово-криптографической аппаратуры выработки и распределения ключей и средств криптографической защиты информации (ProtoQa). – [Электронный ресурс] – URL: ruscrypto.ru/resource/archive/rc2021/files/07_borodin_naumenko.pdf (дата обращения 20.03.2025).

10. Митина О.В., Евдокименко А.С. Формализованные методы исследования текстов: опыт применения к анализу технической документации // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – №1 (9). – [Электронный ресурс]. – URL: cyberleninka.ru/article/n/formalizovannye-metody-issledovaniya-tekstov-opyt-primeneniya-k-analizu-tehnicheskoy-dokumentatsii (дата обращения: 10.04.2025).

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АСИНХРОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДСИСТЕМЫ ЗАДАЧ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РИСКПРОФ

Грудина Н.А.[1]
Научный руководитель: Булатицкий Д.И.[2]
[1]*ФГБОУ ВО БГТУ, e-mail: nikita.grudina@mail.ru*
[2]*ФГБОУ ВО БГТУ, Доцент, e-mail: bulatizkydi@mail.ru*

Аннотация

В работе рассматривается реализация подсистемы задач для программного комплекса РискПроф. Данная подсистема предназначена для выполнения ресурсоемких процессов и состоит из множества взаимосвязанных компонентов. В публикации приводится описание механизмов и алгоритмов разработанного решения, а также проводится экспериментальная проверка асинхронного взаимодействия реализованной подсистемы.

Ключевые слова: информационная система, асинхронное взаимодействие, очередь задач, распределенные системы.

Введение

Программный комплекс РискПроф – это совокупность информационных систем, основанных на микросервисной архитектуре [2]. Основным предназначением данного комплекса является управление процессами охраны труда. Во время работы комплекса возникает потребность в выполнении ресурсоемких процессов, которые очень затратны по времени. Для пользователей, работающих в системе, это выражается в длительном ожидании, которое влечет за собой прерывание рабочего процесса и снижение эффективности. Для решения этой проблемы, были рассмотрены различные методы, позволяющие осуществлять выполнение процессов в асинхронном режиме [3], такие как очередь сообщений и очередь задач. Были проанализированы достоинства и недостатки рассмотренных методов, а также проведено их сравнение, по результатам которого, было принято решение реализовать распределенную очередь задач.

Основная часть

Для реализации распределенной очереди задач была разработана подсистема задач. Архитектура подсистемы представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Архитектура подсистемы задач

Подсистема задач состоит из следующих компонентов: планировщик и визуализатор задач, исполнители и обработчики, а также диспетчер задач.

Важным компонентом подсистемы является планировщик. Он предназначен для постановки задачи на исполнение, посредством добавления её в очередь активных задач.

Сведения о самой задаче могут поступать от внешних подсистем и напрямую с пользовательского интерфейса компонента, а также по расписанию с помощью шаблонов задач. Внешние подсистемы взаимодействуют с планировщиком с помощью специального http клиента. Для этого они направляют в адрес подсистемы задач сообщение, содержащее информацию о типе задачи, а также дополнительные параметры, необходимые для её выполнения. В свою очередь, шаблоны используются для формирования задач с заданной периодичностью с помощью таймеров. Они содержат в себе сведения о задаче и о том, когда её нужно будет создать. Визуализатор – это компонент подсистемы, предназначенный для наглядного представления статуса обработки задачи. На рисунке 2 представлен интерфейс данного компонента.

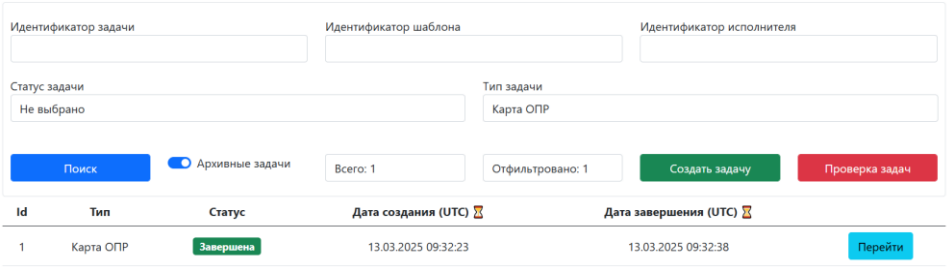


Рис. 2. Интерфейс визуализатора задач

При помощи визуализатора задач пользователи могут отслеживать статус выполнения задачи, а также анализировать и получать результаты её обработки. Диспетчер является основным компонентом подсистемы задач, который выполняет сразу несколько ключевых функций, а именно: равномерно распределяет задачи и контролирует подключенных исполнителей. Основной функцией диспетчера является равномерное распределения задач. В данном компоненте присутствуют две одинаковые по структуре очереди – активная и архивная. Во время работы подсистемы, новые задачи попадают в очередь активных, а после завершения обработки диспетчер перемещает их в архив. На рисунке 3 представлена модель данных, описывающая данный компонент.

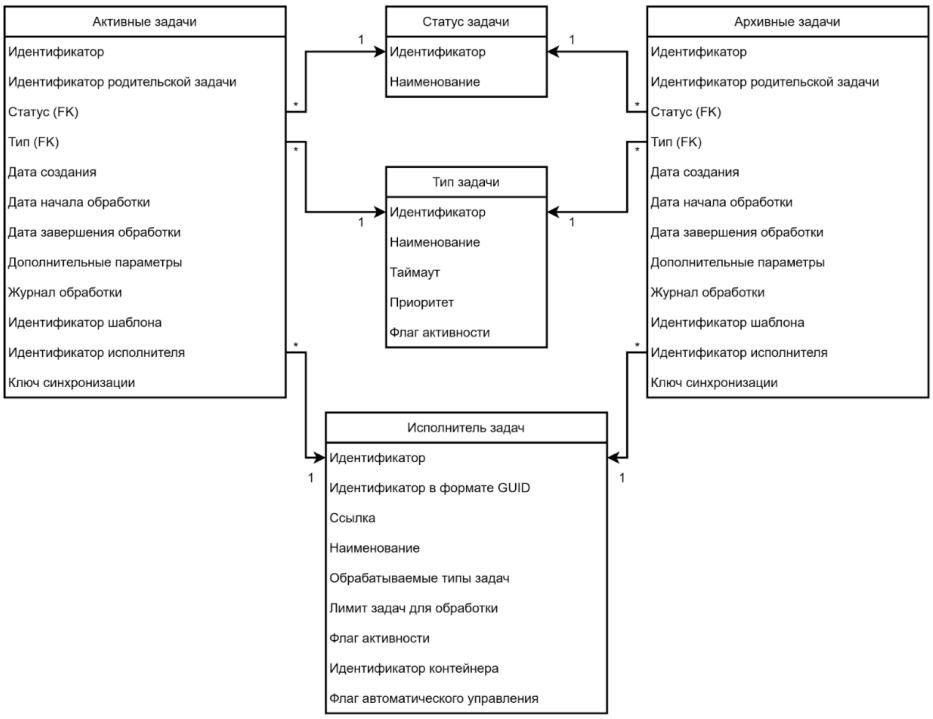


Рис. 3. Модель данных диспетчера задач

Процесс распределения задач начинает выполняться только после наступления определенных событий, а именно: создание и завершение задачи, срабатывание таймера планировщика, ручная активация, а также при подключении исполнителя к диспетчеру. На рисунке 4 представлено описание алгоритма рассматриваемого процесса.

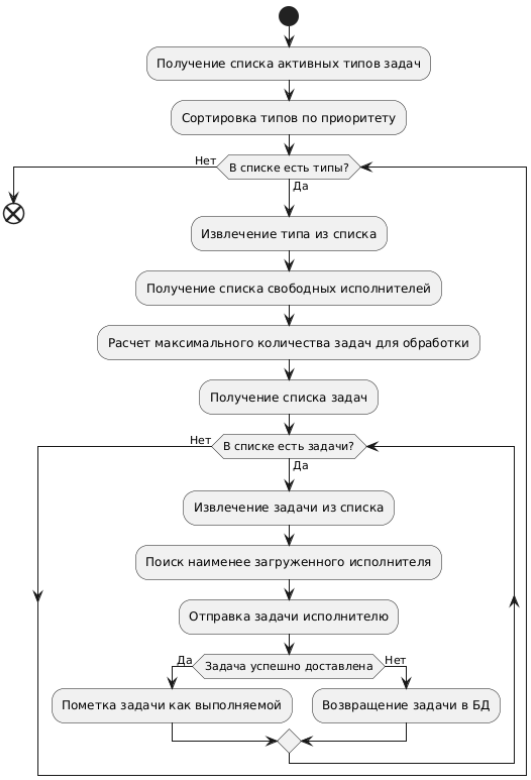


Рис. 4. Алгоритм распределения задач

Исполнитель – компонент подсистемы задач, основанный на паттерне Multi-Worker [1], основным предназначением которого является получение и выполнение задач, отправленных диспетчером.

Для того, чтобы задача могла быть получена и обработана, исполнитель должен передать диспетчеру список типов задач, который он может выполнять. Данный список исполнитель формирует при своем запуске, на основе множества интерфейсов ITaskHandler, передаваемого ему через Dependency injection (DI). На рисунке 5 представлена диаграмма классов исполнителя.

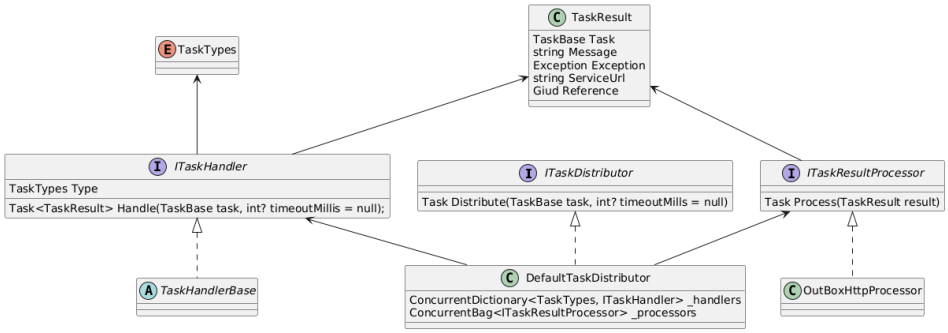


Рис. 5. Диаграмма классов исполнителя

На диаграмме видно, что у исполнителя есть интерфейс ITaskDistributor. Он предназначен для внутреннего распределения задач и постобработки результата. После получения задачи от диспетчера, исполнитель создает отдельный поток для её выполнения. Внутри данного потока в первую очередь происходит направление задачи нужному

обработчику. Для этого из словаря обработчиков по ключу в виде типа задачи выбирается необходимый интерфейс ITaskHandler, и дальнейшая обработка задачи делегируется ему. Результатом выполнения задачи является объект TaskResult.

Обработчик – это компонент исполнителя, отвечающий за непосредственное выполнение задачи. Он может работать только с одним заранее определенным типом задач, указанном при реализации интерфейса ITaskHandler. Благодаря такой архитектуре, сильно упрощается процесс разработки новых обработчиков, так как для этого всего лишь достаточно унаследовать интерфейс, указав нужный тип задач, и передать его с помощью DI. Процесс исполнения задачи является асинхронным – он будет выполняться до тех пор, пока не будет получен результат, или пока он не будет принудительно прерван. Прерывание исполнения задачи реализовано через встроенный механизм CancellationToken, передаваемый потоку обработки.

Результаты

Для проверки асинхронного взаимодействия разработанной подсистемы, была проведена проверка равномерного распределения задач. Было запущено 3 исполнителя, которые одновременно могут выполнять по 5 задач каждый. После чего были созданы 7 задач одинакового типа и активирован механизм распределения. Результаты представлены на рисунке 6. Как можно заметить, задачи были равномерно распределены по трем исполнителям.

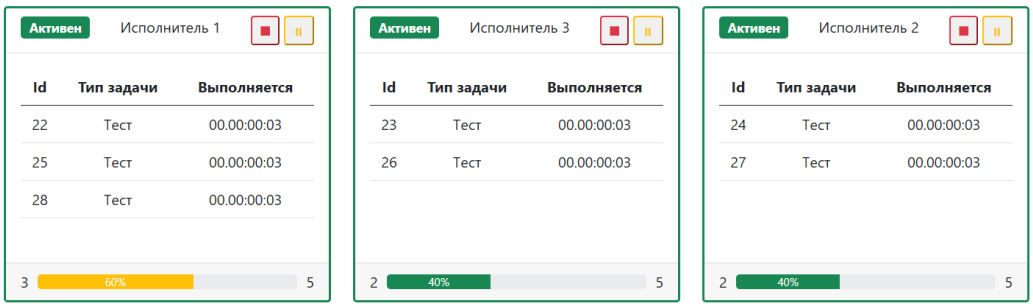


Рис. 6. Проверка механизма равномерного распределения задач

Заключение

В ходе проделанной работы была разработана подсистема задач, являющаяся реализацией распределенной очереди задач, направленной на выполнение ресурсоемких асинхронных процессов.

Было приведено описание каждого из компонентов подсистемы, а также рассмотрены различные механизмы и алгоритмы, используемые в них.

Также была проведена экспериментальная проверка асинхронного взаимодействия разработанной подсистемы задач, а именно: протестирован механизм равномерного распределения задач.

Список использованных источников

1. Бёрнс Б. Распределенные системы. Паттерны проектирования. – СПб. : Питер, 2019. – 224 с.: ил. – (Серия «Бестселлеры O’Reilly»). ISBN 978-5-4461-0950-0.

2. Копелиович, Д. И. Микросервисная архитектура как разновидность сервис-ориентированной архитектуры / Д.И. Копелиович, М.А. Кургуз, В.В. Лебедев // Наукосфера. – 2022. – № 4-2. – С. 230-235.

3. Скрыпников А.В. Применение асинхронного обмена информацией в веб-приложениях / А.В. Скрыпников, В.В. Денисенко, А.О. Амирханян // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – № 12-3(63). – С. 105-108. – DOI 10.24412/2500-1000-2021-12-3-105-108.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Михайлов Т.Ш.
Ведущий инженер-программист отдела развития прикладного программного обеспечения ПИР ТомскНИПИнефть

Аннотация

Для автоматизации обработки информации о керне используется подобласть искусственного интеллекта под названием “Компьютерное зрение”. Используются сверточные сети для предобработки изображений содержащие коробки с керном. Используются архитектура сверточных нейронных сетей YOLO для задачи поиска текста и задачи распознавания текста. Также вспомогательно используется алгоритм машинного обучения K-ближайших соседей для формирования распознанного текста из символов.

Введение

Для добычи нефти и газа необходимо изучать горную породу. В ТомскНИПИнефть десятки лет собирается информация о петрофизических свойствах пород. Данные необходимо систематизировать, проводить автоматическую обработку и анализ. Для этого в институте создается цифровая платформа CODA - COre Digital Analisys (Программный комплекс представляет собой набор инструментов для представления структуры и свойств породы ее минерального, химического и элементного состава, прогнозирования физических процессов и свойств посредством построения математических и физико-математических моделей, в различном масштабе). В докладе представлено описание нескольких модулей, где используется такая подобласть искусственного интеллекта как компьютерное зрение, которые помогают обрабатывать эти данные.

Проблема

В настоящее время существует потребность в инструменте, который позволит комплексно обрабатывать и визуализировать данные из различных дисциплин геологии. Это особенно важно для точной оценки коллекторских свойств пород, прогнозирования поведения пласта при разработке и оптимизации процессов добычи. Знание коллекторских свойств горных пород дает возможность оценить их способность вмещать и пропускать нефть, газ и воду. Это важно для поиска и разработки нефтяных и газовых месторождений.

Таким образом, знание коллекторских свойств является ключевым фактором в нефтяной и газовой геологии, позволяя оптимизировать процессы поиска, разведки и разработки месторождений. Традиционные методы часто требуют ручной обработки данных, что может быть трудоемким и подвержено ошибкам.

Основная часть

Общая идея организации структуры работы выглядит так: существуют сущности под названием «Пользователь» и «Администратор». И у каждого пользователя может быть сколько угодно много проектов. При этом у всех проектов есть определенные глобальные настройки, которые может задать только администратор во вкладке с названием «Администрирование». Эти глобальные настройки чаще всего представляют собой результаты расчетов модулей, и они автоматически применятся ко всем проектам создаваемым пользователям.

Основной интерфейс программы представлен на рис. 1. По различным вкладкам разбит функционал решающий определенный тип задач.

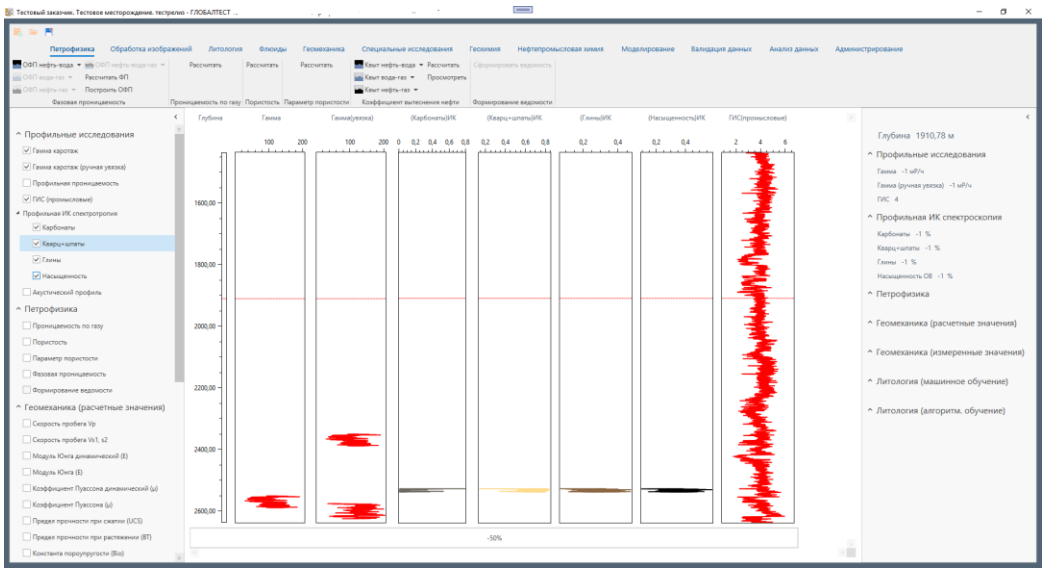


Рис. 1. Основное окно программы

На вкладке «Петрофизика» представлены в виде графиков различные результаты исследований, которые помогают специалисту оценить качество керна. Эти результаты были получены в ходе лабораторных исследований керна. Одновременное отображение нескольких результатов исследований на одной глубине (отображаемая глубина показана красной линией) позволяет специалисту получить информацию о значении параметров на определённой глубине сразу для всех отображаемых параметров.

На вкладке «Администрирование» представлен функционал, который доступен только привилегированным пользователям – администраторам системы. Те настройки и расчеты, которые делаются в данной секции оказывают влияние на все проекты, которые создаются пользователями, работающими в данной системе. Этот функционал отображается на рис 2.

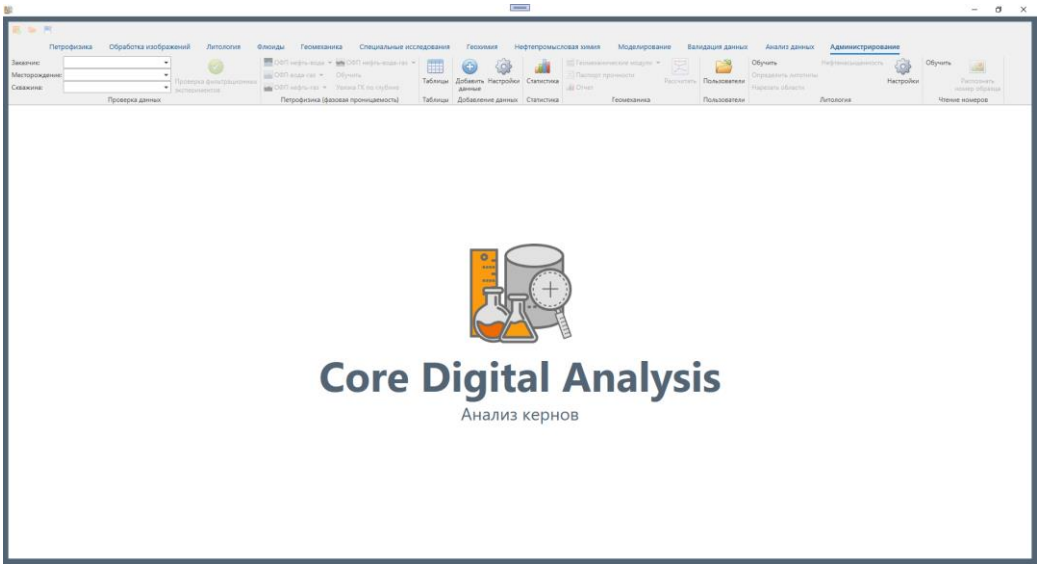


Рис. 2. Вкладка «Администрирование»

Модуль автоматической обработки фотографии

Есть фотография коробки с кернами, уложенными в несколько рядов, и необходимо было разрезать это изображение так чтобы каждый из этих рядов был выведен в отдельное изображение. Само изображение интерфейса модуля для нарезки изображений коробки с кернами представлено на рис.3

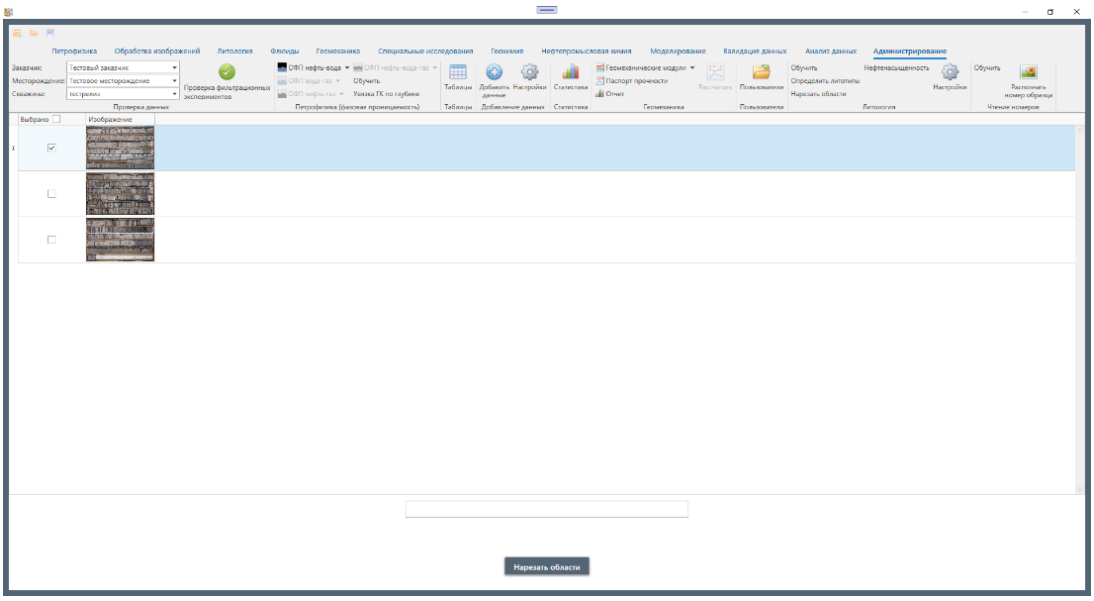


Рис. 3. Интерфейс модуля нарезки коробки с кернами

Результатом будет являться собранное изображение из разных полосок с керном изображенное на рис. 4.

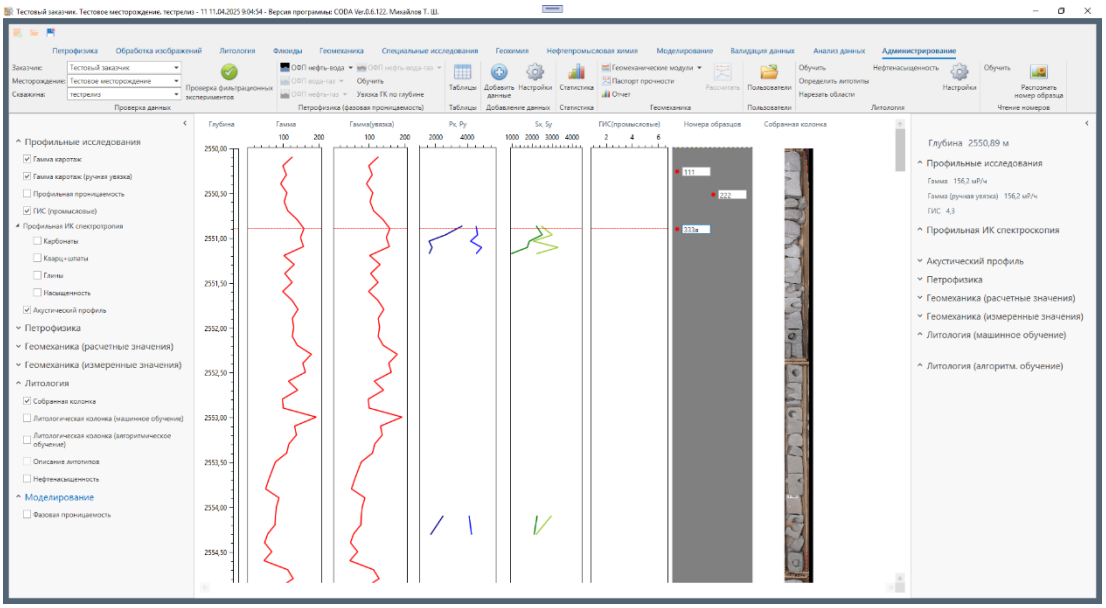


Рис. 4. Собранное изображение из разных полосок с керном

Увеличиваются контуры фотографии с помощью фильтра Собеля и далее ориентируясь на резкий перепад яркости на границах коробок определяем размеры всех фотографий полос керна и разрезаем на отдельные фото. Затем они склеиваются их в одну длинную фотографию полосы керна и выводится на экран

Модуль определения нефтенасыщенности

Интерфейс модуля нефтенасыщенности представлен на рис. 5. Фото в УФ загружено в БД и на самом интерфейсе не отображается

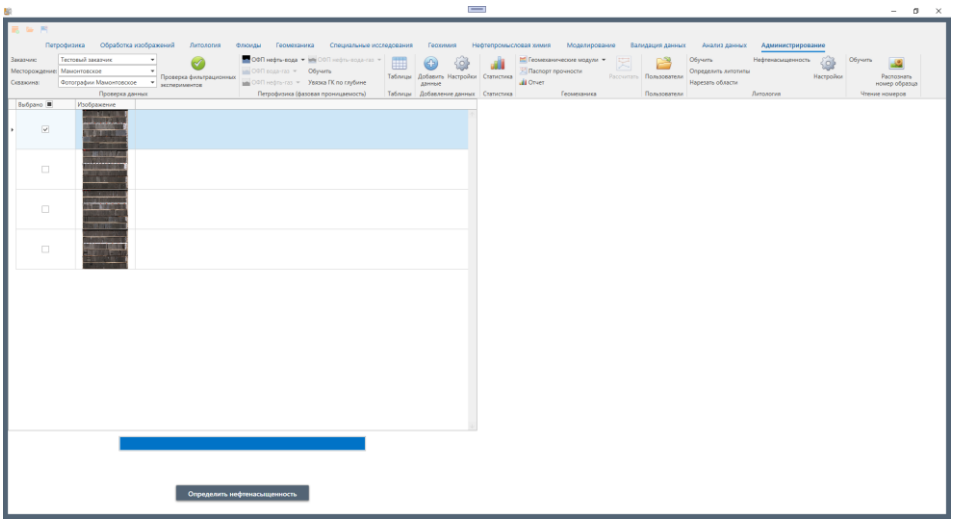


Рис. 5. Интерфейс модуля нефтенасыщенности

Для определения нефтенасыщенности первым шагом нарезается на полоски керн. Только снимки керна делаются в ультрафиолетовом диапазоне. Свечение в УФ говорит о том, что там нефть.

Алгоритм поиска таких зон состоит в следующем:

1. Получаем массив глубин всех участков, каждый из которых является изображением керна.
2. Этот фильтр применяется к блокам, усредненным по 10 строкам. и отбирает только те блоки, которые соответствуют заданным цветовым критериям. Каждое условие в маске проверяет определённые соотношения между каналами R, G, B. Свечение в УФ с зеленым-желтым оттенком характеризует интервал нефтенасыщенности.
3. Далее ищем глубины интервалов нефтенасыщенности; отражаем на планшете.

Модуль чтения номеров образцов

Еще одна задача, которая была решена с помощью методов искусственного интеллекта это распознавание надписей глубин на коробках. Для этого используется архитектура сверточных нейронных сетей YOLO. YOLO (You Only Look Once) – это архитектура компьютерного зрения, разработанная для обнаружения объектов на изображениях. Используя эту, архитектура находится место, где есть текст и далее он распознается и далее используется у нас. Исходное изображение представлено на рис. 6

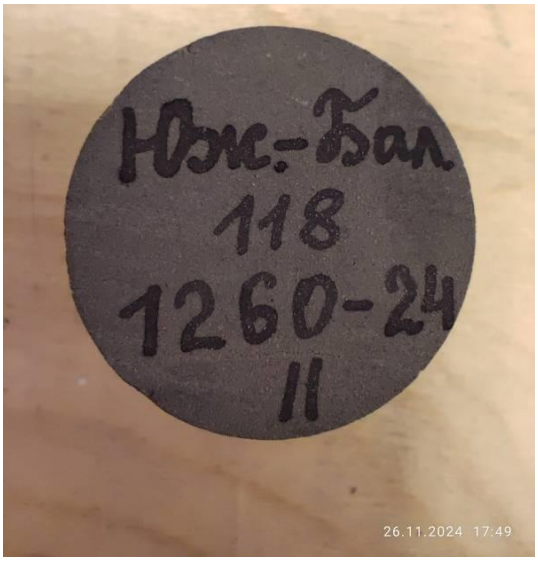


Рис. 6. Изображение для распознавания

Сам интерфейс модуля и результат работы представлен на рис .7

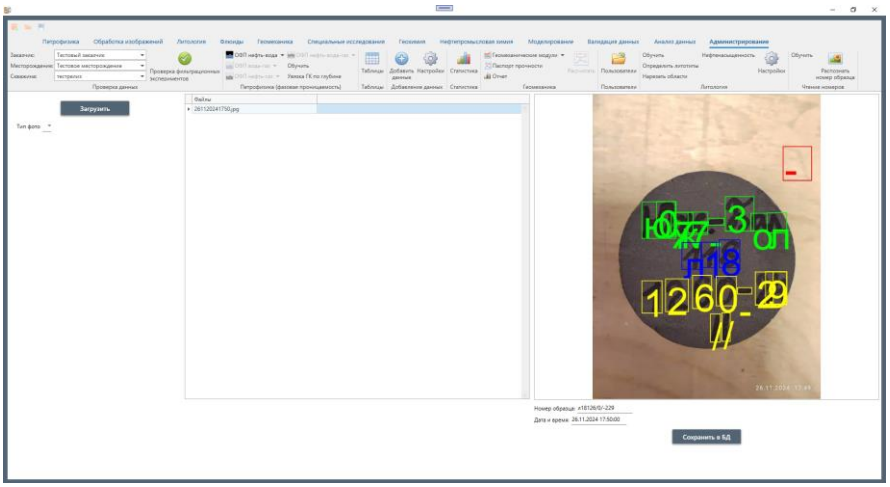


Рис. 7. Интерфейс и результат работы модуля по распознаванию текста

Общая идея

1. Детекция символов: используется модель YOLO для нахождения всех символов на изображении.
2. Классификация символов: другая модель YOLO определяет тип каждого обнаруженного символа.
3. Кластеризация строк: алгоритм KMeans группирует символы в строки по вертикальному положению.
4. Сортировка строк и символов: восстановление естественного порядка текста (сверху вниз, слева направо).

Результаты

Благодаря внедрению алгоритмов искусственного интеллекта удалось добиться следующих целей:

- Сокращение количества действий: Использование алгоритма с применением фильтра Собеля позволило автоматизировать операцию обработки фотографии коробки керна.
- Минимизация ошибок: Внедрение использования архитектуры YOLO позволяет существенно снизить вероятность возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором. Текст распознается корректно с вероятностью около 95% (метрика accuracy).

Заключение

В результате проделанной работы были разработаны модули, которые позволили значительно сократить время, затрачиваемое специалистами на монотонный, но при этом требующий при этом больших трудозатрат труд. Кроме того, они уменьшают возможность человеческой ошибки.

Список использованных источников

1. Data Science Наука о данных с нуля. – С. 190-199.

РАЗРАБОТКА ВЕБ-СЕРВИСА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СЦЕНАРИЕВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ЦВЕТОВОЙ ПАЛИТРЫ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ КЛАСТЕРИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ

Кулешова Е.Е.[1]
Научный руководитель: Демин А.Ю.[2]
[1]*Томский политехнический университет, ИШИТР, гр. 8ВМ41, e-mail: eek24@tpu.ru*
[2]*Томский политехнический университет, ИШИТР, к.т.н., доцент ОИТ, ad@tpu.ru*

Аннотация

Разработка и внедрение алгоритма для уменьшения цветовой палитры изображений с целью адаптации их к технологиям печати с ограниченной палитрой. Алгоритм использует квантование с помощью Median Cut и кластеризацию DBSCAN для определения количества цветовых групп, что позволяет эффективно обрабатывать изображения с различными оттенками и подготавливатьих для печати.

Ключевые слова: обработка изображений, работа с цветовой палитрой, кластеризация, персонализация, технологии печати.

Введение

Компания «Aurigma» [1] разрабатывает инструменты для персонализации продукции [2], включая программные решения для полиграфии, сувенирной и текстильной индустрии. Одним из направлений компании является автоматизация процесса нанесения логотипов на сувенирную продукцию, такую как ручки и флешки. Некоторые технологии печати (например, тампопечать и шелкография) требуют строгого ограничения количества цветов, так как каждый цвет требует отдельного трафарета. Однако изображения, загружаемые клиентами, могут содержать множество оттенков из-за артефактов сжатия или быть полноцветными, что делает их непригодными для таких технологий.

Существующие решения компании в основном ориентированы на полноцветную печать и бесцветные методы (гравировка, выдавливание), но автоматической адаптации изображений под технологии с ограниченной цветностью пока нет. В связи с этим возникла необходимость разработки алгоритма, который позволит автоматически анализировать и преобразовывать изображения, чтобы они соответствовали требованиям конкретных технологий печати.

Постановка задачи и разработка решения

В ходе работы над сервисом перекрашивания изображений в заданную палитру (рис. 1) возникла необходимость предварительного анализа цветов. Первоначально предполагалось, что система будет просто заменять цвета загруженного изображения на заданные, однако при практическом применении этого подхода выявилась важная проблема: качество исходных изображений оказывало значительное влияние на корректность перекрашивания.

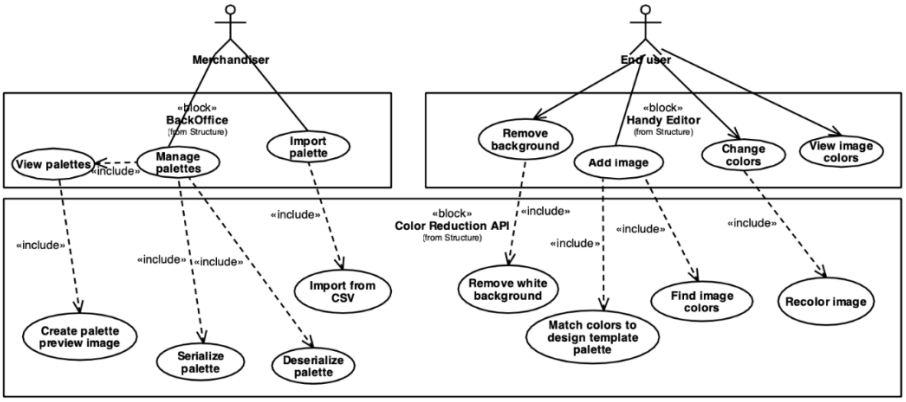


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования сервиса

Очевидно, что для успешного перекрашивания изображения необходимо сначала выделить его основные цвета (вариант использования – «Find image colors»). В случае с векторными изображениями этот процесс не вызывает сложностей: достаточно собрать цвета всех векторных элементов, а если их слишком много – уведомить пользователя о невозможности печати в данной технике.

Однако при анализе растровых изображений возникла серьезная проблема: артефакты сжатия, характерные для формата JPEG, приводили к появлению множества схожих, но незначительно различающихся оттенков (поиск цветов выдавал 40000 цветов вместо 4). Это затрудняло корректное определение палитры и последующую замену цветов.

Таким образом, в процессе работы были выделены две ключевые задачи:

1. Определение пригодности изображения для печати с ограниченной палитрой.

Если изображение содержит слишком много цветов (например, фотография), система уведомляет пользователя о невозможности печати.

2. Автоматическое сокращение количества цветов.

Если изображение является логотипом, но содержит артефакты сжатия, алгоритм должен редуцировать его палитру до небольшого количества ключевых цветов, сохраняя при этом читаемость и визуальное качество.

Процесс выделения и уменьшения количества цветов представлен на рисунке 2.

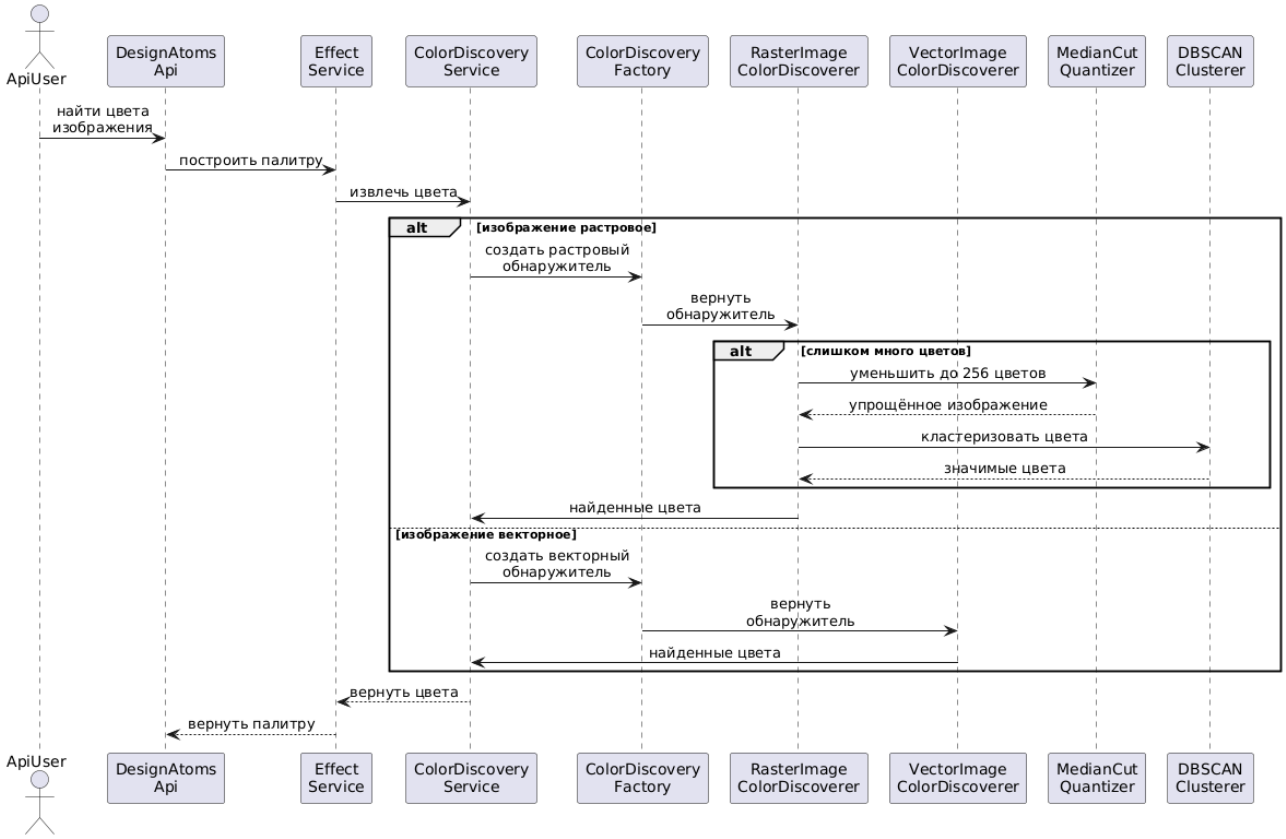


Рис. 2. Процесс выделения и редукции цветов

Методы уменьшения цветовой палитры

Для уменьшения количества цветов в изображении применяются алгоритмы квантования. Основные из них:

- Median Cut – разделяет цветовое пространство на равные части, формируя палитру с равномерным распределением цветов [3].
- K-Means – группирует цвета в заданное количество кластеров, минимизируя внутрикластерное расстояние.
- Октодерево – строит иерархическую структуру, объеденяя похожие цвета [4].

Основная проблема этих методов заключается в том, что они требуют заранее заданного количества цветов. Это не всегда возможно, поскольку число значимых цветов в изображении зависит от его содержания.

Существуют и алгоритмы, не требующие заранее задавать количество, например, DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise). Однако у него квадратичная сложность, что является большой проблемой с точки зрения производительности – растровые изображения могут содержать сильно много цветов [5-6].

Предлагаемый метод

Для решения проблемы предложен комбинированный подход, включающий два этапа:

1. Квантование до фиксированного количества цветов

На первом этапе изображение упрощается до 256 цветов с помощью Median Cut. Это снижает вычислительную сложность последующей обработки и позволяет работать с фиксированным набором цветов вместо тысяч уникальных оттенков.

2. Кластеризация для определения реального количества цветов

После квантования применяется алгоритм DBSCAN для определения числа групп близких цветов:

- Если количество цветовых групп превышает заданное пороговое значение (например, 10–15 цветов), изображение классифицируется как неподходящее для печати с ограниченной палитрой.
- Если количество групп находится в допустимых пределах, цвета изображения упрощаются до числа кластеров, делая его пригодным для печати.

Архитектурное решение

Предложенный метод интегрирован в систему, состоящую из трех основных компонентов, представленных на диаграмме контекста на рисунке 3:

1. Handy Editor – интерфейс для конечных пользователей, позволяющий загружать изображения, анализировать их цвета, менять палитру и удалять фон.
2. Color Reduction API – серверная часть, выполняющая поиск значимых цветов, перекрашивание изображений, удаление белого фона и обработку палитр. Именно здесь в качестве части операции поиска цветов и находится предложенное решение.
3. BackOffice – панель управления для мерчандайзеров, работающих с палитрами.

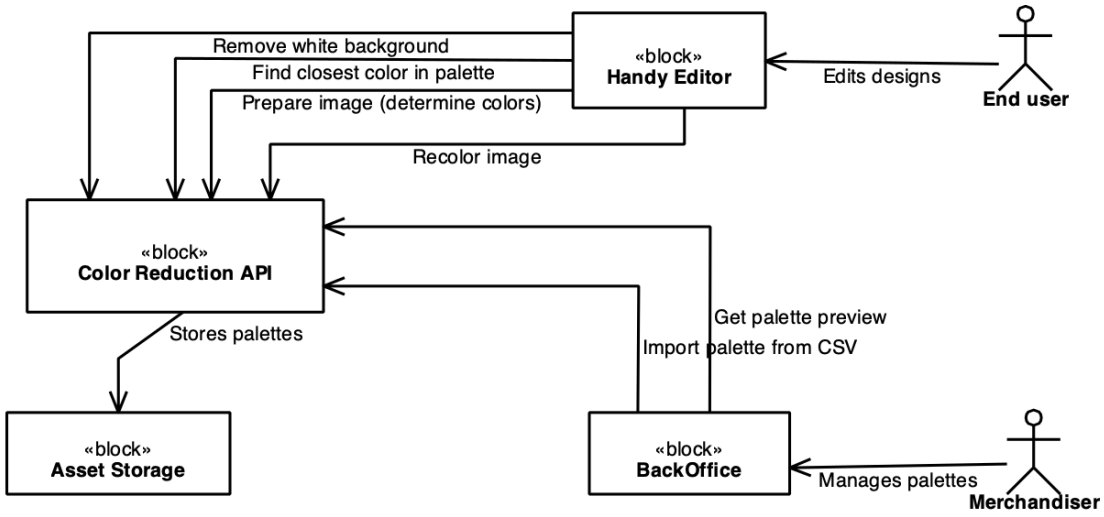


Рис. 3. Диаграмма контекста

Результаты

В ходе работы удалось успешно реализовать механизм извлечения цветовой палитры изображения и редуцирования количества цветов. На рисунке 4 представлен результат обработки логотипа, загруженного в формате JPEG, в котором около 30000 «грязных цветов». Алгоритм корректно выделил ключевые цвета, сократив их количество до допустимого, что позволяет использовать изображение для печати с ограниченной цветовой палитрой.

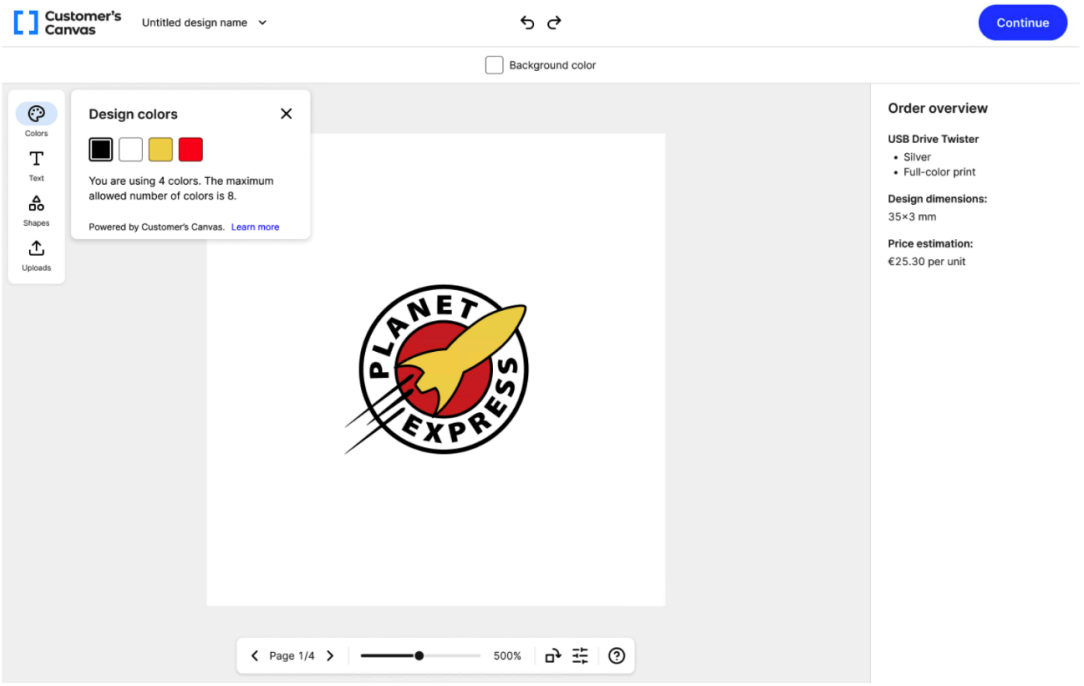


Рис. 4. Демонстрация результатов поиска цветов для логотипа

Кроме того, метод позволил выявлять полноцветные изображения, содержащие слишком большое количество оттенков, что делает их неподходящими для печати с ограниченной палитрой. На рисунке 5 показан пример обработки такого изображения: система корректно распознала его как полноцветное и указала на несоответствие требованиям.

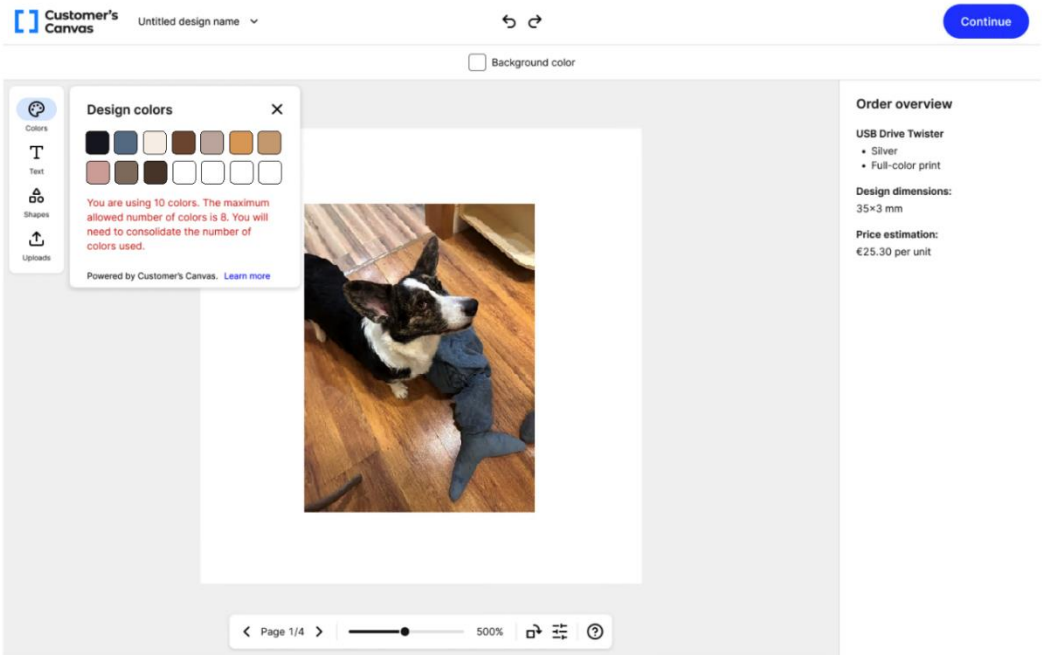


Рис. 5. Демонстрация результатов поиска цветов для полноцветного изображения

Таким образом, предложенный метод успешно решает две ключевые задачи:

1. Определение пригодности изображения для печати с ограниченной палитрой.
2. Оптимизация цветового пространства за счёт сокращения количества цветов, что помогает устранить возможные артефакты сжатия и повысить качество итогового изображения.

Заключение

Результатом работы является программная реализация описанного алгоритма для снижения цветности изображения и его обработки для дальнейшей печати со строгим ограничением цветов. В настоящий момент данный функционал появился в предрелизной версии Customer’s Canvas. В open source библиотеках подобных комбинаций алгоритмов нет, известных проприетарных реализаций, предоставляющих такую функциональность также не обнаружено. Разработанный метод позволяет автоматически анализировать и адаптировать изображения для технологий печати с ограниченной палитрой. Он сочетает Median Cut для предварительного квантования и DBSCAN для автоматического определения цветовых групп, что делает процесс точным и эффективным. Это решение помогает минимизировать ручную обработку изображений, снижая вероятность ошибок и повышая скорость подготовки к печати.

Список использованных источников

1. Aurigma // Компания Aurigma: сайт. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: aurigma.com (дата обращения: 24.03.2025).
2. Customer’s Canvas // Web-to-print editor: сайт. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: customerscanvas.com/ (дата обращения: 23.03.2025).
3. Median cut // Article about algorithm: сайт. 2025. [Электронный ресурс]. – URL: en.wikipedia.org/wiki/Median_cut (дата обращения: 25.03.2025).
4. Octree // Article about algorithm: сайт. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: en.wikipedia.org/wiki/Octree (дата обращения: 25.03.2025).
5. DBSCAN // Статья об алгоритме: сайт. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: ru.wikipedia.org/wiki/DBSCAN (дата обращения: 25.03.2025).
6. Интересные алгоритмы кластеризации, часть вторая: DBSCAN // Цикл статей об алгоритмах кластеризации: сайт. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/322034/ (дата обращения: 20.03.2025).

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УВЕДОМЛЕНИЯ О ТЕКУЩЕМ УРОВНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Марцияш Д. А.[1], Соколова В. В.[2]
[1]Томский политехнический университет, гр. 8К14 ОИТ ИШИТР, e-mail: dam53@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, к.т.н., доцент ОИТ ИШИТР, e-mail: veronica@tpu.ru

Аннотация

Мобильное приложение позволяет пользователю получать актуальную информацию о загрязнении воздуха на местности. Кроме того, приложение в зависимости от текущих показателей показывает пользователю соответствующие рекомендации. Также в приложении представлена карта, на которой отмечаются ближайшие станции и их измерения воздуха.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, Air Quality Index, ОС «Android», мобильное приложение.

Введение

Загрязнение воздуха является глобальной экологической проблемой, наносящей значительный вред здоровью людей. Согласно данным «Всемирной организации здравоохранения», почти всё население планеты дышит воздухом, содержащим большое количество загрязняющих веществ [1]. По данным Росгидромета в России за 2023 год доля городов, в которых загрязнение воздуха превышает предельно допустимые концентрации, составляет 81 %. При этом в 30 городах выявлено десятикратное превышение нормативов [2].

Обычный пользователь не может существенно повлиять на уровень загрязнения воздуха, поэтому остаётся предпринимать меры, направленные на снижение негативного влияния загрязнённого воздуха. В этой ситуации особенно полезным будет информирование, позволяющее скорректировать свою деятельность для избежания воздействия вредных веществ на организм.

Целью работы является разработка мобильного приложения, которое позволит пользователю получать данные о текущем уровне загрязнения воздуха.

Сведения о загрязнении воздуха

Загрязнение воздуха чаще всего связано именно с деятельностью человека. Длительное вдыхание загрязнённого воздуха способно оказывать негативное влияния на организм человека, вызывая такие заболевания, как ишемическая болезнь сердца, инсульт, пневмония и даже рак лёгких [1]. Выделяются следующие частицы, вызывающие загрязнение воздуха и, соответственно, негативно влияющие на человека:

- твердые частицы (PM, particulate matter) – частицы, взвешенные в воздухе, способны проникать через лёгкие в кровеносную систему;
- диоксид азота (NO_2) – газ, воздействие которого вызывает различные респираторные заболевания, например, астму;
- оксид углерода (CO) – бесцветный газ, препятствующий поглощению кислорода;
- диоксид серы (SO_2) – газ, образующийся при сжигании ископаемого топлива;
- озон (O_3) – газ, который может вызывать болезни лёгких.

Чтобы было проще оценить загрязнение воздуха был разработан индекс качества воздуха (AQI – air quality index). Данный индекс рассчитывается с учётом всех перечисленных показателей загрязнителей и характеризует степень загрязнения воздуха [3].

AQI делится на шесть категорий, каждая из которых обозначается цветом и определённым диапазоном значений, указывающим степень риска для здоровья.

1. Хорошее – значение AQI находится в пределах 0–50, это означает, что качество воздуха хорошее, и загрязнение практически отсутствует или незначительно.

2. Умеренное – при значениях AQI от 51 до 100 воздух остаётся приемлемым для большинства людей, однако чувствительные группы могут испытывать лёгкий дискомфорт.

3. Нездоровое для чувствительных групп – при значениях AQI от 101 до 150 воздух начинает оказывать негативное влияние на людей с заболеваниями дыхательной системы, детей и пожилых людей.

4. Вредное – AQI достигает значений от 151 до 200, качество воздуха становится вредным для здоровья большинства людей.

5. Очень вредное – при значениях AQI от 201 до 300 риск для здоровья повышается для всех людей, независимо от состояния здоровья.

6. Опасное – значения AQI выше 300 указывают на чрезвычайно высокий уровень загрязнения, представляющий серьёзную угрозу для здоровья.

Функциональные возможности

Приложение позволяет пользователю своевременно получать актуальную информацию о загрязнении воздуха, а также статистические данные за выбранный промежуток времени.

Чтобы определить функционал приложения была составлена диаграмма вариантов использования, которая представлена на рисунке 1.

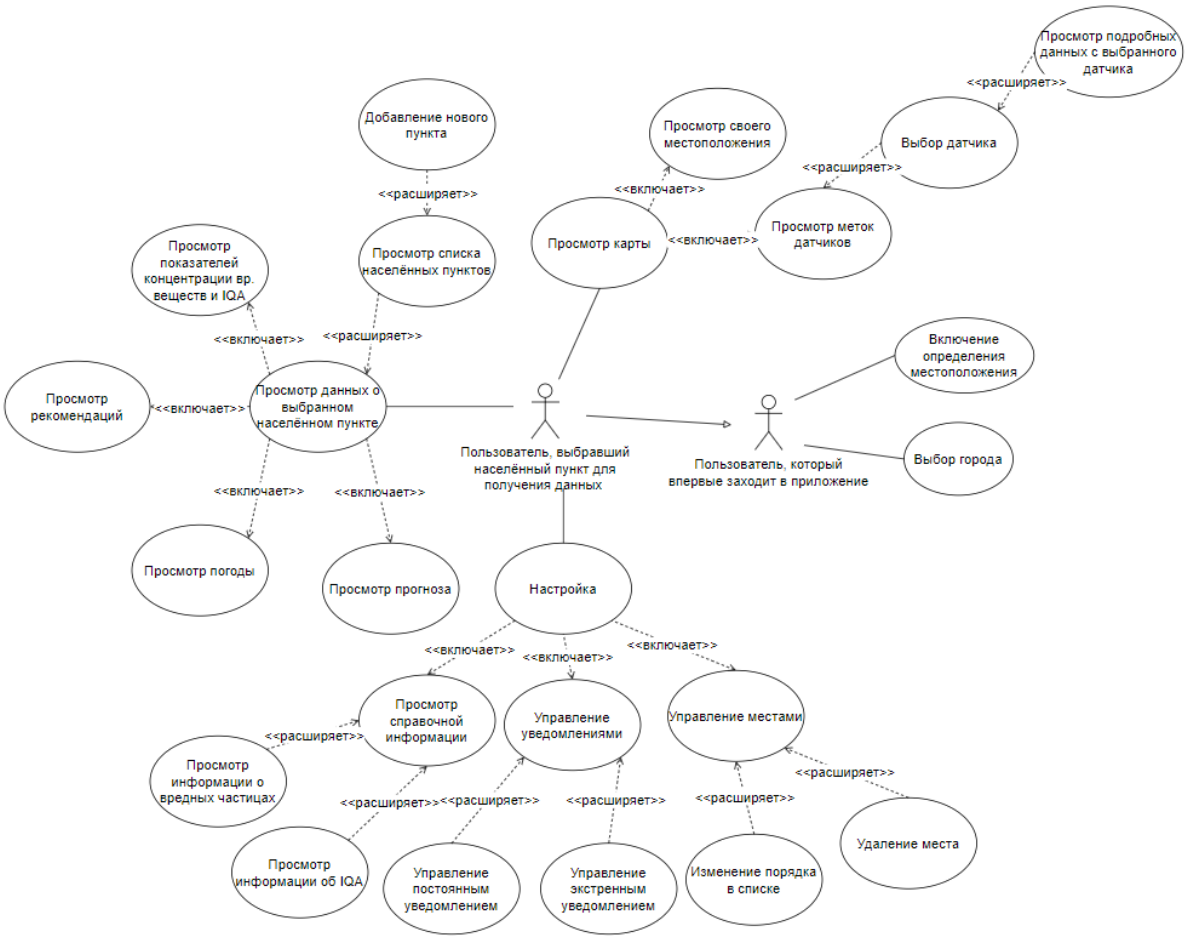


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования мобильного приложения

Всего было выделено два актора. Во время первого запуска приложения пользователю доступен только выбор города, и только после того, как он сделал этот выбор, ему открывается весь остальной функционал приложения.

Разработка мобильного приложения

Было решено разрабатывать мобильное приложение, потому что именно смартфоны в настоящее время широко распространены, что позволяет обеспечить более удобное информирование пользователя

В качестве платформы для разработки была выбрана ОС «Android». Данный выбор связан с тем, что на долю «Android» приходится примерно 70 % рынка [4], а также с тем, что установка приложений на «iOS» имеет определённые проблемы из-за закрытости системы. В качестве языка программирования был выбран «Kotlin», потому что он является приоритетным при разработке под «Android».

Приложение было разделено на несколько модулей в соответствии с вариантами использования. Была составлена диаграмма компонентов, которая представлена на рисунке 2.

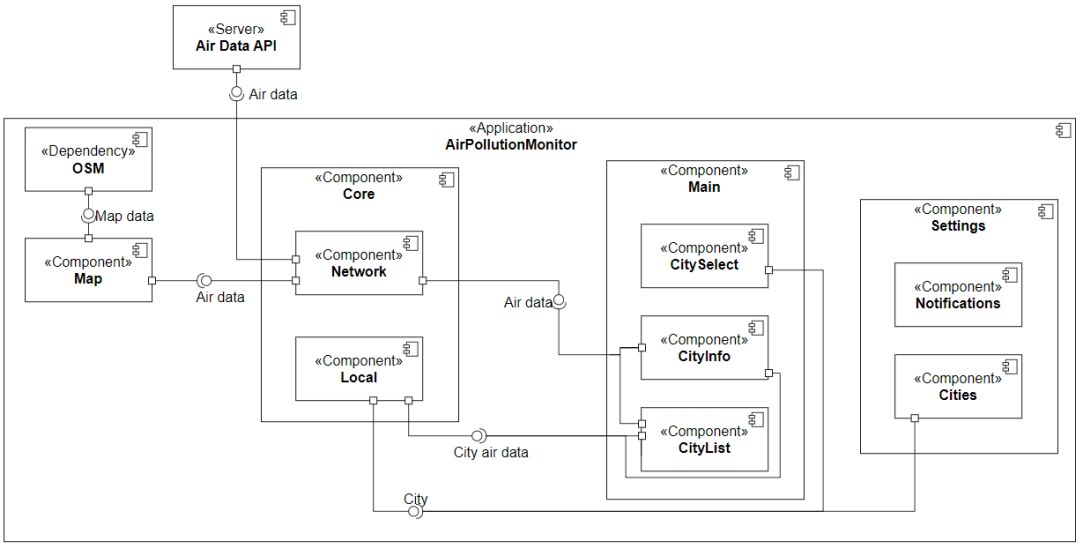


Рис. 2. Диаграмма компонентов мобильного приложения

Компонент `Core` содержит компоненты `Local` и `Network`. Компонент `Local` предоставляет интерфейсы для работы с локальной базой данных, в нём содержится описание таблиц и запросов, которые могут к ней выполняться. Компонент `Network` предназначен для работы с сетью, в нём содержатся объекты, позволяющие выполнять запросы для получения данных из Сети.

Компонент `Main` содержит компоненты `CityInfo`, `CitySelect` и `CityList`. `CitySelect` – это экран предоставляющий пользователю возможность выбрать город. `CityList` – экран со списком всех выбранных городов и краткой информацией о состоянии воздуха. `CityInfo` – экран, на котором отображается подробная информация о выбранном городе.

Компонент `Map` – это экран с картой, который отображает местоположение пользователя и датчиков с их показателями.

Компонент `Settings`, состоящий из компонентов `Notifications` и `Cities`, представляет собой экран настроек уведомлений и списка городов.

При первом запуске приложения пользователю предлагается самому выбрать город или определить его с использованием датчиков геолокации. После выбора пользователь переходит на главный экран. В нижней части приложения располагается панель навигации, для перехода по компонентам приложения.

На главном экране показывается текущая информация о выбранном пользователем городе. В зависимости от текущего показателя AQI пользователю отображаются соответствующие рекомендации, значения концентрации загрязняющих веществ и прогноз. Экран представлен на рисунке 3.

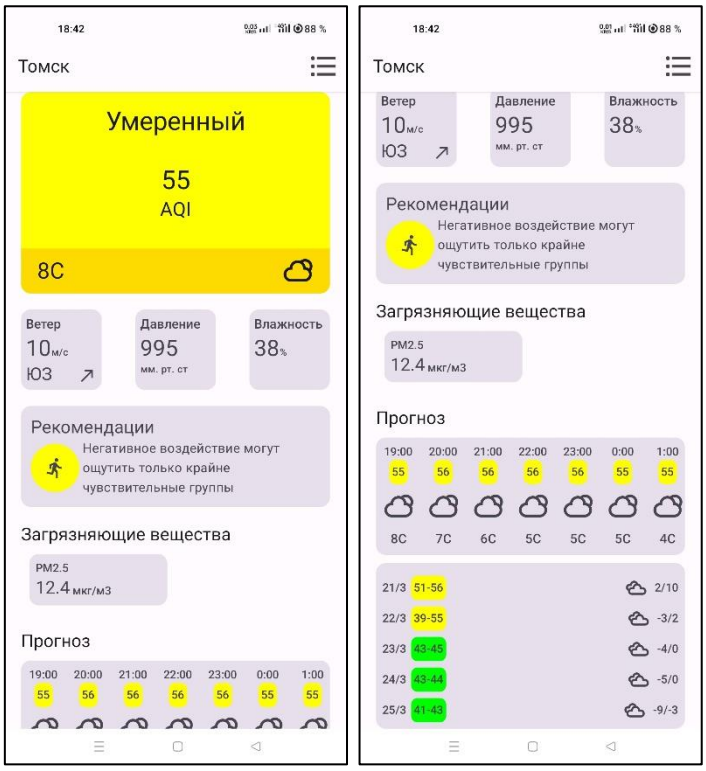


Рис. 3. Главный экран

Были добавлены экраны со справочной информацией, чтобы пользователь мог ознакомится с тем, что такое показатель «AQI» и что означают различные его значения. Кроме того, создан экран с кратким описанием загрязнителей воздуха, которые учитываются при расчёте индекса. Данные экраны изображены на рисунке 4.

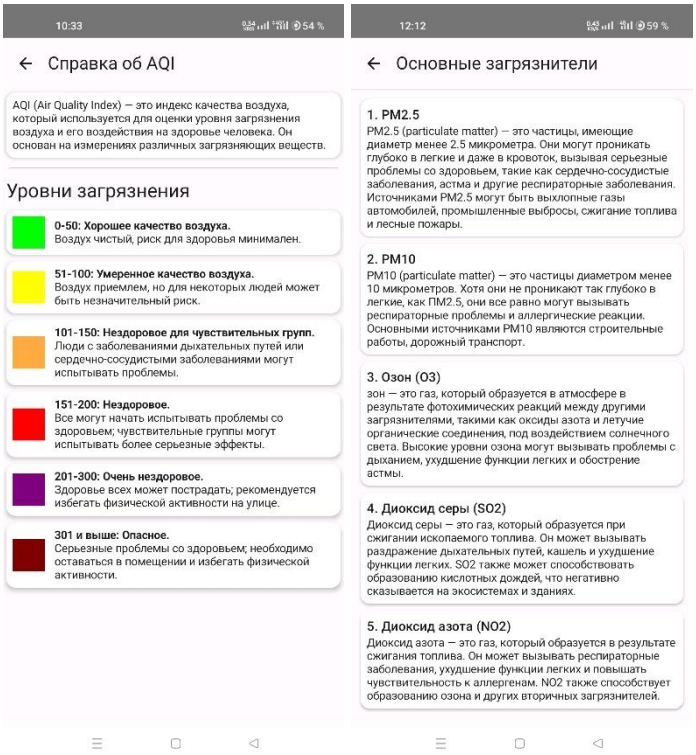


Рис. 4. Экраны справочной информации

Заключение

При выполнении работы была изучена предметная область, спроектировано и разработано мобильное приложение.

При исследовании предметной области были изучены основные аспекты загрязнения воздуха такие, как основные загрязнители воздуха и их влияние на организм человека, индекс качества воздуха и его применение для оповещения населения.

Во время проектирования были определены основные варианты использования мобильного приложения и составлена соответствующая UML-диаграмма. Сделаны макеты пользовательского интерфейса приложения. На основе этого было разработано мобильное приложение, которое позволит пользователям получать актуальные данные о загрязнении воздуха и на основе этих данных предпринимать соответствующие меры.

Список использованных источников

1. Ambient (outdoor) air pollution [Электронный ресурс]. – URL: who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health (дата обращения: 17.03.2025).

2. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2023 год /Довольская М.Л., Загайнова М.С., Ивлева Т.П., Любушкина Т.Н., Смирнова И.В. – Саратов : Амирит, 2024. – 265 с.

3. AQI basics [Электронный ресурс]. – URL: airnow.gov/aqi/aqi-basics/ (дата обращения: 17.03.2025).

4. Smartphones – statistics & facts [Электронный ресурс]. – URL: statista.com/topics/840/ smartphones/ (дата обращения: 17.03.2025).

ПОСТРОЕНИЕ СОБЫТИЙНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ В СИСТЕМЕ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА

Зарубин В.А[1]
Научный руководитель: Демин А.Ю.[2,3]
[1]*НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8К13, студент, vaz30@tpu.ru*
[2]*НИ ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОИТ, ad@tpu.ru*
[3]*НИ ТГУ, ИПМКН, к.т.н., доцент каф. ТОИ, adyomin@mail.tsu.ru*

Аннотация

В статье рассматривается построение событийно-ориентированной архитектуры для системы кредитного скоринга с использованием брокера сообщений Apache Kafka. Описаны преимущества этой архитектуры в контексте повышения масштабируемости, отказоустойчивости и минимизации задержек в передаче данных между микросервисами и моделями машинного обучения.

Ключевые слова: событийно-ориентированная архитектура, микросервисы, брокер сообщений, высоконагруженные системы.

Введение

Кредитный скоринг представляет собой один из ключевых элементов современной финансовой системы, обеспечивая возможность объективной оценки кредитоспособности заемщиков на основе множества факторов. В процессе принятия решений широко используются модели машинного обучения, анализирующие разнообразные параметры, включая кредитную историю, транзакционную активность, демографические характеристики и иные данные. Эффективность подобных моделей во многом зависит от качества и актуальности поступающей информации, что требует надежных механизмов сбора, обработки и передачи данных [1].

Традиционные подходы к организации потоков данных в скоринговых системах зачастую опираются на архитектуры с жестко заданными каналами взаимодействия, в которых компоненты напрямую обмениваются информацией. Такой подход ограничивает гибкость системы, усложняет масштабирование и увеличивает задержки при передаче данных. В условиях динамичной финансовой среды, где требуется оперативное обновление информации и адаптация моделей к изменяющимся условиям, подобные ограничения становятся существенным препятствием [2].

В данной статье будет рассмотрен процесс построения событийно-ориентированной архитектуры в системе кредитного скоринга, а также принципы интеграции Apache Kafka в механизм передачи данных для машинного обучения.

Основная часть

Рассматриваемая система кредитного скоринга построена на микросервисной архитектуре, где каждый сервис выполняет строго определенные задачи, имеет собственное API и использует реляционные или нереляционные базы данных. В данной архитектуре имеются разные варианты для передачи данных в сервис с ML моделью.

Один из распространенных вариантов заключается в синхронной передаче данных через REST API. В этом случае, при запросе на скоринг, данные с помощью API передаются по HTTP в сервис с ML-моделью, который в ответ возвращает предсказанный скоринговый балл. Такой метод обеспечивает мгновенную обработку запроса, однако он накладывает жесткие требования к доступности сервиса с моделью. При высоких нагрузках возможны задержки и сбои, что делает этот вариант неустойчивым при масштабировании системы [4].

Другой вариант – сохранение скоринговых запросов в реляционной или NoSQL базе данных, откуда сервис ML-модели периодически извлекает новые записи для обработки. Это

позволяет разгрузить основную систему и выполнять предсказания в асинхронном режиме, но такой подход увеличивает задержки в обработке данных, поскольку модель не получает информацию в момент запроса, а работает с задержкой, зависящей от частоты выборки данных. Кроме того, использование базы данных в качестве промежуточного буфера требует дополнительных ресурсов и усложняет архитектуру за счет необходимости управления процессами записи и чтения.

В рассматриваемой системе ранее использовался централизованный парсер, который объединял логи из различных микросервисов и сохранял их в кластер Hadoop Distributed File System. Данный подход позволял агрегировать данные из разных источников, однако сбор данных представлял из себя объёмный по времени и затратам процесс, что создавало узкое место в системе. Кроме того, сложность логики парсинга затрудняла масштабирование сервисов, так как с изменением сервисов требовалось изменять парсер.

Хорошим решением проблемы в данном контексте стало использование событийно-ориентированной архитектуры с брокером сообщений. В этом случае каждый микросервис на своём уровне формирует лог в JSON-формате и публикует его в определенный топик. Сервис с ML-моделью подписывается на этот топик и получает данные в режиме реального времени, что обеспечивает минимальные задержки в обработке.

Рис. 1. Передача сообщений через брокер

В качестве брокера сообщений выбрана Apache Kafka, поскольку она лучше подходит для обработки потоков событий в реальном времени по сравнению с RabbitMQ. Kafka обеспечивает более высокую пропускную способность за счет лог-ориентированной архитектуры, эффективного хранения сообщений на диске и возможности горизонтального масштабирования за счет партиционирования топиков. В отличие от RabbitMQ, который ориентирован на обработку отдельных сообщений и требует подтверждений доставки, Kafka поддерживает механизм репликации и ретенцию сообщений, что позволяет не только передавать данные, но и воспроизводить их в случае необходимости. Эти свойства делают Kafka одним из наиболее подходящих решений для высоконагруженных систем, работающих с потоками данных в режиме реального времени [5].

Однако системе важно не только передавать данные в модель, но и сохранять события, так как они представляют ценность для дальнейшего анализа и обучения модели. Хранение логов обеспечивает возможность детального мониторинга системы, помогает в отладке и ускоряет выявление потенциальных проблем. Для этого используется связка Apache Kafka и ClickHouse, где Kafka выполняет роль надежного транспорта событий, а ClickHouse служит основным хранилищем для анализа данных.

После публикации события в топик Kafka потребитель, отвечающий за обработку данных, получает его и записывает в ClickHouse. Такой подход гарантирует, что ни одно событие не будет потеряно, даже если база данных временно недоступна, так как Kafka может хранить сообщения в течение определенного времени. ClickHouse, в свою очередь, обеспечивает высокую скорость обработки и хранения больших объемов данных благодаря колонночной структуре и оптимизированным аналитическим запросам. Это позволяет эффективно агрегировать информацию, строить отчеты по качеству модели и адаптировать систему к изменяющимся требованиям [6].

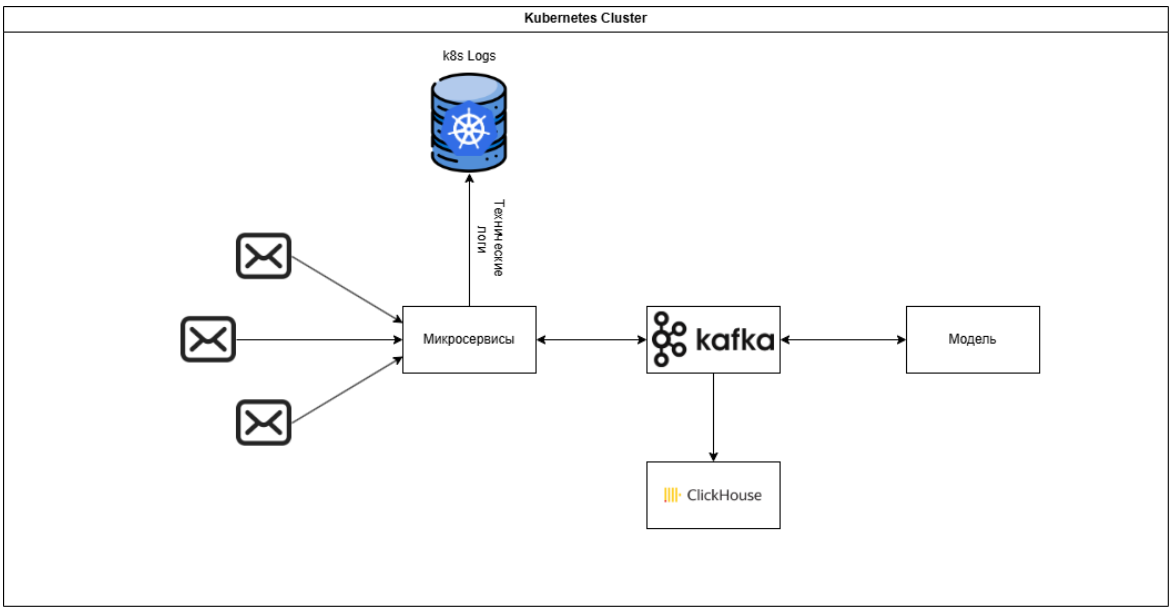


Рис. 2. Архитектура системы с использованием Kubernetes

Для обеспечения отказоустойчивости и масштабируемости система разворачивается в кластере Kubernetes, который управляет всеми компонентами, включая Kafka, ClickHouse и микросервисы скоринга. В событийно-ориентированной архитектуре это критически важно, так как Kubernetes автоматически балансирует нагрузку, перезапускает упавшие сервисы и масштабирует их в зависимости от потока событий. Kafka обеспечивает надежную доставку данных, ClickHouse эффективно обрабатывает большие объемы информации, а микросервисы динамически адаптируются к изменяющимся требованиям [7].

Было проведено нагрузочное тестирование обоих систем, которое показало следующие результаты.

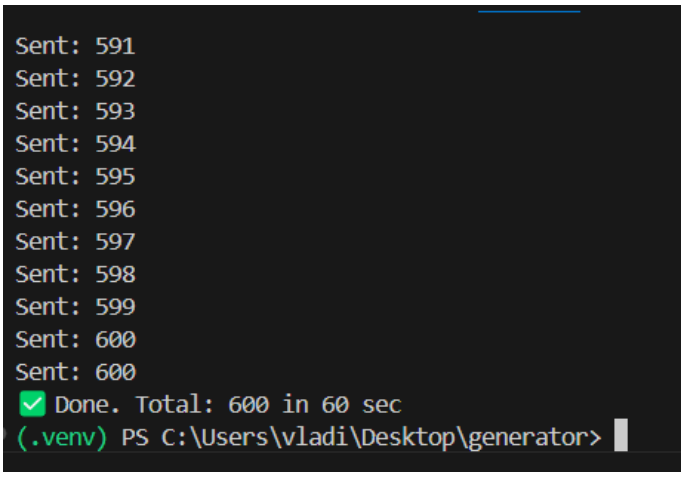


Рис. 3. Отправка запросов по REST в течение минуты

Первоначальная система использующая централизованный парсер смогла принять только 600 запросов за 60 секунуд. Связано это с тем, что REST API работает синхронно, а каждый вызов обрабатывается последовательно. Сначала происходит ожидание ответа от сервиса, а затем запись логов в HDFS, что создаёт блокирующую цепочку действий и увеличивает время ответа на каждую операцию.

```
2025-04-10 16:29:28 Sent: 4800
2025-04-10 16:29:28 Sent: 5000
2025-04-10 16:29:28 Sent: 5200
2025-04-10 16:29:28 Sent: 5400
2025-04-10 16:29:28 Sent: 5600
2025-04-10 16:29:28 Sent: 5800
2025-04-10 16:29:28 Sent: 6000
2025-04-10 16:29:28 Sent: 6200
2025-04-10 16:29:28 Sent: 6400
2025-04-10 16:29:28 Sent: 6600
2025-04-10 16:29:28 Sent: 6800
2025-04-10 16:29:28 Sent: 7000
2025-04-10 16:29:28 Sent: 7200
2025-04-10 16:29:28 Sent: 7400
2025-04-10 16:29:28 Sent: 7600
2025-04-10 16:29:28 Sent: 7800
2025-04-10 16:29:28 Sent: 8000
2025-04-10 16:29:28 Sent: 8200
2025-04-10 16:29:28 Sent: 8400
2025-04-10 16:29:28 Sent: 8600
2025-04-10 16:29:28 Sent: 8800
2025-04-10 16:29:28 Sent: 9000
2025-04-10 16:29:28 Sent: 9200
2025-04-10 16:29:28 Done: 9200 in 60 sec
```

Рис. 4. Отправка событий через Kafka в течение минуты

Использование событийно-ориентированной архитектуры же позволило добиться принципиально иной производительности. За то же самое время новая система приняла 9200 сообщений, что 15 раз больше, чем в системе с использованием парсера. Такой прирост обусловлен тем, что сервисы производители работают асинхронно и не зависят от скорости обработки сообщений потребителем. Каждое событие мгновенно публикуется в брокер сообщений Kafka без ожидания ответа, что исключает задержки, характерные для REST-вызовов. Кроме того, постоянные соединения и бинарный протокол передачи данных позволяют снизить накладные расходы.

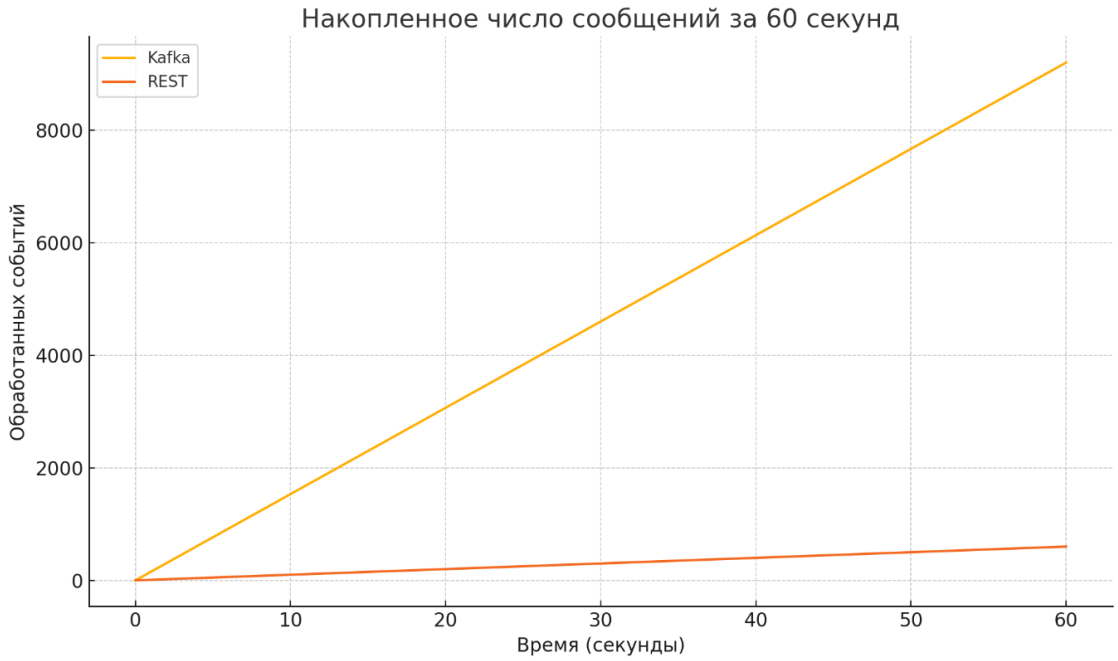


Рис. 4. График сравнения обработки запросов с использованием REST и Kafka

Результаты

Внедрение событийно-ориентированной архитектуры повысило производительность и устойчивость системы за счет отказа от централизованного парсера и перехода к унифицированному формату логов. Теперь каждый микросервис публикует события напрямую в Kafka, исключая сложную логику парсинга и предварительную обработку данных. Это позволило снизить нагрузку на систему логирования, ускорило передачу данных в хранилище и упростило процесс масштабирования. Передача данных через Kafka происходит намного быстрее за счёт асинхронной модели обмена сообщениями.

Ранее парсер связывал логи различных сервисов и загружал их в Hadoop, что приводило к задержкам по времени. Теперь события хранятся в ClickHouse в структурированном виде, что уменьшило объем избыточных данных на кластере HDFS. Также снизился сбор метрик в Prometheus, так как все данные поступают в единый поток событий без дополнительной обработки.

Дополнительным преимуществом стала ослабленная связанность сервисов. Каждый компонент системы работает независимо, а обмен данными происходит через брокер сообщений. Это упростило интеграцию новых сервисов, сделало систему более гибкой и отказоустойчивой. Даже при временной недоступности отдельных компонентов данные не теряются, так как Kafka сохраняет их до момента обработки.

Однако следует учитывать, что событийно-ориентированная архитектура может быть избыточной для небольших систем с невысокой нагрузкой, где традиционные REST-запросы или прямая работа с базами данных обеспечивают достаточную производительность. В таких случаях дополнительная инфраструктура, связанная с развертыванием и поддержкой брокера сообщений, может привести к неоправданным затратам на администрирование и усложнению архитектуры без значительных выгод.

Заключение

Событийно-ориентированная архитектура позволила существенно сократить задержки в передаче данных, упростить интеграцию сервисов и повысить надежность обработки запросов. Использование логов как основного формата данных унифицирует взаимодействие компонентов и облегчает их масштабирование. Однако такой подход может быть избыточным для небольших систем с низкой нагрузкой, где его внедрение не оправдает дополнительных затрат. В высоконагруженных же системах событийная модель обеспечивает гибкость, отказоустойчивость и возможность оперативной адаптации к изменяющимся условиям.

Список использованных источников

1. Кредитный скоринг: что это и как работает. [Электронный ресурс]. – URL: alfabank.ru/help/articles/credit-cards/kreditnyj-skoring/#part_7 (дата обращения 27.03.2025).
2. Извлечение данных при машинном обучении. [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/companies/plarium/articles/460675/ (дата обращения 27.03.2025).
3. А может событийно-ориентированная архитектура? [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/companies/otus/articles/596107/ (дата обращения 27.03.2025).
4. Cagaty Catal. et al. RESTful API Testing Methodologies: Rationale, Challenges, and Solution Directions // 2022 Applied Sciences 12.9. – IEEE, 2022. – С. 1-16.
5. P. Dobbelaere and K. S. Esmaili. Kafka versus rabbitmq // A comparative study of two industry reference publish/subscribe implementations. Inthe 11th ACM DEBS, pages 227-238, 2017
6. ClickHouse: Передовой инструмент для оперативной обработки данных [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/companies/otus/articles/773174/ (дата обращения 29.03.2025).
7. Event-driven архитектура в Kubernetes [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/companies/otus/articles/682466/ (дата обращения 29.03.2025).

РАЗРАБОТКА КРОССПЛАТФОРМЕННОГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПРИВЫЧЕК С ФУНКЦИЕЙ СОВМЕСТНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

Ковалев Д.О. [1]
Научный руководитель: Дорофеев В.А. [2]
[1]*ТПУ ИШИТР ОИТ, гр. 8И11, e-mail: dok21@tpu.ru*
[2]*ТПУ ИШИТР ОИТ, старший преподаватель, e-mail: dva@tpu.ru*

Аннотация

Разрабатываемое мобильное приложение предоставляет возможности отслеживания личных и групповых привычек, включающие функции совместного выполнения, анализа прогресса и системы уведомлений. Приложение заполняет нишу отсутствия русифицированных решений с акцентом на социальное взаимодействие: пользователи могут создавать группы, обмениваться статистикой и участвовать в совместных челленджах. Решение направлено на повышение вовлеченности пользователей через общую активность, социальную мотивацию и систему уведомлений.

Ключевые слова: мобильное приложение, привычки, саморазвитие, социальное взаимодействие, кроссплатформенность, дизайн пользовательского интерфейса

Введение

Современный образ жизни диктует высокие требования к самодисциплине, управлению временем и эффективности в достижении целей. В этих условиях мобильные приложения для формирования полезных привычек [1] становятся инструментом, востребованным широкой аудиторией. Однако большинство существующих решений разработаны зарубежными компаниями и не учитывают специфику локального рынка. В России такие приложения либо отсутствуют, либо не предлагают функции коллективного взаимодействия, что особенно востребовано в условиях роста интереса к отечественным разработкам.

Несмотря на обилие трекеров привычек, ключевой недостаток существующих решений – ограниченные возможности социальной вовлеченности. Согласно исследованию [2], около 65– 68% пользователей отмечают, что мобильные приложения с групповыми привычками значительно повышают мотивацию и помогают им достигать поставленных задач. Совместное выполнение привычек, сравнение прогресса с друзьями и обмен мотивацией остаются недостаточно реализованными функциями на текущем рынке, хотя именно они повышают вовлеченность пользователей.

Целью данной работы является проектирование и разработка кроссплатформенного мобильного приложения для индивидуального и группового отслеживания привычек, сочетающее в себе интуитивный интерфейс, гибкие настройки и инструменты для поддержания мотивации.

Основная часть

Работа началась с формирования как функциональных, так и нефункциональных требований. Функциональные требования включают в себя регистрацию и авторизацию пользователей, добавление, удаление и редактирование привычек, возможность создания групповых привычек и их настройку, интеграцию с друзьями через поиск по email и обмен уведомлениями, а также подробную статистику выполнения привычек. Нефункциональные требования охватывают удобство интерфейса, высокую производительность, масштабируемость и безопасность данных. Для функциональных требований в работе на рис. 1 представлена диаграмма вариантов использования, демонстрирующая взаимодействие пользователя с системой на различных этапах работы приложения.

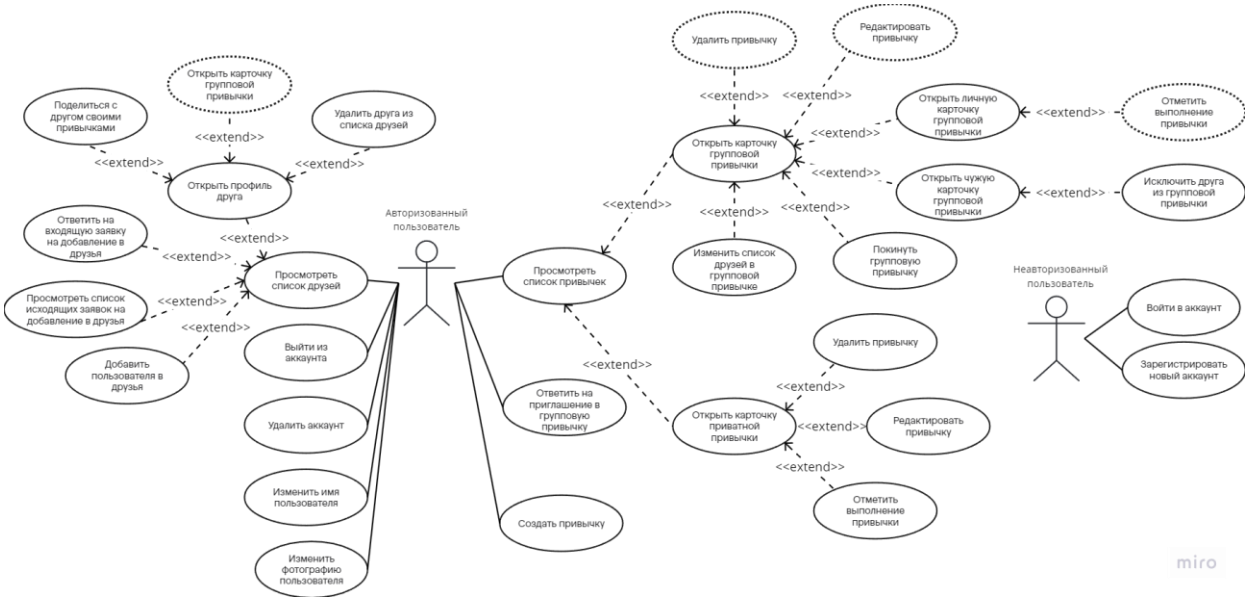


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

На следующем этапе был разработан макет пользовательского интерфейса с использованием Figma, что позволило создать визуально привлекательное и интуитивно понятное оформление. Данный макет, представленный на рис.2, стал основой для дальнейшей разработки и включал детальное описание основных экранов приложения, таких как экраны авторизации, регистрации, главного меню, создания привычек, работы со списками друзей и привычками.

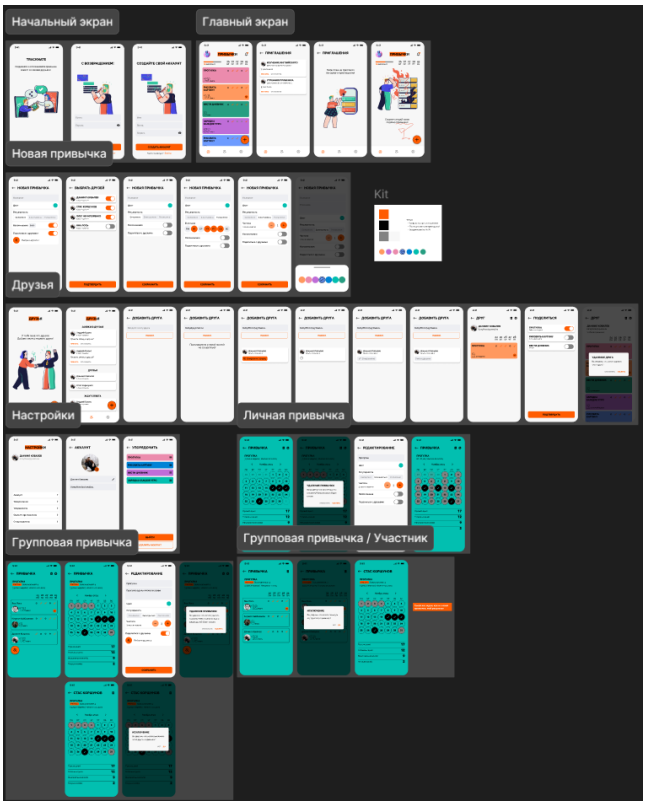


Рис. 2. Макет пользовательского интерфейса

Для организации структуры данных и проектирования базы данных была создана ER-диаграмма, которая представлена на рис. 3. Данная диаграмма демонстрирует связи между ключевыми коллекциями, такими как пользователи, друзья, приглашения в друзья, привычки, прогресс привычек и приглашения в привычки, что позволяет обеспечить целостность данных и эффективное выполнение операций CRUD.

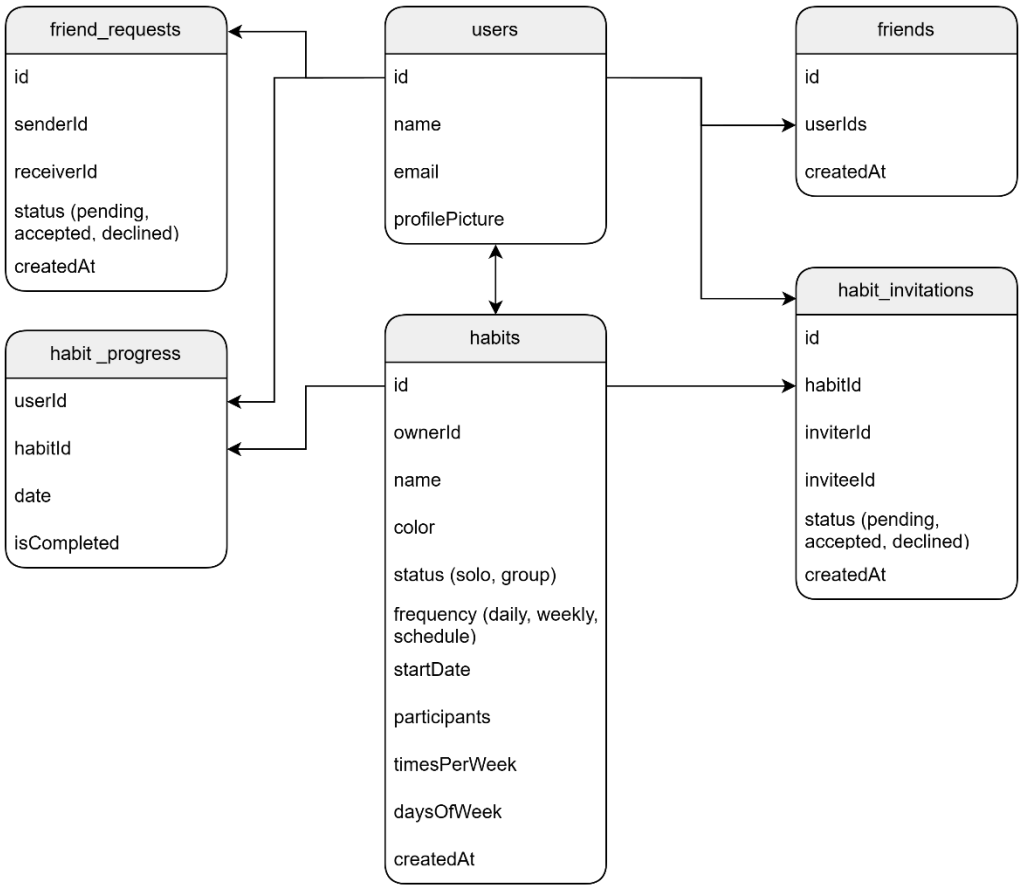


Рис. 3. ER-диаграмма

Разработка приложения осуществлялась в среде разработки Android Studio с использованием языка Dart и фреймворка Flutter [3], что позволило создать кроссплатформенное решение. В качестве стейт-менеджмента и инструмента для маршрутизации была выбрана библиотека GetX, которая обеспечивает эффективное управление состоянием, маршрутизацией и инъекцией зависимостей. Данная архитектурная парадигма объединяет элементы как MVC (Model-View-Controller), так и MVVM (Model-View-ViewModel), что позволяет изолировать бизнес-логику от пользовательского интерфейса, повысить тестируемость и упростить масштабирование приложения.

Структура проекта организована следующим образом:

- Модели: представляют данные и описывают бизнес-логику, связанную с отдельными сущностями, что обеспечивает централизованное хранение и обработку информации.
- Репозитории: выполняют операции взаимодействия с базой данных Firestore, реализуя функции создания, чтения, обновления и удаления (CRUD) данных.
- Контроллеры: отвечают за управление бизнес-логикой и состоянием приложения, обрабатывая запросы от представлений и взаимодействуя с моделями.
- Представления: включают экраны приложения, на которые передаются данные от контроллеров и отображаются пользователю в виде удобного и интуитивно понятного интерфейса.

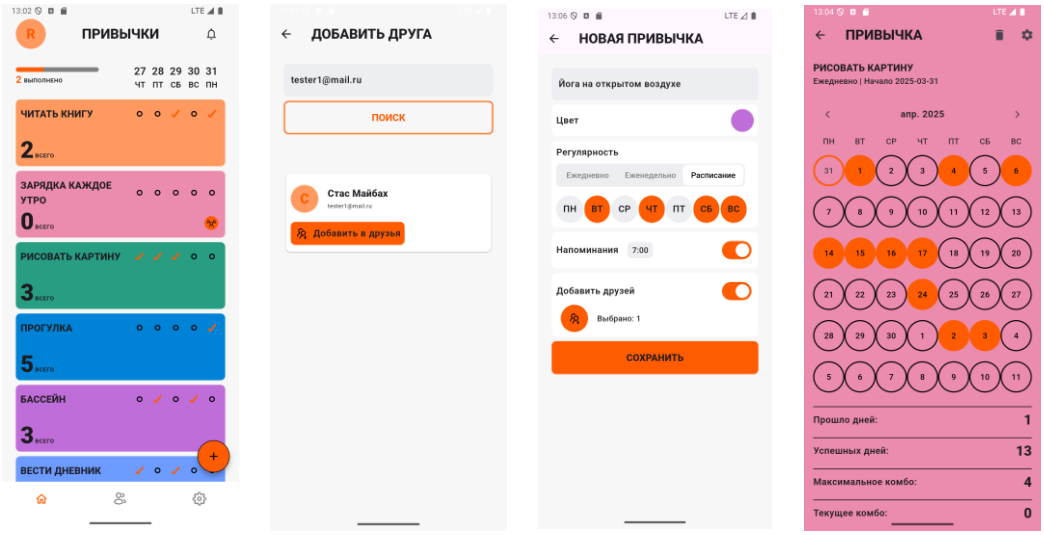
Интеграция с Firebase [4] является ключевым элементом архитектуры приложения, реализуя модель Backend-as-a-Service (BaaS). Использование сервисов Firebase [5], таких как Authentication, Firestore Database и Cloud Messaging, позволяет обеспечить надёжную аутентификацию пользователей, централизованное хранение и оперативное обновление данных, а также своевременную доставку уведомлений. Благодаря этому подходу разработка бэкенда упрощается, что позволяет сконцентрироваться на создании качественного клиентского приложения.

Результаты разработки

В результате технической реализации проекта были разработаны страницы приложения, полностью учитывающие все поставленные функциональные требования. Во время регистрации пользователь создает профиль, где указывает основные данные, такие как имя, почту, пароль и, по желанию, фотографию. Каждый зарегистрированный пользователь может добавлять личные привычки (рис. 4, в), задавая для них название, описание, частоту выполнения, напоминания и цвет. Для создания групповой привычки необходимо поделиться данной привычкой с друзьями, отправляя каждому из них приглашения к участию.

Ключевой особенностью приложения является возможность добавления друзей через поиск по email, по которому они регистрировались (рис. 4, б). Входящие и исходящие заявки в друзья и сам список друзей представлены на отдельной странице. После принятия заявки пользователи могут объединяться в группы для выполнения привычек (рис. 4, а) и отслеживать общий прогресс. Приглашения на совместные привычки отображаются в отдельном списке, где пользователь может принять или отклонить предложение. В случае принятия привычка добавляется в общий список, а прогресс всех участников становится доступным для просмотра. На каждой карточке привычки пользователь может увидеть подробную статистику (рис. 4, г): собственный прогресс и данные о других участниках, а именно количество пройденных дней, количество успешных дней, лучшее комбо и текущее комбо.

Помимо этого, в приложении доступна система уведомлений для повышения вовлеченности пользователей, которая напоминает о необходимости выполнения той или иной привычки в заданное время.



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 4. Разработанные экраны приложения: а) домашний экран, список привычек, б) экран поиска и добавления друзей, в) экран создания привычки, г) экран привычки

Заключение

В ходе работы был разработан проект мобильного приложения «TrackMate» для трекинга привычек с возможностью коллективного использования. Были определены функциональные и нефункциональные требования, создан макет интерфейса в Figma, спроектирована ER-диаграмма, а также реализована разработка с использованием языка Dart, фреймворка Flutter, библиотеки GetX и сервиса Firebase. Итоговый продукт представляет собой масштабируемое и удобное решение для эффективного управления личными и групповыми привычками. Полученные результаты могут быть применены в реальной жизни, а сам проект имеет потенциал для дальнейшего развития и внедрения новых функций.

Список использованной литературы

1. 18 лучших трекеров привычек в 2025 году. – [Электронный ресурс]. – URL: kp.ru/expert/elektronika/luchshie-trekery-privychek/.

2. Yardley L, Spring BJ, Riper H, Morrison LG, Crane DH, Curtis K, Merchant GC, Naughton F, Blandford A. Understanding and Promoting Effective Engagement With Digital Behavior Change Interventions. Am J Prev Med. – Текст: электронный. – 2016. – URL: ajpmonline.org/article/S0749-3797(16)30243-4/abstract.

3. Flutter. Официальная документация. – [Электронный ресурс]. – URL: docs.flutter.dev/

4. Firebase – Google's Mobile and Web App Development Platform. – [Электронный ресурс]. – URL: firebase.google.com/.

5. Настройка Firebase для приложений iOS и Android через Flutter. – [Электронный ресурс]. – URL: 8host.com/blog/nastrojka-firebase-dlya-prilozhenij-ios-i-android-cherez-flutter/.

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПОРТФЕЛЕМ

Науменко М.А.[1], Соколова В.В.[2]
[1] Томский политехнический университет, гр. 8ВМ42 ОИТ ИШИТР, e-mail: man17@tpu.ru
[2] Томский политехнический университет, к.т.н., доцент ОИТ ИШИТР, e-mail: veronica@tpu.ru

Аннотация

В статье рассматривается разработка веб-сервиса для управления инвестиционным портфелем, позволяющего оптимизировать процесс принятия решений. В работе анализируются современные тенденции в области цифровизации финансов, а также выявляются основные проблемы, связанные со сбором и анализом рыночных данных.

Ключевые слова: инвестиционный портфель, финансовый анализ, управление инвестициями, веб-сервис.

Введение

В основе любой инвестиционной деятельности лежит формирование и управление портфелем финансовых инструментов, обеспечивающих доходность и диверсификацию рисков. Без своевременного учёта и анализа динамики активов усложняется принятие взвешенных решений по расширению портфеля, а также поддержка существующих позиций, поскольку текущее состояние рынка напрямую влияет на стоимость ценных бумаг и эффективность стратегий инвестора.

Актуальность темы определяется растущим интересом к инвестициям среди широких слоёв населения и необходимостью повышения прозрачности рынка. По данным «Стратегии развития финансового рынка» до 2030 года [1], в планах государства – стимулировать вовлечение частных инвесторов в экономику страны, а также создать условия, при которых вложения в отечественные финансовые инструменты будут более привлекательны и защищены. Одним из ключевых направлений развития является совершенствование цифровых платформ, упрощающих процесс анализа и выбора инвестиционных решений.

Имеющиеся планы развития финансового сектора свидетельствуют о необходимости создания веб-сервиса, который позволит частным лицам и организациям эффективно управлять своими портфелями, осуществлять мониторинг динамики активов и оперативно реагировать на рыночные колебания. Подобное решение способно повысить доверие к отечественному финансовому рынку и способствовать его дальнейшему росту за счёт более широкой информированности и удобства принятия инвестиционных решений.

Таким образом, целью проекта является разработка веб-приложения (далее – система), позволяющего вести учёт инвестиционных портфелей, получать актуальную информацию о рыночных показателях и обмениваться опытом посредством публичных портфелей других пользователей. Система должна обеспечить прозрачность инвестиционных процессов и упростить взаимодействие между инвесторами, предлагая функционал для автоматизированного сбора данных, отслеживания изменений стоимости активов и изучения успешных стратегий.

Основные сведения об инвестиционном портфеле

Инвестиционный портфель представляет собой совокупность различных финансовых инструментов (акций, облигаций, паёв инвестиционных фондов, биржевых фондов и т. д.), отобранных инвестором с целью получения дохода и диверсификации рисков [2]. Ключевым свойством инвестиционного портфеля является сбалансированность его структуры, позволяющая минимизировать потери при неблагоприятном развитии ситуации на рынке. Для обеспечения такого баланса применяются различные стратегии управления, учитывающие уровень риска и потенциальную доходность активов.

Количество и соотношение типов активов в портфеле может варьироваться в зависимости от целей инвестора, его временного горизонта и готовности к риску. На рисунке 1 приведён пример возможной структуры портфеля, где показано распределение средств между акциями, облигациями и денежными средствами (краткосрочными инструментами).

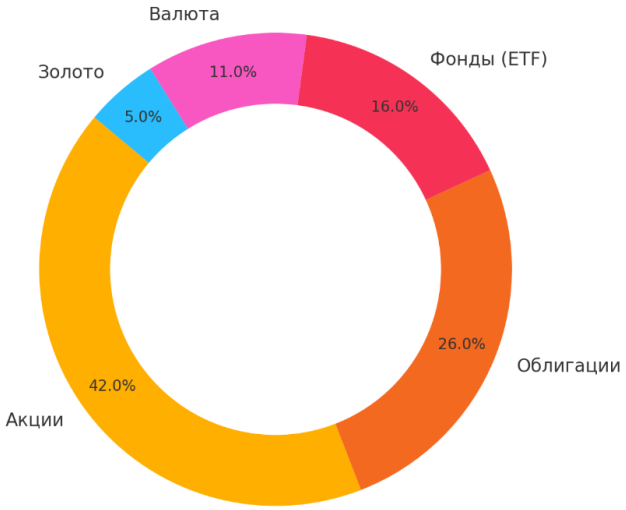


Рис. 1. Структура инвестиционного портфеля частного инвестора

Неотъемлемым компонентом при формировании и обслуживании инвестиционного портфеля является процесс мониторинга его эффективности. Для этого инвестор отслеживает ключевые показатели (доходность, волатильность, соотношение риска и дохода), а также регулярно пересматривает стратегию управления, принимая решения о покупке или продаже тех или иных активов. Кроме того, важным элементом служит обмен информацией между инвесторами. Система публичных портфелей даёт возможность выделять и анализировать определённые сделки и стратегии, что способствует повышению прозрачности и помогает новичкам ориентироваться в сложном мире финансов.

Для оценки и управления рисками широко применяются методики фундаментального и технического анализа, а также современные цифровые инструменты, способные агрегировать информацию из разных источников и упрощать принятие решений. Все эти аспекты должны учитываться в разрабатываемом веб-сервисе, чтобы обеспечить пользователям удобный доступ к данным и эффективный контроль над своими инвестиционными портфелями.

В обзоре ключевых показателей отдельных профессиональных участников рынка ценных бумаг Центрального банка Российской Федерации представлена оценочная динамика структуры вложений средств физических лиц на брокерском обслуживании за 2021–2023 годы [3]. Из диаграммы видно, что за этот период сократилась совокупная доля иностранных активов (акций и облигаций нерезидентов, паи нерезидентов и т. д.) и увеличилась доля отечественных инструментов, в том числе акций и облигаций российских эмитентов. Подобная перестройка портфелей во многом объясняется санкционными ограничениями и повышенным вниманием к рынку внутренних инструментов. Кроме того, постепенно растёт интерес к акциям и облигациям кредитных организаций, что может свидетельствовать об увеличении доверия инвесторов к финансовому сектору.

Для веб-сервиса, ориентированного на управление инвестиционным портфелем, важно учитывать эти тенденции и предоставлять пользователям актуальные инструменты анализа, позволяющие оперативно реагировать на изменения рыночной конъюнктуры.

Функциональные возможности системы управления инвестиционными портфелями

Разрабатываемая система предназначена для учёта и мониторинга инвестиционных портфелей, обеспечивая точный и надёжный контроль за динамикой финансовых активов, формированием структуры вложений и оценкой эффективности инвестиционных стратегий. Система позволяет инвесторам принимать обоснованные решения по расширению или корректировке портфеля, а также обмениваться опытом через публичные портфели других пользователей.

Предполагается её использование следующими категориями пользователей:

1. Неавторизованный пользователь: способен зарегистрироваться и войти в систему, имеет доступ к публично доступной информации: общим описаниям функционала, списку публичных портфелей, их составу и рейтингу без возможности внесения изменений, а также может просматривать профили других пользователей.

2. Авторизованный пользователь: получает доступ к расширенным функциям, таким как создание и редактирование собственных инвестиционных портфелей: добавление новых финансовых инструментов, корректировка текущих позиций и удаление неактуальных активов, может просматривать подробную статистику по своим портфелям, а также управляет параметрами конфиденциальности, что позволяет сделать портфель публичным или ограничить доступ к нему для других пользователей.

3. Администратор, сохраняя возможность использования системы как авторизированный пользователь, может удалять портфели, размещённые в публичном доступе, в случае нарушения установленных правил, а также блокировать возможность публикации портфелей определённым пользователям, активировать или дезактивировать учетные записи пользователей.

Общая схема функциональной структуры системы

На рисунке 2 представлена UML-диаграмма компонентов системы.

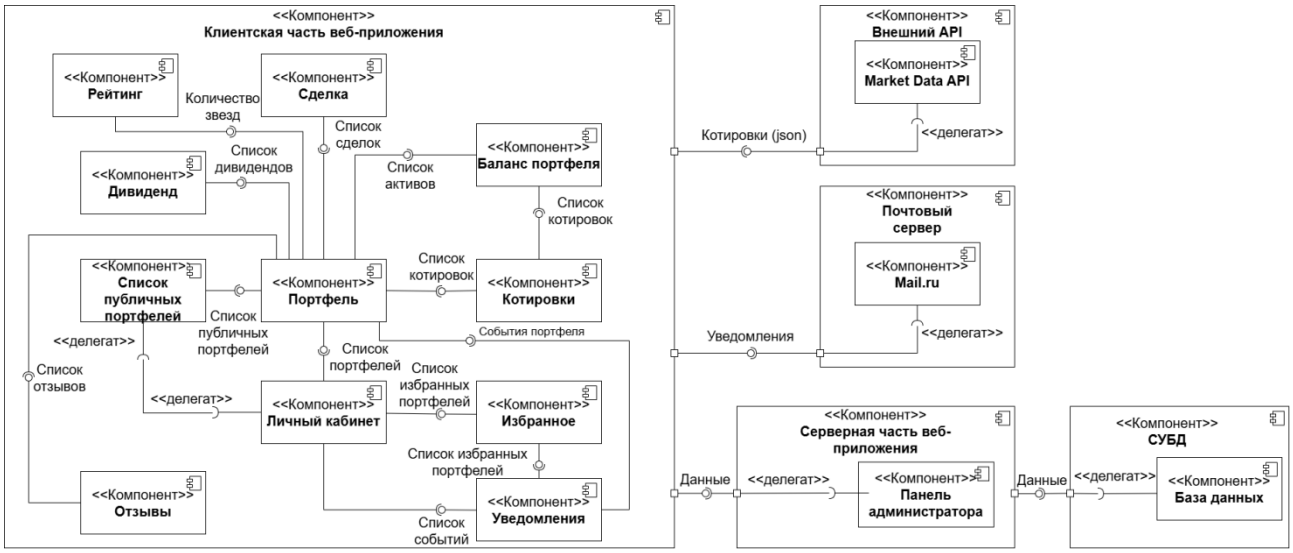


Рис. 2. Диаграмма компонентов системы

На диаграмме отражено взаимодействие ключевых компонентов веб-приложения для управления инвестиционными портфелями, а также интеграция с внешними сервисами и источниками данных.

Приложение взаимодействует со следующими внешними API:

• **Market Data API**: внешний сервис, предоставляющий актуальные рыночные данные (котировки акций, облигаций, валют, индексов). Приложение регулярно обращается к этому сервису, чтобы обновлять информацию о стоимости активов в портфелях [4].

• **Mail**: компонент для взаимодействия с внешними почтовыми сервисами для отправки писем пользователям.

Разработка системы

Для реализации веб-приложения был выбран фреймворк «Django» [5] на языке программирования Python. В качестве основной системы управления базами данных (СУБД) решено использовать реляционную базу данных «PostgreSQL», которая обеспечивает надёжное хранение и быструю обработку данных о портфелях, сделках и пользователях.

В ходе работы были спроектированы и разработаны страницы, соответствующие функциональным требованиям приложения. После входа в систему в верхней части интерфейса отображается панель навигации, позволяющая переходить к различным разделам (например, к списку публичных портфелей, аналитике, пользовательскому профилю, авторизоваться) и завершать работу в системе при необходимости. Вид и наполнение панели могут меняться в зависимости от роли пользователя (например, у администратора будут дополнительные пункты меню, связанные с управлением учётными записями).

Одной из ключевых страниц является раздел «Публичные портфели» (рис. 3), на которой в виде карточек представлена информация о доходности, уровне риска и текущей стоимости различных портфелей, доступных для просмотра. Каждая карточка содержит краткую сводку по доходности за определённый период, а также информацию о составе активов или комментарии владельца портфеля. Наличие строки поиска и фильтров позволяет быстро находить портфели, соответствующие интересам пользователя (например, по отрасли, уровню риска или доходности).

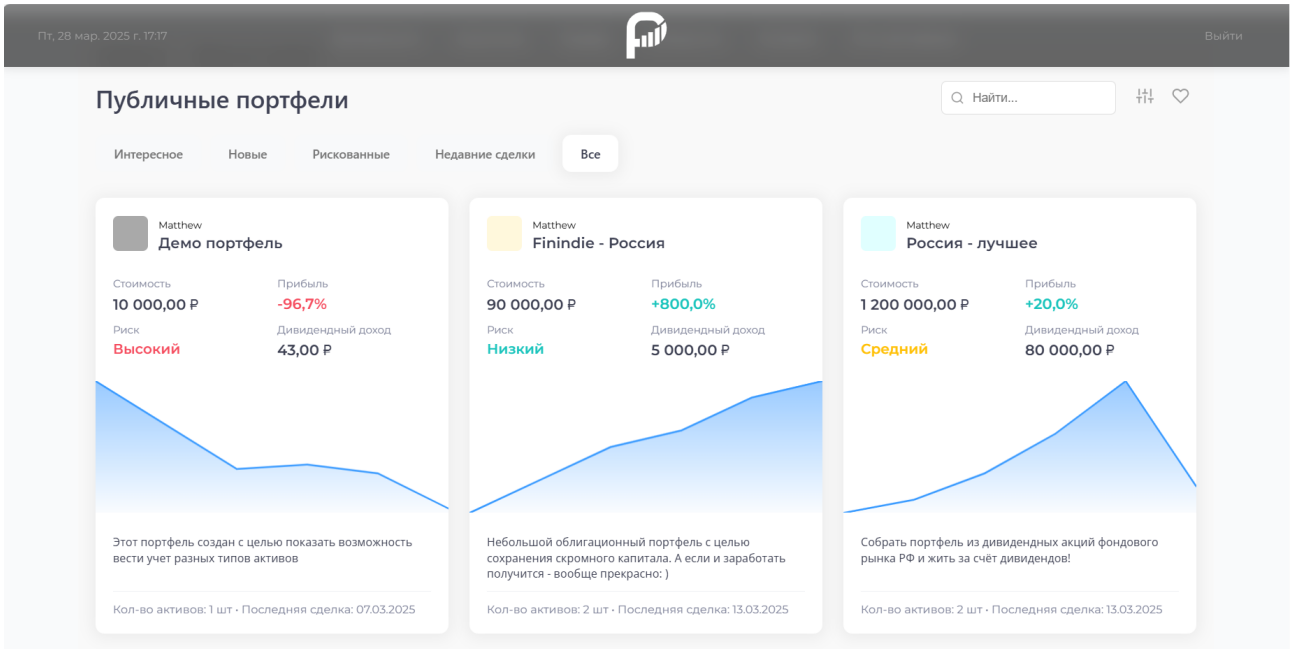


Рис. 3. Публичные портфели пользователей

На странице с детальным описанием портфеля (рис. 4) пользователю предоставляется возможность просмотреть историю транзакций (покупки и продажи активов), динамику стоимости и основные показатели (например, текущая доходность, волатильность, распределение по типам инструментов). Для удобства информация разделена на вкладки:

«Обзор», «Дивиденды», «Рост», «Сделки» и другие. Это помогает быстрее ориентироваться в больших объёмах данных и даёт возможность сосредоточиться на конкретном аспекте анализа.

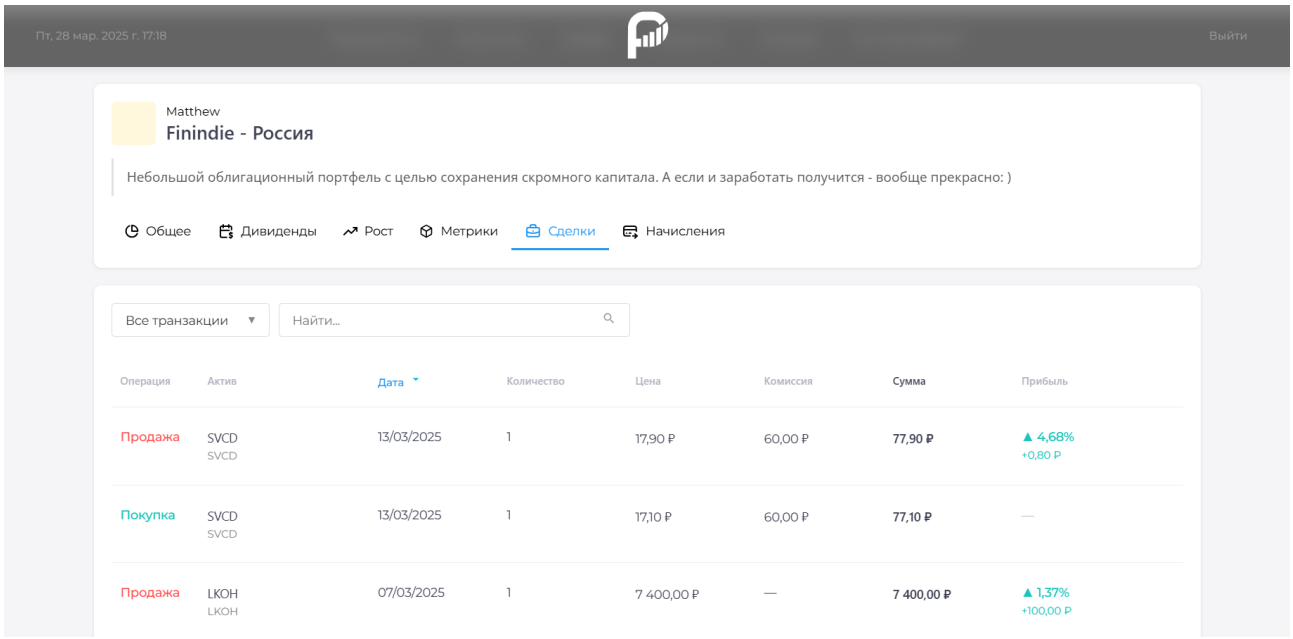


Рис. 4. Информация о сделках пользователя

Страница профиля пользователя (рис. 5) служит для отображения основных сведений о владельце аккаунта: его имени, даты регистрации, контактных данных. Здесь же находится список созданных пользователем портфелей, их уровень риска и статус (например, «Публичный» или «Скрытый»). На этой странице можно редактировать состав портфелей, удалять устаревшие записи или создавать новые, а также управлять параметрами конфиденциальности (например, изменять уровень видимости портфеля).

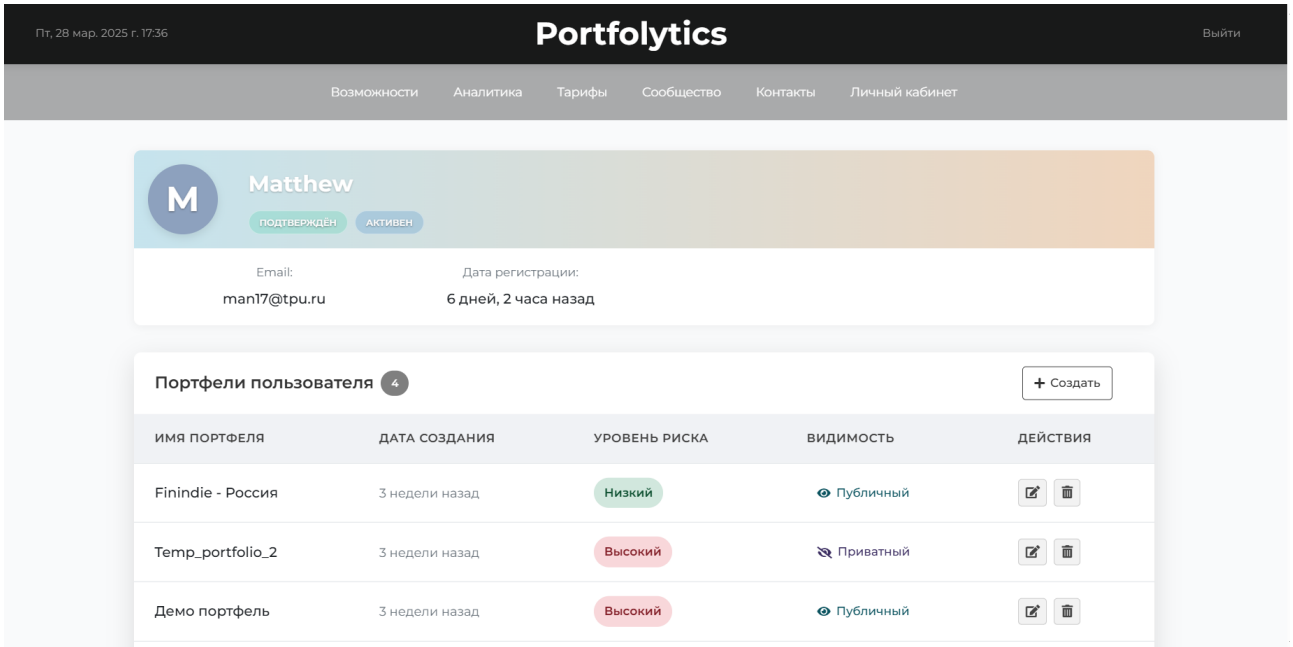


Рис. 5. Личный кабинет пользователя

В целом интерфейс разработан с учётом удобства работы как начинающих, так и опытных инвесторов. Наличие панелей навигации, вкладок, систем поиска и сортировки

обеспечивает быстрый доступ к нужной информации. Благодаря использованию фреймворка «Django» структура приложения разделена на логические модули (views, models, templates), что упрощает дальнейшее сопровождение и развитие проекта, а СУБД «PostgreSQL» гарантирует стабильную работу с данными даже при значительном росте количества пользователей и объёмов хранимых сведений.

Заключение

В процессе выполнения работы была проведена детальная оценка предметной области, подтверждена актуальность создания веб-сервиса для управления инвестиционными портфелями, а также разработаны концептуальная и физическая модели системы. Были определены методы реализации проекта, разработаны интерфейсы и страницы, соответствующие функциональным требованиям, что позволило создать удобный и функциональный инструмент для мониторинга динамики активов, анализа эффективности инвестиционных стратегий и обмена опытом между инвесторами.

Разработанная система ориентирована на повышение прозрачности финансового рынка за счёт предоставления пользователям возможности делиться своими сделками и стратегиями через публичные портфели. Это, в свою очередь, способствует более широкому распространению информации, позволяет новичкам ориентироваться в инвестиционном процессе и усиливает доверие к отечественным финансовым инструментам. Дополнительным преимуществом является реализация проекта в виде веб-приложения, что позволяет начать работу с системой без необходимости установки дополнительного ПО из любой точки мира, используя стационарный компьютер, ноутбук, планшет или смартфон.

Таким образом, разработанная система имеет потенциал стать эффективным инструментом для повышения прозрачности рынка и оптимизации инвестиционных процессов, способствуя формированию более устойчивого и доверительного инвестиционного климата в условиях современного финансового рынка.

Список использованных источников

1. Минфин России и Банк России представили на общественное обсуждение Стратегию развития финансового рынка до 2030 года // Центральный банк Российской Федерации: Сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: cbr.ru/press/event/?id=12197 (дата обращения 20.03.2025).

2. Инвестиционный портфель своими руками // ПАО Московская биржа: Сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: school.moex.com/articles/investicionnyj-portfel-svoimi-rukami (дата обращения 22.03.2025).

3. Обзор ключевых показателей отдельных профессиональных участников рынка ценных бумаг // Центральный банк Российской Федерации: Сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: cbr.ru/Collection/Collection/File/46302/review_secur_23Q2.pdf (дата обращения 23.03.2025).

4. Interfaces. Market Data API // ПАО Московская биржа: Сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: moex.com/a7939?ysclid=m8sproye36388687809 (дата обращения 23.03.2025)

5. Веб-фреймворк Джанго // Django Docs: Сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: djangodoc.ru/ (дата обращения 25.03.2025).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА PWA-ПРИЛОЖЕНИЯ «SKILLMASTER» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В СФЕРЕ IT-ТЕХНОЛОГИЙ

Политыкин В. В., Кравец В.В., Дроздова А.Г., Старенченко Е.С., Клишин А.П.
[1] Томский государственный педагогический университет, 444М, e-mail: anakondthe@gmail.com
[2] Томский государственный педагогический университет, 434М, e-mail: kravets42@mail.ru
[3]Томский государственный педагогический университет, к.ф.-м.н., доцент, e-mail: klishin@tspu.ru

Аннотация. В современном мире цифровые технологии играют ключевую роль в образовательном процессе. Одним из эффективных инструментов для повышения образовательных компетенций является прогрессивное web-приложение. В данной работе рассматривается процесс проектирования и разработки PWA-приложения «Skillmaster», предназначенного для обучения IT-специалистов.

Ключевые слова: прогрессивное веб-приложение, информационная система, проектирование, образовательные компетенции.

Введение

Современные школьники, студенты и молодые специалисты часто сталкиваются с нехваткой эффективных и доступных инструментов для развития гибких навыков (softskills), которые играют ключевую роль в их академическом успехе, построении карьеры и повседневной жизни. Традиционная школьная программа уделяет недостаточное внимание развитию таких навыков. Развитие информационных технологий требует постоянного обновления знаний и навыков.

В связи с этим актуальным является создание образовательных платформ, позволяющих пользователям оперативно получать новые знания в удобном формате. Прогрессивные веб-приложения (PWA) представляют собой гибрид между веб-сайтами и мобильными приложениями, сочетая в себе преимущества обоих подходов [1, 2].

Основная цель настоящего проекта заключается в создании удобного и эффективного инструмента для обучения IT-специалистов, который бы позволил осваивать новые образовательные навыки в доступном игровом и интерактивном формате.

Разработка UX/UI-дизайна веб-приложения

Дизайн приложения был предварительно проработан в Figma [2], что позволило создать интуитивно понятный и эстетически привлекательный пользовательский интерфейс (рис. 1).

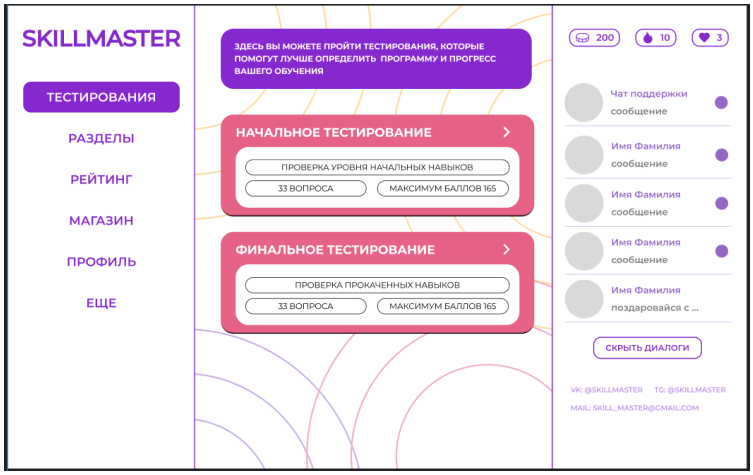


Рис. 1. Интерфейс платформы Skillmaster, разработанный в приложении Figma

Технически приложение состоит из двух компонентов: front-end и back-end составляющих. Проектирование пользовательского интерфейса проводилось в Figma, где были созданы макеты всех ключевых экранов, таких как вход, регистрация, главная страница, страницы курсов, тестов и личного кабинета (рис. 1).

Приложение разработано с использованием современных веб-технологий, включая HTML, CSS и фреймворк Vue.js, что обеспечивает высокую производительность и отзывчивость интерфейса [3]. Особое внимание уделялось адаптивности дизайна, чтобы обеспечить комфортное использование приложения как на desktop-устройствах, так и на мобильных телефонах. После утверждения дизайна начался этап верстки с использованием HTML и CSS, где применялись современные методы, такие как Flexbox и Grid, для создания гибких и отзывчивых макетов. Далее был подключен фреймворк Vue.js [4], который позволил разработать динамические компоненты (рис. 2), такие как интерактивные карточки курсов, система прогресса обучения и модули тестирования.

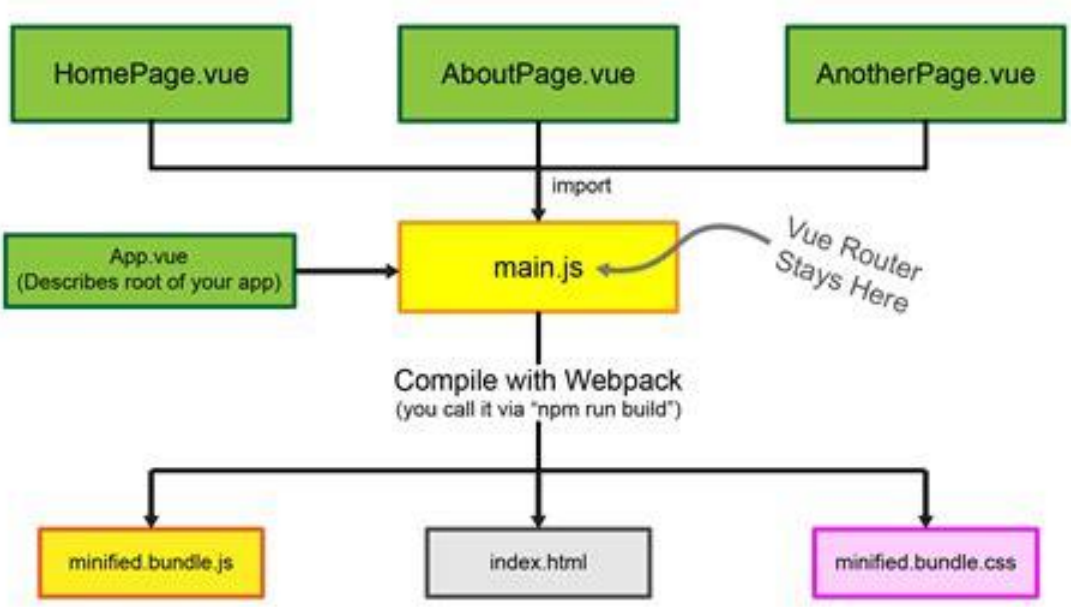


Рис. 2. Архитектура Vue.js-приложения

Технология разработки серверной части веб-приложения

Backend составляющая реализована таким образом, чтобы быть легко расширяемой, поддерживаемой и тестируемой. Это достигается благодаря высокому уровню абстрактности и разделением API на слои обработчика запросов, репозитория, отвечающего за работу за базой данных и кешированием и слоя сервиса, содержащего бизнес логику.

Для обеспечения высокого уровня эффективности приложения и минимального количества ошибок используется Go – компилируемый многопоточный язык программирования со строгой статической типизацией и открытым исходным кодом [5].

Также используется объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL, так как данная СУБД поддерживает горизонтальное и вертикальное масштабирование, выполняет все четыре свойства ACID, а также является надежной, безопасной и бесплатной.

Выбор технологий обусловлен оптимальным сочетанием характеристик, необходимых для образовательной платформы с потенциально большим количеством пользователей.

Основные критерии выбора: производительность, надежность, масштабируемость, поддержка сообщества, простота разработки.

В таблице 1 представлено сравнение выбранного стека технологий с альтернативными вариантами технологий наиболее популярными среди веб-разработчиков в настоящее время.

Таблица 1. Сравнительный анализ технологий разработки веб-приложений

№	Категория	Технология	Преимущества выбранной	Альтернативы и их преимущества
1.	Front-end	*Vue.js*	1. Высокая производительность 2. Эффективная кривая обучения 3. Компактный код 4. Гибкая настройка 5. Богатые возможности для UI	*React* 1. Большая экосистема 2. Широкое распространение *Angular* 1. Строгая архитектура 2. Поддержка TypeScript
2.	Back-end	*Golang*	1. Высокая производительность 2. Эффективное использование памяти 3. Нативная поддержка параллелизма 4. Простая кодовая база 5. Быстрая компиляция 6. Легковесные бинарные файлы	*Java/Spring* 1. Большая экосистема 2. Много готовых решений 3. Полная документация *Python/Django* 1. Быстрое прототипирование 2. Широкая стандартная библиотека Node.js: 1. JavaScript на backend и frontend 2. Высокая производительность PHP/Laravel 1. Простое начало работы 2. Множество встроенных функций 3. Готовые CRUD решения
3.	СУБД	*PostgreSQL*	1. Хорошая производительность 2. Масштабируемость 3. ACID-согласованность 4. Расширенные возможности SQL 5. Надежная обработка данных	*MySQL* 1. Простая настройка 2. Широкое распространение *MongoDB* 1. Гибкая схема данных 2. Отличная производительность

Применение PWA-технологий

Одной из ключевых задач стала реализация PWA-функционала. Для этого были настроены ServiceWorkers, которые кэшируют основные ресурсы приложения, позволяя пользователям продолжать обучение даже без подключения к интернету. Кроме того, был добавлен WebAppManifest, что дало возможность устанавливать приложение на домашний экран устройства, как обычное мобильное приложение. Для обеспечения быстрой загрузки и оптимизации производительности были применены такие техники, как lazyloading изображений и минификация кода. После завершения разработки приложение прошло этап тестирования, где проверялось его работоспособность в различных браузерах и разных устройствах. Особое внимание уделялось проверке PWA-функционала, включая офлайн доступ и корректность установки. Результаты тестирования показали, что приложение успешно работает в современных браузерах, таких как Chrome, Firefox и Edge, а также на мобильных устройствах под управлением IOS и Android. Производительность приложения была оценена с помощью инструмента Lighthouse, который подтвердил высокие показатели скорости загрузки и соответствия PWA-стандартам.

Приложение "Skillmaster" предлагает пользователям ряд возможностей для эффективного обучения. Среди них – интерактивные курсы по различным IT-направлениям для изучения softskils, система тестирования для проверки знаний, а также отслеживание прогресса обучения. Благодаря PWA-функционалу пользователи могут продолжать обучение

даже без подключения к интернету, что особенно актуально для тех, кто часто находится в дороге или в местах с нестабильным соединением. Удобный и современный интерфейс, разработанный в Figma, делает процесс обучения комфортным и интуитивно понятным.

В перспективе планируется дальнейшее развитие приложения, включая добавление новых курсов, интеграцию с системами управления обучением (LMS), а также внедрение AI-ассистента для персонализации учебного процесса. Например, AI-ассистент сможет анализировать прогресс пользователя и рекомендовать наиболее подходящие курсы или задания. Кроме того, рассматривается возможность интеграции с GitHub для проверки практических заданий, что сделает обучение еще более практико-ориентированным.

Заключение

Разработанное в результате выполнения проекта PWA-приложение "Skillmaster" представляет собой современное решение для обучения IT-специалистов, сочетающее в себе удобство использования, высокую производительность и возможность офлайн доступа. Использование таких технологий, как Vue.js, HTML, CSS и Figma, позволило спроектировать и реализовать продукт, который не только отвечает текущим потребностям пользователей, но и имеет значительный потенциал для дальнейшего развития. SkillMaster фокусируется исключительно на развитии гибких навыков, предлагая широкий спектр курсов по коммуникации, работе в команде, креативному мышлению и управлению временем. Важным элементом дальнейшей разработки являются уникальные алгоритмы, которые позволят пользователям получать персонализированные рекомендации и отчеты о прогрессе, что усилит эффективность обучения. В будущем подобные решения могут стать стандартом в сфере IT-образования, обеспечивая доступ к актуальным знаниям в любое время и в любом месте.

Список использованных источников

1. Google, Microsoft & Awwwards. Прогрессивные веб-приложения. – [Электронный ресурс]. – URL: web.dev/progressive-web-apps/ (дата обращения: 19.01.2025).

2. Figma for Developers. [Электронный ресурс]. – URL: figma.com/developers/ (дата обращения: 15.03.2025)

3. Макконнелл С. Совершенный код. – М. : Вильямс, 2022. – 896 с.

4. Vue.js OfficialDocumentation. [Электронный ресурс]. – URL: vuejs.org/ (дата обращения: 15.03.2025)

5. Казарин С.А., Клишин А.П. Среда разработки java-приложений Eclipse: (ПО для объектно-ориентированного программирования и разработки приложений на языке java) – М. : Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов, 2008. – 77 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Дмитрийчук Д.И.[1], Дёмин А.Ю[2,3]
[1] НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8К11, did7@tpu.ru
[2]НИ ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОИТ, ad@tpu.ru
[3] НИ ТГУ, ИПМКН, к.т.н. доцент каф. ТОИ

Аннотация

В статье рассматривается процесс проектирования микросервисной архитектуры для промышленной системы мониторинга технических устройств. Анализируются преимущества данного подхода по сравнению с традиционными монолитными. Описываются ключевые технологии, такие как Docker, Kubernetes, Python, Prometheus и Grafana, используемые в реализации системы. Приводится описание основных сервисов, их взаимодействий и методов обеспечения безопасности и мониторинга.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, мониторинг, технические устройства, промышленная автоматизация, Python, Kubernetes, Prometheus, Grafana, PostgreSQL.

Введение

Современные опасные производственные объекты (ОПО) требуют постоянного контроля технического состояния оборудования [1]. В условиях высокой нагрузки на технические устройства важно оперативно выявлять неисправности и возможные отказы. Использование традиционных методов мониторинга, основанных на формировании документации и периодическом осмотре оборудования, становится недостаточно эффективным. Эти методы не позволяют обеспечить своевременное реагирование и обладают высоким риском человеческого фактора.

Монолитные программные решения, которые применяются в ряде промышленных систем, также имеют ряд ограничений [2]. Они сложны как в использовании, так и в сопровождении, плохо масштабируются и требуют значительных ресурсов при обновлении. В связи с этим возникает необходимость применения более гибких архитектурных решений, обеспечивающих удобство развертывания, надежность и легкость интеграции с другими системами. Микросервисная архитектура является перспективным направлением развития промышленных систем мониторинга. Она позволяет разбить систему на небольшие, автономные сервисы, которые могут функционировать независимо друг от друга [3]. Это повышает отказоустойчивость, упрощает масштабирование и ускоряет процесс внедрения новых функций.

В последние годы микросервисный подход получил широкое распространение в различных отраслях, включая промышленную автоматизацию [4]. Микросервисы значительно повышают гибкость систем, позволяют быстрее адаптироваться к изменениям в технологических процессах и упрощают поддержку программного обеспечения. В то же время разработчикам необходимо решать вопросы, связанные с обеспечением согласованности данных, организацией взаимодействия сервисов и их мониторингом. Применение инструментов контейнеризации, таких как Docker и docker-compose, а также инструментов оркестрации для развертывания в локальном кластере Kubernetes позволяет эффективно управлять распределенными системами и обеспечивать надежность передачи данных.

В данной работе рассматриваются основные аспекты проектирования системы мониторинга на основе микросервисной архитектуры, а также механизмы организации взаимодействия между сервисами, управления нагрузкой и обеспечения безопасности данных.

Целью работы является проектирование микросервисной архитектуры для промышленной системы мониторинга технических устройств. Основные задачи включают:

• Разработку системы, обеспечивающей отказоустойчивость и масштабируемость.
• Оптимизацию взаимодействия между микросервисами.
• Интеграцию системы с внешними информационными потоками и промышленными платформами.

Основная часть

Для реализации системы выбран язык программирования Python, что обусловлено его развитой экосистемой, поддержкой асинхронного программирования и широким набором инструментов для разработки микросервисных приложений. Основные фреймворки разработки системы – Django и FastAPI, т.к. Django обеспечивает удобную работу с базой данных и систему авторизации, а FastAPI позволяет работать с асинхронными API. Одним из значимых нововведений, которое окажет влияние на производительность микросервисных систем, является отключение GIL (Global Interpreter Lock) в Python 3.13 [5]. Этот механизм исторически ограничивал многопоточное выполнение кода, создавая препятствия для эффективного использования многопроцессорных систем. Их снятие позволит полноценно использовать многопоточность без необходимости прибегать к многопроцессной обработке, что особенно важно для высоконагруженных систем мониторинга.

Асинхронное программирование играет ключевую роль в разработке микросервисных систем [6], обеспечивая эффективную обработку большого количества входящих запросов без блокировки потоков выполнения. В данном проекте используются такие инструменты, как FastAPI и asyncio, которые позволяют реализовать высокопроизводительные API с низкой задержкой. Асинхронные вызовы снижают нагрузку на сервер за счет параллельной обработки задач, таких как взаимодействие с базами данных, передача сообщений через брокеры сообщений.

Микросервисная архитектура, используемая в проекте (рис. 1), предполагает разделение системы на несколько независимых сервисов, каждый из которых выполняет строго определенные функции с возможностью масштабирования отдельных сервисов в зависимости от нагрузки. В рамках данной системы были выделены следующие основные сервисы:

• Сервис отображения данных – обеспечивает агрегирование информации о технических устройствах, обработку данных из различных источников и формирование сводных таблиц.

• Сервис формирования отчетов – собирает и анализирует данные, формирует отчеты и предоставляет их пользователям в удобном формате.

• Сервис уведомлений – отвечает за отправку предупреждений и критически важных сообщений при обнаружении неисправностей или выходе оборудования за допустимые параметры, а также о приближении окончания сроков безопасной эксплуатации.

• Сервис загрузки данных – реализует импорт данных из внешних источников, старых версий системы, CSV и JSON-файлов.

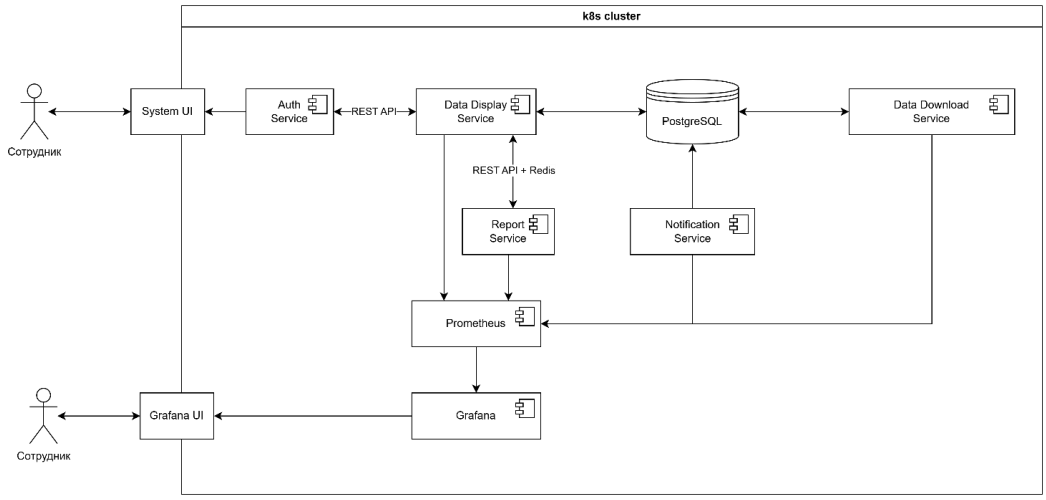


Рис. 1. Архитектура системы в локальном кластере

Для обеспечения эффективного обмена данными между микросервисами используется REST API, позволяющий сервисам взаимодействовать через стандартизированные HTTP-запросы. Взаимодействие между сервисами также дополняется использованием брокера сообщений, кэширования и очереди, что позволяет организовать асинхронную обработку событий и повысить отказоустойчивость системы. Так, например, сервис отображения данных кеширует частые запросы к базе данных, что уменьшает время получения ответа сервисом формирования отчетов.

Важным аспектом проектирования является организация хранения данных. В данном проекте используется единая база данных PostgreSQL, которая обеспечивает централизованное хранение информации и обеспечивает один из механизмов взаимодействия микросервисов: добавления объектов посредством одного сервиса и получение данных из базы данных другим сервисом для дальнейшей обработки (рис. 2). Это позволяет поддерживать целостность данных и упрощает управление транзакциями.

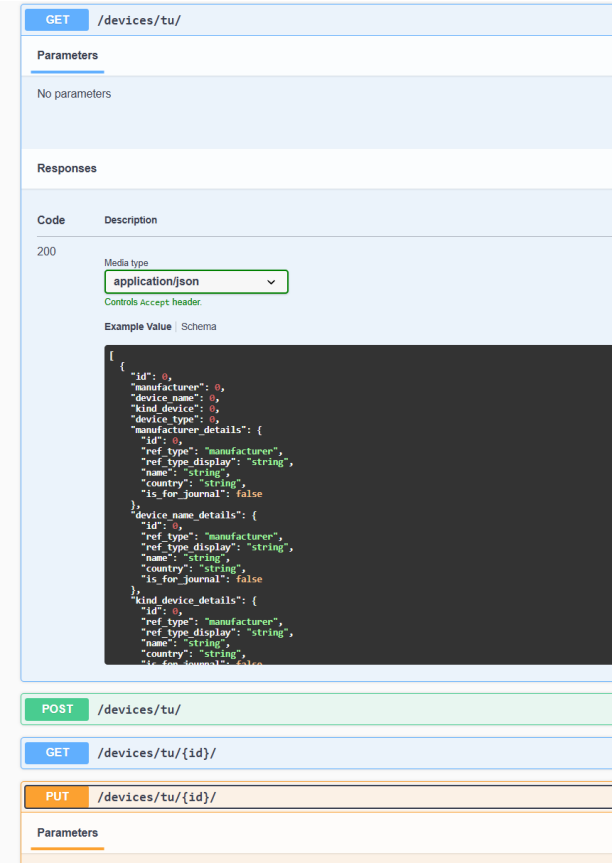


Рис. 2. Эндпоинты API для управления тех. устройствами

Безопасность системы обеспечивается использованием механизмов аутентификации и авторизации. Внедрение протоколов OAuth 2.0 и OpenID Connect позволит контролировать доступ пользователей и защищать передаваемые данные. Для защиты данных также применяются механизмы шифрования и управления доступом на уровне API.

Для автоматического подтягивания учетных данных пользователей, работающих в локальной сети предприятия, без необходимости ручного ввода логинов и паролей, предполагается интеграция системы с существующей корпоративной системой авторизации, использующей учетные записи сотрудников.

Мониторинг состояния системы осуществляется с помощью инструментов Prometheus и Grafana. Prometheus собирает метрики со всех сервисов, Grafana подключается к Prometheus для визуализации и отображает метрики и оповещения, что позволяет оперативно отслеживать работоспособность сервисов, анализировать нагрузку и прогнозировать возможные сбои.

Результаты

Спроектирована микросервисная архитектура системы, определены ключевые компоненты и их функциональные роли. Предложенные механизмы взаимодействия, использование инструментов контейнеризации позволят обеспечить отказоустойчивость, масштабируемость и удобство интеграции системы с внешними источниками данных. Был реализован демонстрационный стенд с сервисом отображения данных, подключённым к Prometheus и Grafana (рис. 3).

Рис. 3. Дэшборд Grafana основного сервиса

Были получены конкретные метрики, такие как количество запросов в секунду, время отклика, количество и длительность SQL-запросов, потребление CPU и оперативной памяти Система сбора метрик и их визуализации позволила оценить производительность сервиса и выявить возможные проблемы.

Заключение

В данной работе рассмотрены основные аспекты проектирования микросервисной архитектуры для промышленной системы мониторинга технических устройств. Применение такого подхода позволяет достичь высокой отказоустойчивости, гибкости масштабирования и упрощения сопровождения системы. Использование асинхронного программирования, контейнеризации и инструментов мониторинга обеспечивает надежную и эффективную работу системы в реальном времени. Перспективными направлениями развития являются интеграция с промышленными IoT-платформами, внедрение машинного обучения для предсказания отказов оборудования и автоматизация обновления сервисов.

Список использованных источников

1. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ // КонсультантПлюс. – [Электронный ресурс]. – URL: consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/3b668215163e75b4b35ed3e0c0286007fd4ddfbd/ (дата обращения: 27.03.2025).

2. Монолитная и микросервисная архитектура. Сравнение // Хабр: сайт. – 2023. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/companies/haulmont/articles/758780/ (дата обращения: 27.03.2025).

3. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. – Санкт-Петербург: Питер, 2021. – 480 с.

4. Лютягин Д.В., Зюков В.А. Цифровизация производственных процессов в рамках концепции «Индустрия 4.0» // Экономика и управление. – 2021. – № 9. – С. 25-32. –[Электронный ресурс]. – URL: publishing-vak.ru/file/archive-economy-2021-9/25-lyutyagin-zyukov.pdf (дата обращения: 28.03.2025).

5. What's new in Python 3.13 // Python Documentation. – 2024. – URL: docs.python.org/3/whatsnew/3.13.html (дата обращения: 28.03.2025).

6. Gupta P. Patterns for Microservices – Sync vs. Async // DZone: сайт. – 2023. – URL: dzone.com/articles/patterns-for-microservices-sync-vs-async (дата обращения: 28.03.2025).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА РАБОТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ С ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Малько А.Ю.[1], Осипова В.В.[2]
[1]Томский политехнический университет, гр. 8ВМ31 ОИТ ИШИТР, e-mail: aym28@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, к.т.н., доцент ОИТ ИШИТР, e-mail: vikosi@tpu.ru

Аннотация

Разработка системы для мониторинга действий пользователей и обнаружения ошибок при актуализации данных в ИПК «Деканат». Решение включает серверную часть для хранения и анализа данных, а также инструменты для их интерпретации. В результате работы библиотека собирает, обрабатывает и отправляет информацию в систему мониторинга для дальнейшей визуализации данных.

Ключевые слова: телеметрия, системы мониторинга, OpenTelemetry, метрики, логи, трассировки, ELK.

Введение

При работе приложений возникают ситуации, когда необходимо вести сбор и мониторинг действий пользователя. Собираемая информация помогает технической поддержке быстрее выявлять и реагировать на поступающие обращения [1]. Для этого в единой информационной базе данных ТПУ были введены системные поля (created_by, date_created, modified_by, date_modified), значения которых проставляются в триггерах на актуализацию данных в таблицах. Подобные атрибуты не в полной мере могут помочь в отслеживании ошибок при редактировании данных. Например, значение в поле modified_by говорит о том, какой пользователь последним вносил изменения в таблицу, но невозможно определить, какие данные были исправлены. С целью решения такой проблемы предложено внедрить на примере ИПК «Деканат» систему для сбора и передачи информации о действиях пользователя, что является одним из видов телеметрии.

На сегодняшний день одним из готовых решений является инструмент OpenTelemetry, которое можно использовать в проекте без написания дополнительного кода [2], но по умолчанию собирает данные, связанные только с телеметрией серверов [3]. Кроме этого, подобные системы не могут обеспечить сбор специфичных данных, связанных с телеметрией пользователя, и большинство организаций создают собственные средства для реализации возникающих потребностей на базе OpenTelemetry [4, 5].

Исходя из этого возникает потребность в разработке собственного сервиса, который позволит систематически фиксировать ключевые аспекты активности пользователей. В частности, система будет регистрировать, кто выполняет операцию, когда это происходит, какая конкретно операция производится, а также какие данные вставляются, изменяются или удаляются и с какими объектами происходит взаимодействие. Также собираемая информация о действиях пользователей помогает технической поддержке быстрее выявлять и устранять ошибки, с которыми обращаются пользователи.

Целью данной работы является разработка и внедрение системы для сбора телеметрических данных о действиях пользователя в веб-приложении.

Телеметрические данные

В ходе анализа проблемы определены следующие телеметрические данные и цели их использования:

1. Время – время выполнения операции с данными.
2. Сервис – имя сервиса, в который внедряется библиотека.
3. Объект – название объекта, с которым взаимодействует пользователь.

4. Путь запроса – цепочка вызовов методов в сервисе при выполнении операции.
5. Операция – тип операции с данными (INSERT, DELETE, UPDATE).
6. Сообщение – текстовое представление объекта / сообщение об ошибке.
7. Сравнение объектов – измененные значения при редактировании данных.
8. Уровень логов – статус выполнения операции (INFO, ERROR).
9. Пользователь – имя пользователя, выполняющего действие.

Перечисленные выше телеметрические данные относятся к разным типам данных: логи, метрики, трассировки [6]. Большинство из них являются логами, так как фиксируются события, совершаемые пользователем в системе. К трассировкам можно отнести путь запроса, так как это ключевой параметр для данного типа. В качестве метрик можно выделить отдельные числовые показатели, например, количество операций за период времени, частота ошибок, среднее время выполнения операции.

После того как были выделены телеметрические данные, необходимо перейти к описанию алгоритма их сбора.

Алгоритм сбора телеметрических данных

Для создаваемой системы телеметрии разработан следующий алгоритм. Сначала на вход передается объект, с которым работает пользователь, логин пользователя и операция, которую необходимо выполнить и зафиксировать ее результат. Если операция завершена без ошибок, формируется строковое представление объекта, включая названия атрибутов с их значениями и идентификаторы связанных элементов в случае наличия вложенных объектов. Например, для добавления ИНН личности строковое представление объекта представлено на рисунке 1.

Рис. 1. Текстовое представление объекта

Затем извлекается название сервиса из конфигурационного файла приложения. Определяется, к какой таблице в базе данных относится объект, с которым работает пользователь. Если операция связана с изменением состояния объекта, фиксируются различия между предыдущим и текущим состоянием. Составляется путь запроса, исключая методы, связанные с телеметрией. Например, путь запроса при выполнении операции добавлении ИНН личности показан на рисунке 2.

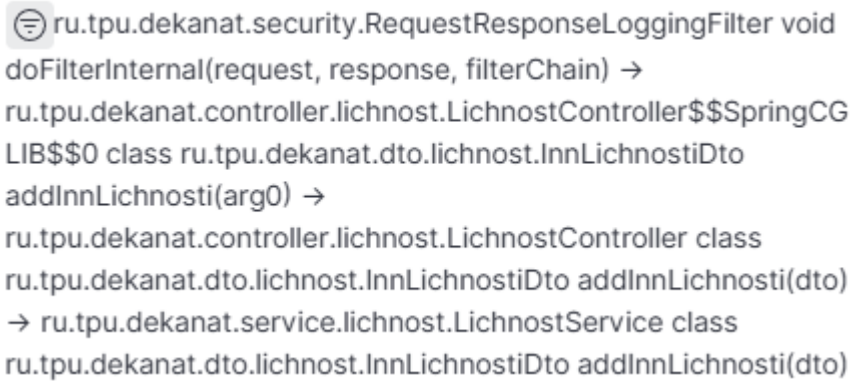


Рис. 2. Путь запроса

Следующим этапом создается запись лога с указанием: логина пользователя, типа выполняемой операции, названия таблицы, пути запроса, строкового представления объекта, даты выполнения запроса, названия исходного сервиса и уровень логирования INFO. Собранные данные отправляются в систему мониторинга. Например, собранные данные при добавлении ИНН личности отображены на рисунке 3.

call_chain.method	ru.tpu.dekanat.security.RequestResponseLoggingFilter void doFilterInternal(request, response, filterChain) → ru.tpu.dekanat.controller.lichnost.LichnostController$$SpringCGLIB$$0 class ru.tpu.dekanat.dto.lichnost.InnLichnostiDto addInnLichnosti(arg0) → ru.tpu.dekanat.controller.lichnost.LichnostController class ru.tpu.dekanat.dto.lichnost.InnLichnostiDto addInnLichnosti(dto) → ru.tpu.dekanat.service.lichnost.LichnostService class ru.tpu.dekanat.dto.lichnost.InnLichnostiDto addInnLichnosti(dto)
compare.objects	null
db_object	TPU.INN_LICHNOSTI_V
log.level	INFO
message	InnLichnosti{lichnostId=538431, inn='632569809870', dokumentId=null}
service.name	dekanat-service
sql.operation	INSERT
timestamp	2024-11-27T19:02:51.3555452
username	aym28

Рис. 3. Собранные данные при успешном выполнении

В случае если операция выбрасывает исключение, сообщение об ошибки форматируется для корректного отображения в логах. Затем происходит сбор такой же информации, как и в случае успешного выполнения, только уровень логирования ERROR. Например, в случае ошибки при добавлении ИНН личности будут оправлены данные в формате, представленном на рисунке 4.

db_object	TPU.INN_LICHNOSTI_V
log.level	ERROR
message	could not execute statement [ORA-20107: Изменение значения атрибута запрещено. Недопустимо изменять идентификатор документа для существующего ИНН. ORA-06512: на "TPU.TPU_ERRORS_P", line 50 ORA-06512: на "TPU.LICHNOST_PKG", line 763 ORA-06512: на "TPU.INN_LICHNOSTI_UPD_TRG", line 2 ORA-04088: ошибка во время выполнения триггера 'TPU.INN_LICHNOSTI_UPD_TRG'] [update tpu.inn_lichnosti_v set dokument_id=?,inn=? where lichnost_id=?]
service.name	dekanat-service
sql.operation	INSERT
timestamp	2024-11-25T15:38:50.4780992
username	aym28

Рис. 1. Собранные данные при неуспешном выполнении

Разработка системы

Реализация алгоритма выполнялась с использование Java Spring Boot и библиотеки OpenTelemetry, которая позволяет быстро и эффективно настроить телеметрию [7].

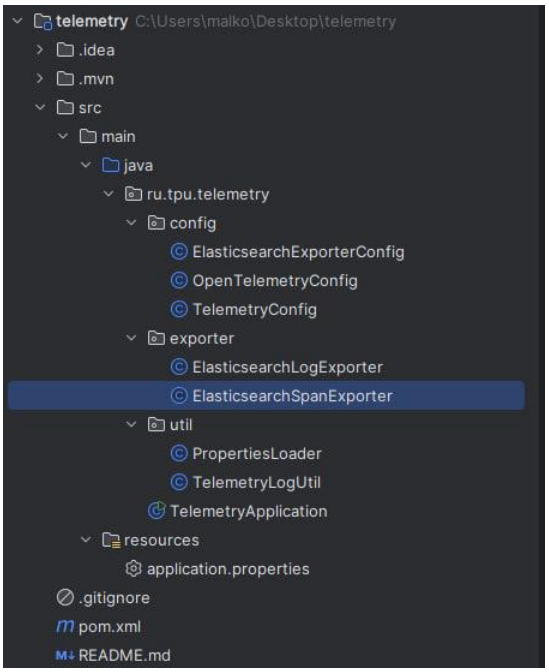


Рис. 2. Структура проекта

Система включает в себя следующие классы:

1. Конфигурационные классы, в которых происходит настройка телеметрии и указание системы мониторинга для отправки данных.

2. Классы, в которых определены методы для сбора и подготовки к отправке данных. Сбор необходимой информации осуществляется за счет рефлексии и завязан на аннотациях, используемых в Spring Framework.

Для использования реализованной библиотеки необходимо настроить приложение, указав в файле application.properties/.yaml следующие параметры:

1. package.name – главный пакет приложения, необходимый для удаления из пути запроса методов библиотеки.

2. service.name – название сервиса, из которого собираются телеметрические данные.

После того, как настроен проект и внедрена система для сбора и отправки телеметрических данных, можно визуализировать полученные данные с помощью системы мониторинга.

Визуализация данных

В качестве системы мониторинга выбран стек ELK (elasticsearch, logstash, kibana) [8]. Для примера визуализации данных выбрана операция вставки объекта ИНН личности.

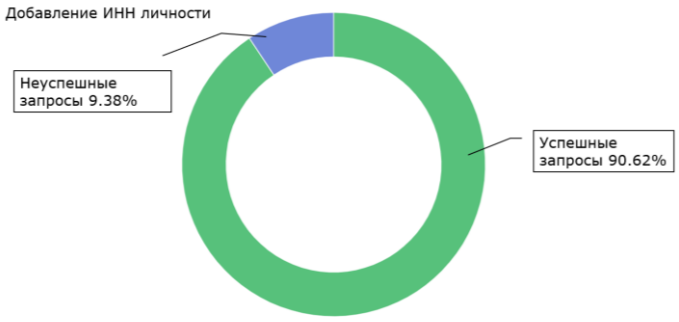


Рис. 3. Круговая диаграмма по уровню логирования

На рисунке 5 видно, что большинство запросов являются успешными, но также присутствуют и неуспешные запросы. Отсюда следует, что у некоторых пользователей возникает сложность с добавлением ИНН. Можно подробно посмотреть и проанализировать, у каких пользователей появлялись ошибки и какие данные они при этом передавали, затем можно перейти к устранению выявленных проблем.

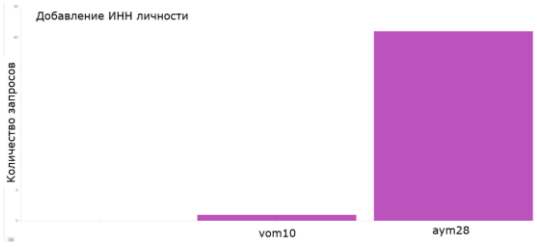


Рис. 4. Столбчатая диаграмма по количеству запросов от пользователей

На рисунке 6 видно, что чаще всего данную операцию выполняет пользователь с логином aym28, исходя из этого можно собирать статистические данные по объему и видам выполняемых работ. Подобная информация поможет технической поддержке эффективнее решать проблемы, возникающие по вине пользователей, выявлять проблемные места в приложении.

Заключение

Результатом работы является система для сбора и отправки телеметрических данных. На данный момент система внедрена в проект «Деканат». Разработанная библиотека позволяет обеспечить прозрачное и всестороннее понимание процессов, происходящих в приложении, что позволяет проводить детальный анализ и оперативно реагировать на изменения в поведении пользователей. Благодаря накопленной информации можно выявлять закономерности в использовании функционала, оптимизировать интерфейс и улучшать общую эффективность работы веб-приложения.

На данный момент система может внедряться в проекты, написанные с использованием фреймворка Spring, но в дальнейшем планируется сделать систему более универсальной.

Список использованных источников

1. Как Open Telemetry влияет на качество сервисов // True Engineering: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: trueengineering.ru/blog/open_telemetry?ysclid=m8mxd2pr2v899609533 (дата обращения 20.03.2025).

2. Zero-code Instrumentation // OpenTelemetry: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: opentelemetry.io/docs/zero-code/ (дата обращения 21.03.2025).

3. What is telemetry? // TechTarget: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: techtarget.com/whatis/definition/telemetry (дата обращения 20.03.2025).

4. Как внедрить наблюдаемость в микросервисное приложение с помощью OpenTelemetry, Jaeger и Prometheus // Habr: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/865288/ (дата обращения 15.03.2025).

5. Создание системы анализа производительности приложений с помощью OpenTelemetry // Hemaks: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: hemaks.org/ru/posts/building-an-application-performance-analysis-system-with-opentelemetry/ (дата обращения 16.03.2025).

6. Telemetry – definition & overview // Sumo Logic: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.49365fe4-67e231d2-bb0e8c5a-74722d776562/https/www.sumologic.com/glossary/telemetry/ (дата обращения 14.03.2025).

7. Documentation // OpenTelemetry: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: opentelemetry.io/docs/ (дата обращения 19.03.2025).

8. Elastic Documentation // Elasticsearch B.V.: сайт. – 2025. – URL: elastic.co/docs (дата обращения 23.03.2025).

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «WI-FI-РАДАР»

Кошелюк Г.А.[1], Каллистова А.А.[2]
Научный руководитель: Грива Е.В.[3]
[1]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, 422-1, e-mail: grishakosh004@gmail.com
[2]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, 422-1, e-mail: teamheadkisck192@gmail.com
[3]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, ассистент, e-mail: egor.v.griva@tusur.ru

Аннотация

В статье рассматриваются принципы работы устройства «Wi-Fi-радар», его сборка и настройка для мониторинга беспроводных сетей. Исследуется актуальность технологии и варианты ее использования. Описывается процесс сборки прототипа и настройка программного обеспечения. Рассматриваются возможности автоматического запуска системы, использования веб-интерфейса и API, а также выгрузки данных в формате JSON для последующего анализа.

Ключевые слова: беспроводные сети, анализ трафика, Wi-Fi-радар, идентификация мобильных устройств.

Введение

Благодаря развитию беспроводных сетей, обмен информацией стал доступен, как никогда ранее. Современные смартфоны и другие гаджеты оснащены модулями связи, которые позволяют передавать данные различными способами. Сотовые сети обеспечивают глобальную мобильность, Bluetooth используется для кратковременного обмена информацией на небольших расстояниях, а Wi-Fi стал одним из ключевых стандартов передачи данных, объединяя миллионы устройств. Беспроводные сети обладают рядом преимуществ: пользователи не ограничены в передвижениях, имеют стабильный сигнал, а скорость обмена информацией постоянно растет. Технология Wi-Fi играет важную роль не только в обеспечении связи для клиентских устройств, но и выступает мощным инструментом анализа сетевой активности, позволяя извлекать ценные статистические данные. Эта информация может быть использована в рамках исследовательских задач, управления городской средой, оптимизации корпоративной инфраструктуры, логистики, маркетинга. Таким образом, применение технологий Wi-FI в коммерческом секторе экономики может повысить эффективность бизнес-процессов. Однако стандартные устройства, предназначенные для создания Wi-Fi сетей, не обладают необходимыми возможностями для полноценного выполнения вышеперечисленных задач. Необходимо внести изменения в схему работы маршрутизатора, чтобы создать из него устройство, называемое Wi-Fi-радар [1].

Wi-Fi-радар – общее определение для систем, обеспечивающих мониторинг беспроводных сетей и обнаружение активных устройств в определенной зоне покрытия. Основной принцип работы заключается в улавливании сетевых пакетов данных, передаваемых через Wi-Fi-интерфейс [2]. Все современные гаджеты постоянно взаимодействуют между собой и точками доступа, рассылая широкоформатные запросы в фоновом режиме, которые, в свою очередь, фиксирует роутер [3]. На основе данных сетевых пакетов, обладатель радара может определить MAC-адрес, тип устройства, производителя, силу сигнала и временные метки обнаружения [4]. С технической точки зрения Wi-Fi-радар представляет из себя роутер и вычислительное устройство. Схема является достаточно простой, однако каждый ее компонент требует определенных доработок. Выбор конфигурации радара и параметры его настройки напрямую зависят от целей использования и условий эксплуатации. На этапе сборки

учитываются такие параметры, как портативность, автономность, возможность удалённого управления и защищенность от воздействия внешних факторов на устройство. В рамках сборки прототипа необходимо акцентировать внимание на компактности и надежности системы. Также необходимо, чтобы Wi-Fi-радар работал в фоновом режиме и обеспечивал широкий набор функций, для его применения в различных сценариях. Далее представлен процесс сборки аппаратной части с учетом предъявленных требований.

Основная часть

Основой радара является Wi-Fi-адаптер, необходимый для подключения к сети. Его выбор играет ключевую роль в работе системы, так как именно он обеспечивает возможность сканирования окружения. Однако не каждый адаптер обладает необходимыми характеристиками. Важно подобрать устройство, поддерживающее режим мониторинга, обладающее чувствительной антенной и высокой дальностью прима сигнала. Подобными качествами обладает TP-Link TL-WN722N (v4), который используется в рамках разработки прототипа. Он является одним из наиболее распространенных на рынке и обладает относительно невысокой стоимостью, что также является преимуществом. Адаптер является периферическим устройством и для его работы необходимо подключение к вычислительной системе. В зависимости от сценария использования радара, применяются различные варианты. Использование персонального компьютера, в качестве вычислительной системы, является наиболее простым. Он применяется для стационарного использования, обладает высокой производительностью и надежностью. Так как определяющими факторами является портативность и малый размер конечного устройства, ПК не соответствует данным требованиям и не может быть использован в рамках данной сборки. В качестве альтернативного решения за основу был взят микрокомпьютер Raspberry Pi 5. Он позволяет создать автономную портативную систему с возможностью удаленного доступа [5]. Незначительные потери в производительности компенсируются энергоэффективностью и длительной автономностью при использовании аккумуляторного типа питания. Итоговая конфигурация радара изображена на рис. 1.

Рис. 1. Прототип W-Fi-радара

После выбора аппаратных компонентов необходимо подключить их и произвести процесс настройки. Первостепенной задачей является установка операционной системы на микрокомпьютер. В ходе тестирования различных ОС была выбрана Raspberry Pi OS – официальная операционная система, разработанная специально для семейства устройств Raspberry Pi [6]. Она обеспечивает оптимальную поддержку аппаратных возможностей, а также обладает технологией Plug and Play, которая предназначена для быстрого определения и конфигурирования устройств. Таким образом радар может управляться напрямую при помощи

клавиатуры и монитора, без дополнительной установки драйверов. Далее настраиваются механизмы подключения через протокол SSH (Secure Shell), который обеспечивает защищённый доступ по сети и предоставляет возможность удаленного управления радаром с другого компьютера. Следующим шагом является подключение Wi-Fi-адаптера. По умолчанию, он выполняет функцию модема, обеспечивая получение и передачу данных. Его необходимо перевести в режим мониторинга и настроить взаимодействие с вычислительной системой. Данная процедура проводится в несколько этапов. Во-первых, в системе необходимо определить интерфейс, подключенный к микрокомпьютеру, который поддерживает режим мониторинга. На основе физического адреса адаптера проверяются поддерживаемые режимы работы. Среди них должен быть: monitor (режим мониторинга) и AP (access point – точка доступа). Во-вторых, необходимо изменить файл интерфейсов. Для существующего адаптера меняется режим со стандартного, на режим мониторинга, присваивается новое имя для более удобной идентификации. Внесенные изменения сохраняются в конфигурационном файле. После применения изменений, устройство необходимо перезагрузить и проверить настройки сети. В случае успешной настройки появляется новый сетевой интерфейс, который работает в режиме мониторинга. Настроенный адаптер позволяет пассивно анализировать Wi-Fi-трафик и фиксировать пакеты данных беспроводных устройств [7]. Однако для эффективного сбора информации требуется специальное программное обеспечение. Следующим шагом является установка инструментов беспроводного мониторинга.

Система мониторинга устройств отвечает за сбор данных в Wi-Fi-радаре. Инструменты данного программного обеспечения широко используются для анализа сетей, обнаружения активных устройств и диагностики работы Wi-Fi-инфраструктуры. Выбранное решение должно быть полностью совместимым с оборудованием, иметь интерфейс командной строки и графическую оболочку. Подходящим вариантом является утилита Kismet [8]. Данный детектор сетей поддерживает режим пассивной работы, что является существенным преимуществом, так как после первичной настройки он становится полностью готов к автономному использованию. Сначала загружается Kismet, затем производится установка из официального репозитория и обновляется список пакетов системы. Во время этого процесса, создается новый пользователь и группа с особыми правами доступа к операционной системе. По завершении этого процесса пользователь системы добавляется в группу Kismet, чтобы предоставить ему соответствующие разрешения. Затем в конфигурационном файле системы настраивается сетевой интерфейс, который будет использоваться в качестве источника данных. На заключительном этапе устанавливается локальный IP-адрес устройства, после чего запускается сервер Kismet. По итогу выполненных действий сетевой интерфейс работает в режиме мониторинга и собирает данные беспроводных сетей при запуске приложения. Для обеспечения непрерывной работы Wi-Fi-радара настраивается его автоматический запуск при включении устройства [9]. Дополнительно Kismet поддерживает API для взаимодействия с внешними приложениями. Это позволяет автоматизировать сбор, и интеграцию данных с другими системами, а возможность экспорта данных в формате JSON упрощает последующую обработку. Они используются для построения отчетов, анализа трафика, визуализации информации или интеграции с инструментами Big Data для выявления закономерностей в беспроводной среде.

Результаты

Для повышения удобства взаимодействия с системой мониторинга Wi-Fi-радара был разработан специализированный веб-интерфейс, интегрированный с API утилиты Kismet. Это решение обеспечивает централизованное управление сбором данных, их визуализацию и расширенную аналитику, сохраняя полную совместимость с существующей инфраструктурой. Основой функционала веб-интерфейса стала работа с данными, получаемыми от Kismet в формате JSON. Адаптация этих данных включала выделение ключевых метрик, таких как

MAC-адреса устройств, тип оборудования, мощность сигнала (RSSI), временные метки активности и идентификаторы сетей. Собранные данные визуализируются в интерактивной таблице, которая предоставляет детальный обзор всех обнаруженных устройств. Главная страница разработанного веб-интерфейса показана на рис. 2.

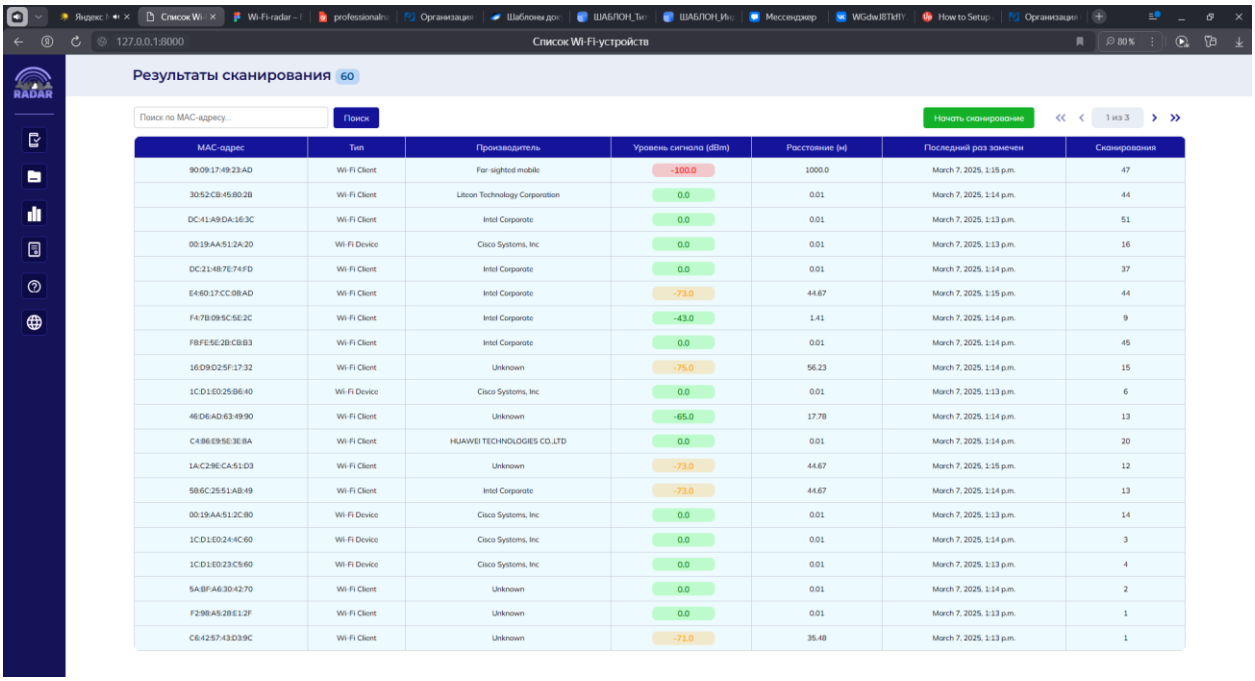


Рис. 2. Главная страница запуска сканирования

Веб-интерфейс спроектирован как платформа для интеграции дополнительных модулей. Это позволяет подключать новые аналитические инструменты или скрипты для автоматизации рутинных задач. Модульная архитектура обеспечивает гибкость: пользователи могут расширять функционал без изменения базовой системы, адаптируя её под конкретные задачи мониторинга или анализа.

Заключение

Разработанное и собранное устройство Wi-Fi-радара, способно пассивно фиксировать сетевые пакеты и анализировать активность беспроводных устройств в зоне покрытия. Реализована возможность мониторинга Wi-Fi-сети, сбор данных о MAC-адресах, типах устройств, уровнях сигнала и временных метках их обнаружения. Устройство обладает высокой степенью автономности, а его программная часть обеспечивает удобную настройку и управление процессом сканирования.

Перспективы дальнейшего развития функционала Wi-Fi-радара заключаются во внедрении механизмов сбора и анализа статистики, которые позволят учитывать частоту появления устройств, определять пиковые нагрузки сети и выявлять закономерности, обусловленные внешними факторами, такими как время суток или день недели. Дополнительное масштабирование системы за счет использования трех и более Wi-Fi-радаров откроет возможность триангуляции сигналов, что позволит не только фиксировать присутствие устройств, но и оценивать их пространственное расположение с высокой точностью. Таким образом, разработанный Wi-Fi-радар является перспективным инструментом для мониторинга и анализа беспроводных сетей. Благодаря модульной структуре, он может быть адаптировано под различные сценарии использования, включая исследовательские проекты, маркетинговый анализ и оптимизацию бизнес-процессов.

Список использованных источников

1. Wi-Fi-радар // Дом.ru. – [Электронный ресурс]. – URL: moscow.b2b.dom.ru/glossary/wi-fi-radar (дата обращения: 24.02.2025).

2. Анализ беспроводных сетей: Wi-Fi-контроль // SecurityLab. – [Электронный ресурс]. – URL: securitylab.ru/blog/personal/Neurosinaps/354439.php (дата обращения: 25.02.2025).

3. Анализ Wi-Fi-трафика в реальном времени // Хабр. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/100503/ (дата обращения: 25.02.2025).

4. Пакет (сетевые технологии) // RuWiki. – [Электронный ресурс]. – URL: ru.ruwiki.ru/wiki/Пакет_(сетевые_технологии) (дата обращения: 10.02.2025).

5. Мониторинг Wi-Fi-сетей с Raspberry Pi // Хабр. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/766922/ (дата обращения: 29.02.2025).

6. Официальное ПО для Raspberry Pi // Raspberry Pi. – [Электронный ресурс]. – URL: raspberrypi.com/software/ (дата обращения: 03.03.2025).

7. Wi-Fi Sniffing: Практические советы // Хабр. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/556790/ (дата обращения: 31.02.2025).

8. Документация Kismet // Kismet. – [Электронный ресурс]. – URL: kismetwireless.net/docs/ (дата обращения: 05.03.2025).

9. Автоматизация сбора данных с Wi-Fi-устройств // Хабр. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/819119/ (дата обращения: 05.03.2025).

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ШАБЛОНИЗАЦИИ ЮРИДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Сидоров В.В.[1], Абдрашитов В.Р.[2], Сухоруков А.А.[3]
Научный руководитель: Грива Е.В.[4]
[1]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, 422-3, email: sidlaf@yandex.ru
[2]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, 422-1, email: abdrashitov.v.422-1@e.tusur.ru
[3]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, 422-3, email: ars.suhorukov@gmail.com
[4]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, АОИ, ассистент, email: egor.v.griva@tusur.ru

Аннотация

В данной статье описан процесс разработки веб-приложения для конвертации юридических документов в интерактивные шаблоны. Рассмотрены современные подходы к компьютерному анализу тестов на естественном языке человека. Предложены способы применения разработанного инструмента для сокращения временных затрат на подготовку документации и минимизации рисков человеческих ошибок. Сформулированы перспективы дальнейшего развития приложения.

Ключевые слова: юридические документы, шаблонизация, технологии обработки естественного языка, распознавание именованных сущностей, оптимизация бизнес-процессов.

Введение

В современном мире юридические документы окружают человека повсеместно. Они служат правовой основой для регулирования отношений в различных сферах деятельности. Каждый юридический документ базируется на определённых правовых нормах, которые регламентируют способы реализации прав и обязанностей участников соглашений.

Подготовка документа имеет особое значение для вступления его в юридическую силу. Юридическая сила отражает способность точно зафиксировать изложенную информацию в соответствии с установленными правилами. Процесс формирования документа может занимать продолжительное время и вызывать трудности у людей без специальных навыков. Он требует детального изучения правовой базы, анализа специфики отношений сторон и потенциальных рисков. Кроме того, ошибки, допущенные на этом этапе, могут привести к серьёзным последствиям как репутационным, так и материальным.

Оформление документа также играет не менее важную роль поскольку влияет на восприятие информации. Неверная последовательность данных, отсутствие нумерации страниц, нечитаемый шрифт могут привести к искажению смысла положений и проблемам на этапе реализации. В случае пренебрежения правилами оформления стороны соглашения могут понести непредвиденные расходы на исправление ошибок.

Помимо общепринятых юридических правил, многие компании разрабатывают корпоративные стандарты. Это набор инструкций, который позволяет поддерживать единый стиль оформления документации. Однако такой подход требуют дополнительных вложений на обучение сотрудников. С течением времени стандарты могут быть подвержены изменениям, что может вызвать путаницу. Документы, оформленные по устаревшим правилам, требуют дополнительной проверки и корректировки. Это существенно замедляет рабочие процессы и отнимает время сотрудников.

Одним из возможных способов разрешения, обозначенных выше проблем, является использование системы шаблонизации документов. Шаблонизация позволяет превратить документ в интерактивную форму, в которой основные положения остаются без изменений, а

конкретные данные заменяются полями для ввода информации. Подобный шаблон является универсальным и может быть использован многократно. По этой причине целью работы стало создание интеллектуального веб-приложения для шаблонизации юридических документов. Этот инструмент позволит автоматизировать рутинные задачи по повторному формированию структуры документов и уменьшить влияние человеческого фактора при их заполнении.

Основная часть

Для превращения документа в форму могут быть задействованы современные технологии анализа текстов, которые основаны на использовании достижений в области обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP). Задачей NLP является создание условий для понимания компьютером смысла речи человека [1]. Ключевым инструментом в этой области выступают большие языковые модели (Large Language Models, LLM), которые обучаются на огромных объемах текстовых данных. Такие модели способны не только понимать контекст, но и выполнять большое количество задач разной направленности, включая анализ, классификацию и генерацию краткого содержания. Также одной из ключевых возможностей LLM является распознавание именованных сущностей (Named Entity Recognition, NER), что позволяет выделять из текста такие элементы, как имена участников договора, даты, суммы и другие значимые объекты [2]. Эти возможности делают LLM перспективным инструментом для анализа юридических документов, где требуется глубокое понимание сложных формулировок и специфической терминологии.

На начальном этапе был разработан минимальный жизнеспособный продукт (MVP) в виде адаптивного веб-приложения. Он обладает необходимым функционалом для оценки востребованности среди целевой аудитории. Для реализации приложения был выбран язык программирования Python, который подходит для веб-разработки и работы с нейросетями. Он обладает обширным сообществом разработчиков и имеет множество готовых библиотек, которые ускоряют процесс написания исходного кода.

Серверная часть приложения написана с использованием популярного веб-фреймворка Django [3]. Он является полнофункциональным решением и имеет множество встроенных инструментов для быстрой разработки крупных проектов. API реализовано с использованием Django Rest Framework (DRF), предоставляющего гибкие возможности для сериализации данных, аутентификации и управления доступом [4]. Для документирования и тестирования API применяется библиотека drf-spectacular, которая автоматически генерирует документацию в формате OpenAPI [5].

Для интеграции больших языковых моделей была задействована библиотека LangChain [6]. Она подходит для построения цепочек обработки данных и управления контекстом. Кроме того, с её помощью была разработана возможность динамического переключения между языковыми моделями и изменения системных параметров, таких как температура генерации и JSON-схема ответа. Использование фиксированных схем ответов LLM позволило добиться структурированности и предсказуемости получаемых данных, что упрощает процесс последующей обработки информации.

Клиентская часть приложения написана с использованием фреймворка React. Он разрабатывать создавать современные одностраничное приложение (Single Page Application, SPA). Благодаря архитектуре SPA вносимые изменения отображаются динамически, без необходимости перезагрузки страницы. Помимо этого, данный инструмент имеет поддержку готовых библиотеки для работы с документами, включая их просмотр и редактирование. Это упрощает разработку пользовательского интерфейса и даёт возможность сконцентрировать усилия на более сложных компонентах системы.

В качестве основной языковой модели для конвертации документа в шаблон выступает Yandex GPT 5 Lite 8B Pretrain [7]. Она имеет размер 8 миллиардов параметров, что позволило выполнить развертывание на локальных вычислительных ресурсах. Это обеспечивает конфиденциальность обрабатываемых юридических документов и независимость от внешних

API. Несмотря на относительно небольшой размер модель демонстрирует высокие показатели в задачах по обработке текстов на русском языке. Данная модель может успешно справится с широким спектром задач по анализу документов, что делает её оптимальным инструментом для разрабатываемой системы.

Результаты

В процессе конвертации документа приложение выполняет комплексную обработку текста. Вначале проводится создание краткого содержания и анализ характерных сущностей для идентификации типа документа. Это позволяет сопоставить материалы и предложить уже готовые шаблоны со схожим содержанием. Затем выполняется анализ структуры текста, в ходе которого определяются ключевые разделы и информационные блоки, обязательные для заполнения. На следующем этапе осуществляется извлечение именованных сущностей с сохранением грамматических характеристик. При распознавании имен система фиксирует исходную форму слова, включая падеж и число.

На основе полученных результатов создается структурированная форма документа, а распознанные сущности заносятся в профиль для повторного использования. Пример страницы для заполнения шаблона документа представлен на рис. 1.

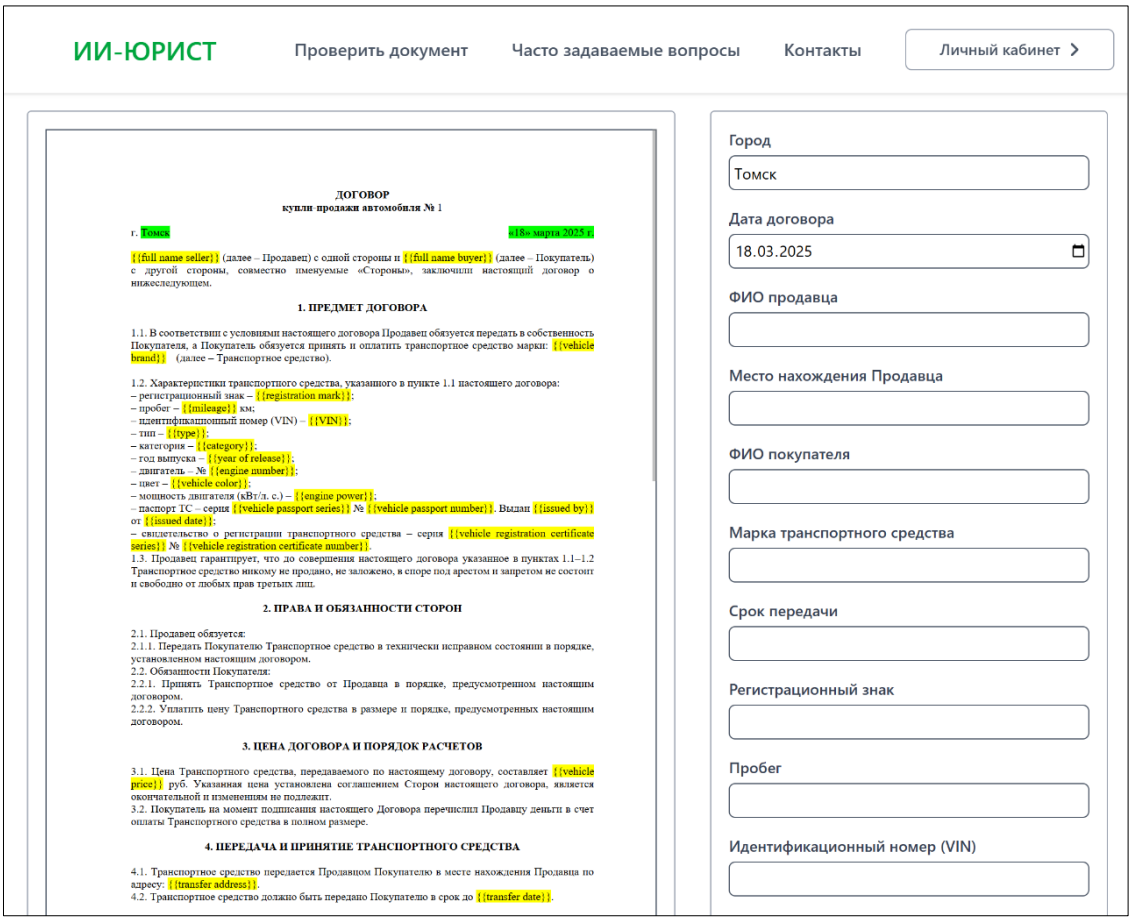


Рис. 1. Страница заполнения шаблона документа

Шаблоны в приложении представлены в виде карточек с кратким описанием. Они сгруппированы по типу юридического документа, что позволяет быстро находить необходимые формы. Кроме того, приложение для работы с шаблонами обеспечивает сохранение исходного форматирования. Для этого была использована библиотека docxtpl для программной обработки документов docx на Python [8]. В ней применяется язык Jinja2, который обеспечивает гибкость при работе с переменными, циклами и условными конструкциями.

Возможность заполнения формы реализована посредствам полей ввода, которые расположены в левой части страницы. По мере внесения данных пользователь может наблюдать за формированием документа с помощью окна предпросмотра. Также в системе реализована интеллектуальная функция подстановки, которая автоматически корректирует грамматическую форму вводимых слов. Механизм основан на библиотеке Pymorphy2, которая обеспечивает морфологический анализ и корректное согласование текста в документе [9]. Такой подход существенно упрощает работу пользователя, избавляя его от необходимости вручную подбирать правильную форму слов.

Для удобной работы с числовыми данными в систему интегрирована библиотека num2word [10]. Она обеспечивает автоматическое дублирование числовых значений в их текстовом представлении. Эта возможность может быть полезной при работе с финансовыми документами и договорами, где требуется указывать суммы прописью. Автоматическая генерация исключает вероятность несоответствия данных и ускоряет заполнение документа.

Важной особенностью является возможность интеграции с внешними базами данных. Получив доступ к информации о сотрудниках, система способна формировать персонализированные договоры в соответствии с корпоративным стилем. Такой подход позволяет значительно сократить время на подготовку документов и минимизирует влияние человеческого фактора при переносе информации.

После успешного заполнения шаблона пользователь может экспортировать готовый файл в форматах docx и pdf. При необходимости сохранить несколько документов система объединяет их в общий zip-архив. Подготовленные документы могут быть распечатаны или подписаны цифровым способом.

Заключение

Разработанное веб-приложение имеет необходимые функциональные возможности для эффективной работы с документами и их конвертации в интерактивные формы. Оно позволяет решить обозначенные выше проблемы, сокращает временные затраты специалистов и уменьшает риск возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором. Инструмент шаблонизации является частью комплексной системы анализа юридических документов [11].

В ближайшее время планируется провести испытание разработанного решения на фокус-группе. В ходе тестирования будет получена обратная связь, которая поможет выявить потенциальные ошибки и лучше понять потребности конечного пользователя.

В будущем функциональные возможности приложения будут расширены. К приоритетным задачам относятся: улучшение интеграции с существующими системами документооборота, расширение возможностей управления документами в корпоративной среде, разработка мобильного приложения. Это обеспечит удобство использования системы в организациях различного масштаба и сфер деятельности.

Список использованных источников

1. Методы обработки естественного языка // Сбербанк: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: developers.sber.ru/help/gigachat-api/natural-language-processing-techniques (дата обращения: 12.03.2025).

2. Искусственный интеллект в охране банковских данных // Сбербанк: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: sberbank.ru/ru/person/kibrary/experts/ii_na_strazhe_bankovskih_dannyh_2 (дата обращения: 12.03.2025).

3. Django documentation // Django: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: docs.djangoproject.com/en/5.1/ (дата обращения: 13.03.2025).

4. Django REST Framework // Django Rest Framework: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: django-rest-framework.org/ (дата обращения: 14.03.2025).

5. DRF-Spectacular Documentation // Read the Docs: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: drf-spectacular.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения: 14.03.2025).

6. LangChain Documentation [Электронный ресурс]: LangChain: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: python.langchain.com/docs/introduction/ (дата обращения: 14.03.2025).

7. YandexGPT-5-Lite-8B-pretrain // Hugging Face: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: huggingface.co/yandex/YandexGPT-5-Lite-8B-pretrain (дата обращения: 14.03.2025).

8. Docxtpl Documentation // Read the Docs: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: docxtpl.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения: 14.03.2025).

9. Pymorphy2 Documentation // Read the Docs: сайт. – 2020. – [Электронный ресурс]. – URL: pymorphy2.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения: 15.03.2025).

10. Num2word Documentation // Docs.rs: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: docs.rs/num2words/latest/num2words/ (дата обращения: 15.03.2025).

11. Сидоров В.В., Абдрашитов В.Р., Сухоруков А.А. Разработка веб-приложения для автоматизации анализа юридических документов // Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения – 2024: материалы XIII региональной науч.-прак. конф., Томск, 2024. – Томск : Изд-во Томск, гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – С. 112-115.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ PWA-ПРИЛОЖЕНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ВЕБ-ПУБЛИКАЦИИ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ

Яковлев С.Ю.[1], Клишин А.П.[2]
[1] Томский государственный педагогический университет, гр. 434М, e-mail: yakovlev@tspu.ru
[2] Томский государственный педагогический университет, к.ф.-м.н., доцент, e-mail: klishin@tspu.ru

Аннотация

В статье рассматривается применение технологии прогрессивных веб-приложений в образовательной среде, направленное на расширение функциональных возможностей системы веб-публикации учебного расписания. Анализируются преимущества PWA, особое внимание уделяется автоматизации процесса обновления расписания и повышению его доступности для студентов и преподавателей. Представлены основные технологические решения PWA, а также перспективы их внедрения в учебные заведения.

Ключевые слова: прогрессивные веб-приложения, автоматизация расписания, образовательные технологии, веб-публикация, цифровизация образования.

Введение

Современная цифровизация образования требует эффективных решений для управления учебным процессом. Одной из ключевых задач является обеспечение удобного и оперативного доступа к учебному расписанию [1]. Традиционные методы представления расписания, такие как бумажные стенды и статические веб-страницы, обладают значительными недостатками, включая задержки в обновлении и неудобство использования. В связи с этим актуальной задачей является внедрение технологий, обеспечивающих динамическое обновление данных и удобный доступ к информации. Прогрессивные веб-приложения (PWA) представляют собой перспективный подход к решению данной проблемы. Они сочетают в себе преимущества нативных мобильных приложений и веб-технологий, обеспечивая такие функции, как офлайн-доступ, push-уведомления и быстрая загрузка данных [2, 3]. В образовательной среде PWA могут значительно повысить доступность и интерактивность учебного расписания, снижая нагрузку на административный персонал и повышая удобство для пользователей.

Целью данной работы является исследование применения PWA-приложений для веб-публикации учебного расписания и оценка их влияния на цифровизацию образовательного процесса. В рамках исследования проведен анализ существующих методов формирования расписания, рассмотрены ключевые технологии PWA и обоснована их применимость в образовательных учреждениях.

Прогрессивные веб-приложения в образовательной среде

Прогрессивные веб-приложения представляют собой технологию, объединяющую преимущества веб и мобильных приложений. Они обеспечивают высокую производительность, безопасность и удобство использования без необходимости загрузки из магазинов приложений. В образовательной среде это открывает новые возможности для автоматизации процессов, включая публикацию учебного расписания [4].

Основными компонентами PWA являются Service Workers, позволяющие кэшировать данные и работать в офлайн-режиме, манифест (Web App Manifest), обеспечивающий интеграцию с операционной системой устройства, и HTTPS, необходимый для безопасности данных. Благодаря этим технологиям PWA-приложения могут функционировать независимо от интернет-соединения и предоставлять пользователям актуальную информацию. Кроме того, использование PWA позволяет повысить производительность веб-приложения, минимизируя задержки при загрузке контента и оптимизируя взаимодействие с сервером [5]. На рисунке 1 представлена архитектура PWA-приложения.

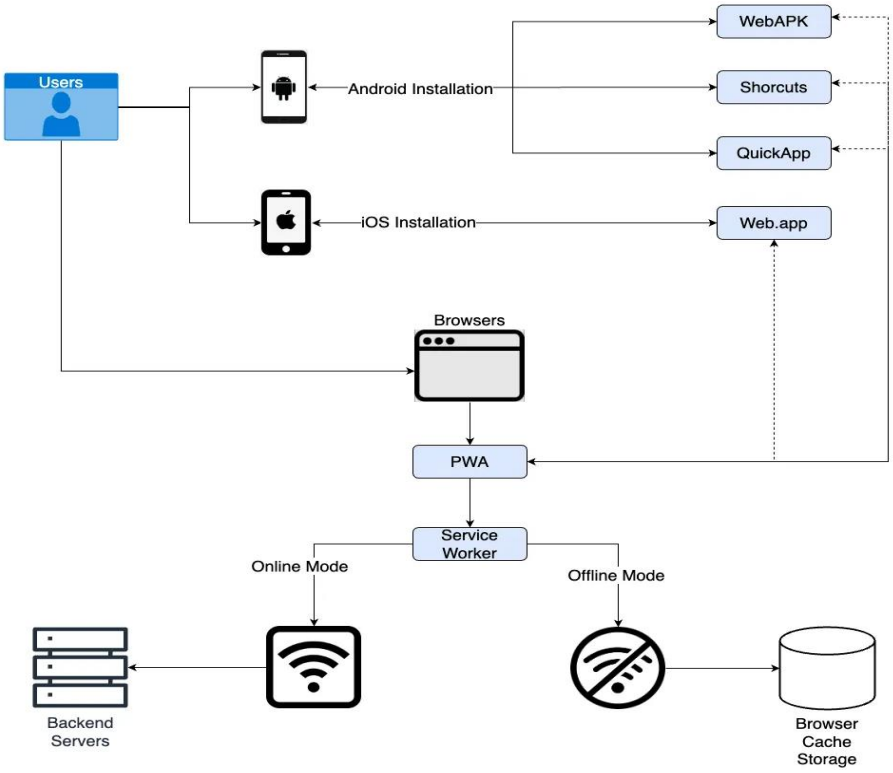


Рис. 1. Архитектура PWA-приложения

Применение технологии PWA для веб-публикации расписания

Использование PWA в системе веб-публикации расписания позволяет решить ряд проблем, связанных с традиционными методами отображения данных. Среди ключевых преимуществ можно выделить:

1. *Автоматическое обновление:* расписание обновляется в фоновом режиме, обеспечивая своевременное информирование студентов.

2. *Офлайн-доступ*: студенты могут просматривать расписание даже при отсутствии подключения к интернету.

3. *Push-уведомления:* моментальное оповещение о изменениях в расписании снижает риск пропуска занятий.

4. *Адаптивность:* возможность использования на различных устройствах без необходимости установки.

Важной особенностью PWA-приложений является их способность взаимодействовать с другими образовательными системами, такими как электронные дневники, платформы дистанционного обучения и системы управления учебным процессом. Это открывает возможности для комплексной автоматизации образовательной среды [6].

Разработка и внедрение PWA-приложений требует комплексного подхода, включающего анализ потребностей пользователей, проектирование интерфейса и тестирование функционала. Применение современных фреймворков, таких как React, Angular и Vue.js, позволяет значительно упростить процесс разработки и обеспечить высокую производительность приложения [7].

Для разработки PWA приложения был выбран фреймворк Ionic Angular. Ionic Angular – это кроссплатформенный фреймворк, который используется для создания PWA и мобильных приложений для Android и iOS. Этот фреймворк объединяет в себе преимущества Ionic и Angular, что позволит быстро и эффективно создать приложение с удобным и отзывчивым интерфейсом.

Таблица 1. Сравнение фреймворков React Native, Flutter и Ionic

№	Наименование параметра	React Native	Flutter	Ionic
1.	Язык	JavaScript + React	Dart	JavaScript, HTML, CSS + Angular, React, Vue
2.	Разрабатываемые приложения	Кроссплатформенные гибридно-нативные	Кроссплатформенные гибридно-нативные	Кроссплатформенная гибридная веб-разработка
3.	Первый релиз	2015	2017	2013
4.	Разработчик	Facebook	Google	Drifty Co.
5.	Платформы	Android, iOS, UWP	Android, iOS, Google, Fuchsia, Web, Desktop	Android, iOS, Web
6.	Открытый ресурс	Да	Да	Да и платные пакеты
7.	Инструменты фронтенда	Native + Declarative Ul components	Built-in widgets	HTML, CSS + widgets
8.	Производительность	Высокая, близкая к нативной	Очень высокая	Средняя из-за веб технологий

Разработка PWA-приложения

По данным BuiltWith за июнь 2024 года, технологию Progressive Web Apps используют 19514 веб-сайтов по всему миру, статистика динамики использования технологии представлена на рисунке 2.

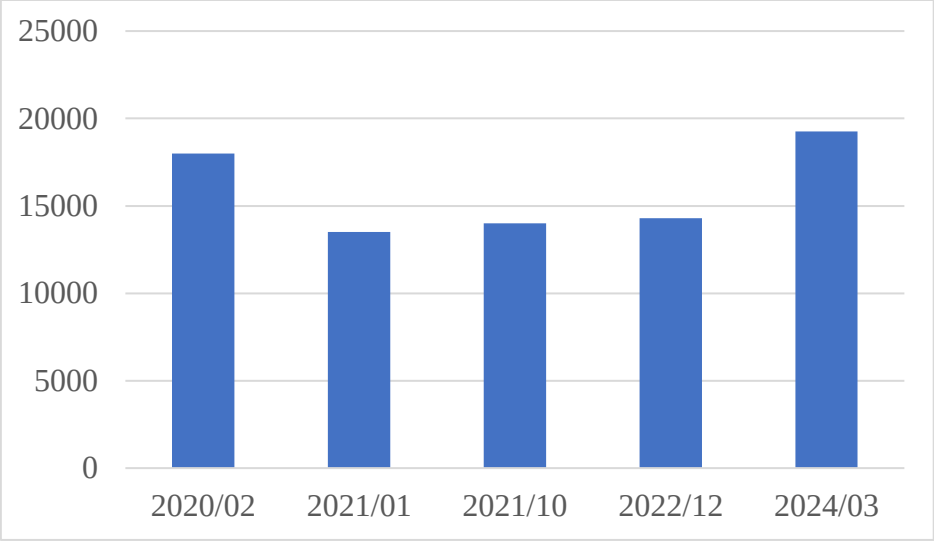


Рис. 2. Статистика сайтов, использующих технологию Progressive Web Apps за 2024 год

С использованием выбранных программных инструментов и на основе разработанной функциональной модели было создано PWA-приложение, которое на основе базы данных университета, содержащей всю необходимую информацию о занятиях, публикует расписание выбранной группы, аудитории или выбранного преподавателя.

Для выбора расписания группы, преподавателя или аудитории в верхней части экрана смартфона находится кнопка в виде переключателя между ними (рис. 3). Второй страницей в меню является “Расписание преподавателей”. При переходе на нее выводятся карточки всех преподавателей университета с краткой информацией о них (рис. 4).

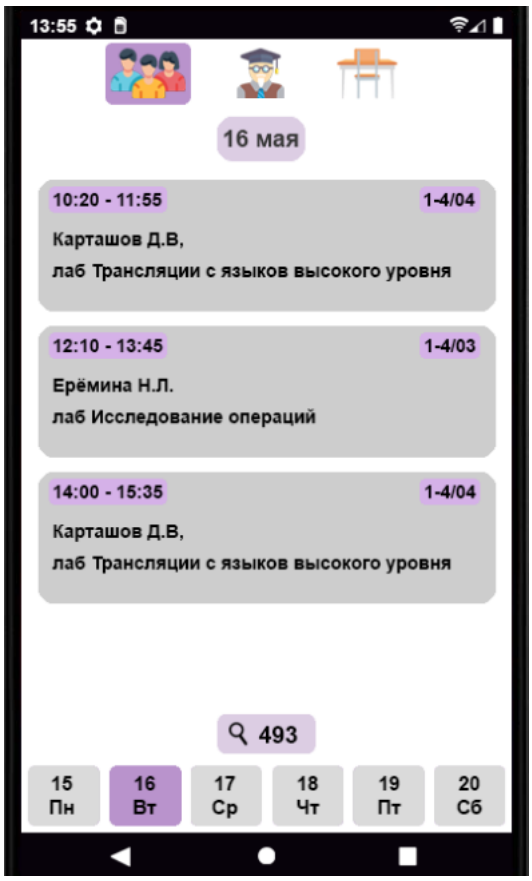


Рис. 3. Расписание группы 493

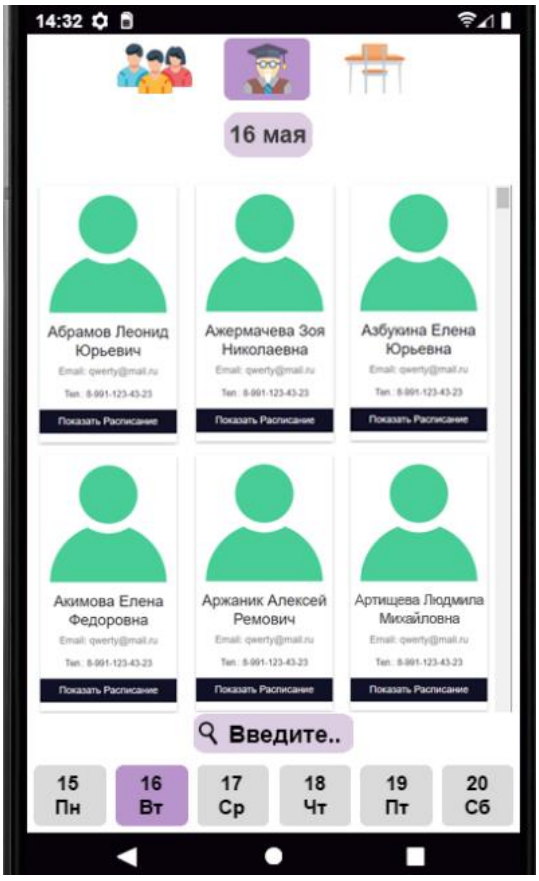


Рис. 4. Список карточек преподавателей

Для ручного ввода номера группы, аудитории или ФИО преподавателя в нижней части экрана расположена поле ввода текста, а также там находятся дни недели, которые являются интерактивными кнопками переключения между учебными днями (рис. 3).

Расписание выводится на экран в виде списка блоков, которые содержат всю необходимую информацию об учебном занятии (рис. 3).

Заключение

Применение технологии PWA в образовательной среде позволяет значительно улучшить процесс публикации учебного расписания, обеспечивая удобный и оперативный доступ к актуальной информации. Ключевые преимущества, такие как офлайн-доступ, push-уведомления и адаптивность, делают PWA перспективным решением для цифровизации образовательных учреждений. Внедрение данной технологии может способствовать повышению эффективности учебного процесса и улучшению взаимодействия между студентами и преподавателями. Также перспективным направлением является дальнейшая интеграция PWA с системами искусственного интеллекта для анализа посещаемости, адаптивного формирования расписаний и прогнозирования учебной нагрузки.

Список использованных источников

1. Валитова Н.Л., Кремлева Э.Ш., Кашафутдинов Р.К. Перспективы применения технологии PWA для расширения e-learning систем на мобильные платформы // Вестник Казанского технологического университета. – 2020. – № 23. – С. 45–52.

2. Газизуллин Н.И., Плещинская И.Е. Разработка прогрессивного веб-приложения с помощью технологии PWA // StudNet. – 2020. – № 8. – С. 12–18.

3. Гавриленко Ю.Ю., Саада Д.Ф., Ильюшин Е.А., Намиот Д.Е. Разработка прогрессивного web-приложения для системы управления push-уведомлениями // International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6, № 9. – С. 15–22.

4. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Современные тенденции web-разработки // Russian Journal of Education and Psychology. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 99–105.

5. Фадеев А.Ю., Волкова Е.А. Сравнительный анализ программного обеспечения для разработки мобильных приложений // Наука и перспективы. – 2016. – № 3. – С. 70–76.

6. Ткачев А.В., Белаш С.А. Возможности прогрессивных веб-приложений (PWA) в электронном обучении // Дневник науки. – 2020. – № 10. – С. 10–15.

7. Клишин А.П., Мытник А.А. Автоматизация деятельности учебного подразделения вуза // Инновации в государственном и муниципальном управлении: опыт решения социальных и экономических проблем: сб. трудов Всероссийской научно-практической конференции (г.Томск, 23 апреля 2014). – Томск : ТГУ, 2014. – С. 38-43.

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ «НЕЙРОМОЛЬБЕРТ»

Мамонтов И.С. [1]*, Хорошко А.Е.* [2]*,*
Научный руководитель: Брагин А.Д. [3]
[1]*ТПУ ИШИТР ОИТ, гр. 8К21, e-mail: ism18@tpu.ru*
[2]*ТПУ ИШИТР ОИТ, гр. 8К21, e-mail: aek60@tpu.ru*
[3]*ТПУ ИШИТР ОИТ, старший преподаватель, e-mail: bragin@tpu.ru*

Аннотация

«Нейромольберт» – интерактивное веб-приложение для демонстрации возможностей генеративного ИИ, позволяющее создавать уникальные графические произведения посредством ручного рисования и автоматической генерации изображений. Разработано с использованием Vue.js, Flask ориентировано на образовательные и культурные мероприятия для популяризации инновационных технологий.

Ключевые слова: генеративный ИИ, веб-приложение, генерация изображений, Vue.js, Flask, stable diffusion.

Введение

В условиях активного развития искусственного интеллекта (ИИ) и растущего интереса к инновационным технологиям, необходимо предоставлять наглядные инструменты для демонстрации его возможностей широкой аудитории и вовлечения людей в изучение инновационных подходов к использованию генеративного искусственного интеллекта.

Основное назначение такого инструмента – интерактивная демонстрация современных возможностей генеративного искусственного интеллекта. Целевая аудитория - посетители различных мероприятий всех возрастных категорий.

Цель данного проекта – создать интерактивное веб-приложение, которое позволит пользователям рисовать эскизы вручную и получать на их основе художественные изображения, сгенерированные нейросетевой моделью. Такой подход способствует повышению уровня понимания возможностей современных технологий, в частности генеративного искусственного интеллекта, и их популяризации среди широкой аудитории.

Выбор стека разработки

Для реализации сервера обработки запросов используется легкий фреймворк Flask, который позволяет быстро настраивать маршруты и API [1]. За счет своей простоты Flask хорошо подходит для прототипирования и небольших/средних проектов. В данном случае он отвечает за загрузку конфигураций и обработку запросов (таких как получение списка стилей и генерация изображений).

Для развертывания используется WSGI-сервер Waitress, который позволяет запустить Flask-приложение в production-режиме. Сервер хорошо подходит для разрабатываемого приложения, так как он надежен и прост в использовании, а само приложение не подразумевает большое количество запросов со стороны клиента и очень серьезных нагрузок.

Для реализации клиентской части веб-приложения был выбран Vue.js – современный, прогрессивный фреймворк, позволяющий строить разделенные компонентные интерфейсы. Такой подход обеспечивает быструю реакцию веб-приложения, удобное управление состоянием на уровне компонентов и легкость дальнейших расширений [2]. Компонентный дизайн также позволяет изящно организовать взаимодействие с пользователем, реализовать поддержку динамического обновления и плавных анимационных переходов.

Генерация изображений осуществляется с помощью современных моделей (Stable Diffusion XL [3]) через библиотеку diffusers, что в паре с PyTorch дает возможность использовать GPU и выполнять вычисления в float16 для оптимизации потребления памяти. Библиотеки Pillow (PIL) и NumPy используются на этапе предобработки изображений.

Использование веб-стека для основы приложения позволяет обеспечить ряд преимуществ:

- Приложение доступно в браузере – пользователю не требуется устанавливать дополнительное ПО, также это дает возможность в дальнейшем масштабировании на несколько устройств.
- Современные веб-технологии позволяют создавать адаптивный и отзывчивый интерфейс с широким набором визуальных эффектов и ускоряют процесс разработки по сравнению с desktop-фреймворками.

Разработка сервера обработки запросов

Сервер принимает POST-запросы с эскизом изображения в формате base64 и параметрами генерации (такими как выбранный стиль, размер изображения). Изображение конвертируется и предварительно обрабатывается (инвертируются цвета, происходит масштабирование).

С использованием библиотеки diffusers и PyTorch сервер загружает модели (Stable Diffusion XL, ControlNet, VAE) с оптимизациями для работы на GPU (float16, очистка кэша). Вызывается метод генерации изображения, в котором применяется выбранный стиль и вычислительные параметры.

Сгенерированное изображение сохраняется во временный буфер (с использованием BytesIO) и отправляется клиенту в формате PNG через Flask-функцию send_file().

Основные параметры сервера (такие как список стилей и настройки модели) вынесены в JSON-файлы конфигурации, что облегчает обновление и масштабирование решения.

Разработка интерфейса веб-приложения

Интерфейс разбит на независимые компоненты – холст для рисования, панель инструментов, панель выбора стилей и переключатель языка. Такой подход повышает модульность, упрощает тестирование и облегчает дальнейшее расширение функциональности.

Пользовательский интерфейс организован с использованием динамических средств обновления: графические элементы реагируют на действия пользователя, например, изменение размера кисти, выбор инструментов, переключение между режимами рисования. Для плавной анимации элементов применяются переходы, обеспечивающие более приятное восприятие.

Компонент холста реализует функционал рисования с поддержкой различных событий указателя. Он обеспечивает сохранение и восстановление состояний (undo/redo), а также масштабируется динамически при изменении размеров, сохраняя текущее содержимое.

При нажатии кнопки «генерировать изображение» на серверную часть отправляется запрос на генерации изображений. В процессе обработки отображается анимация загрузки, а по окончании работы результат выводится на экран. Асинхронный подход позволяет отделить вычисления от пользовательского интерфейса и обеспечить плавность работы приложения.

Компоненты, отвечающие за переключение языка и выбор стилей, обеспечивают динамическое изменение текстов и визуальных настроек. Благодаря использованию событий и передачи данных через свойства, интерфейс мгновенно реагирует на изменения предпочтений пользователя.

Снимок экрана интерфейса приложения представлен на рисунке 1.

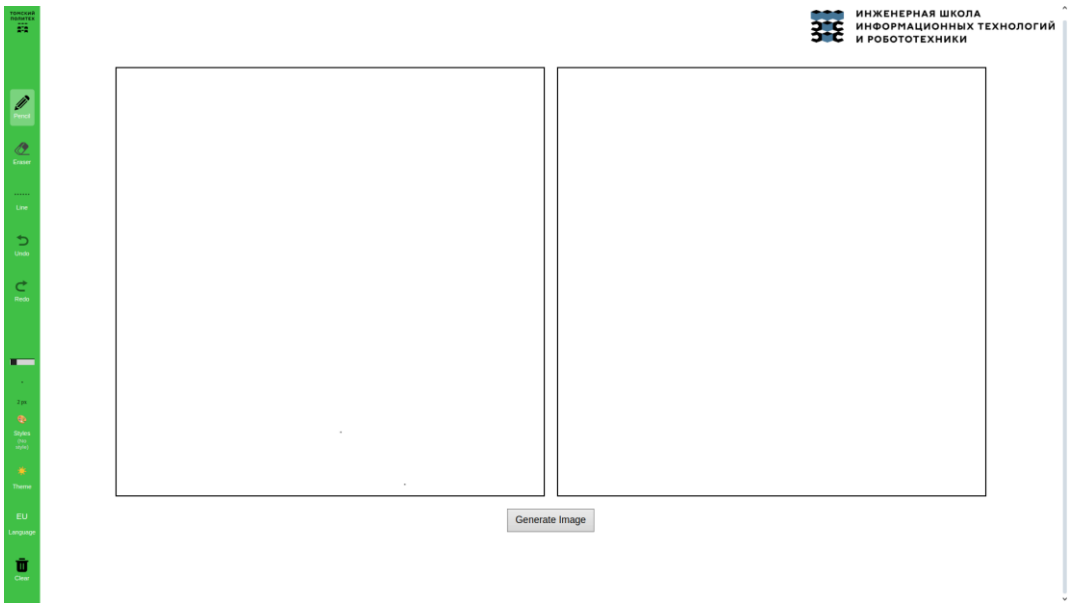


Рис. 1. Интерфейс веб-приложения

Описанное выше решение позволяет создать гибкий, отзывчивый и легко поддерживаемый пользовательский интерфейс, который обеспечивает доступное взаимодействие с функционалом генерации изображений и рисования.

Выбор генеративной модели

Для генерации изображений был проведен анализ современных моделей, среди которых выделялась архитектура Stable Diffusion за ее высокое качество и гибкость в управлении стилями, а также удовлетворительные требования к аппаратной части [3]. Модель позволяет работать с текстовыми запросами, а также интегрироваться с ControlNet для дополнительного управления результатом. Архитектура модели представлена на рисунке 2.

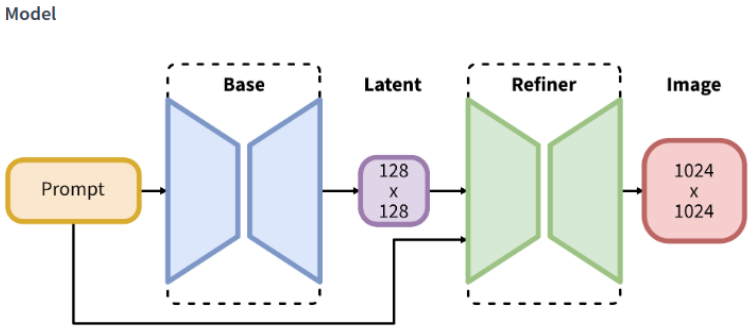


Рис. 2. Архитектура модели Stable Diffusion XL

Модель оптимизирована для работы на GPU с использованием вычислений в float16, что снижает расход памяти и ускоряет процесс генерации. Итоговая интеграция модели происходит через библиотеку diffusers и PyTorch, что обеспечивает стабильное выполнение вычислительно-тяжелых операций через веб-интерфейс.

Разработка стилей для генерации

В каждом запросе (prompt) задается определенный стиль для генерации изображений. Например, "Legendary Adventure" и "Epic Saga" направляют модель на создание эпических, героических, мифологических сцен, добавляя ключевые слова вроде "epic, mythical, grand, heroic, detailed".

Каждый такой запрос делится на две составляющих – позитивную и негативную. Такое разделение позволяет более гибко управлять конечным результатом генерации.

Позитивные ключевые слова помогают моделям фокусироваться на желаемых характеристиках. В "Epic Saga" упоминаются "vibrant, detailed, magical, adventure, epic scale", что задает тон и настроение изображения.

Негативные ключевые слова исключают нежелательные характеристики. Например, "boring, mundane, contemporary, plain, realistic" в "Legendary Adventure" помогают избежать скучных или реалистичных элементов, которые не соответствуют стилю, а также помогают ограничить нежелательные сцены, так как веб-приложение ориентированно в том числе на школьную аудиторию. Такой формат prompt позволяет легко изменять стиль изображения, просто выбрав другой шаблон или добавив новые параметры. На рисунке 3 представлен фрагмент JSON-файла, содержащего стили для генерации изображений.

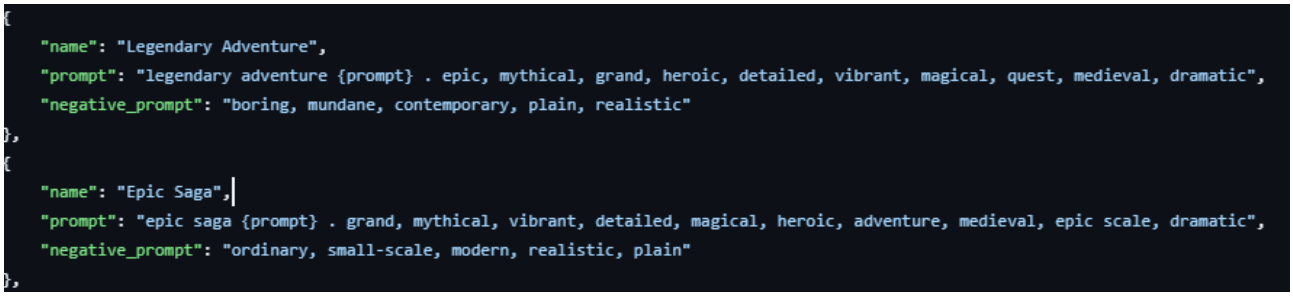


Рис. 3. Запрос для генерации изображения в определенном стиле

Интеграция генеративной модели в веб-приложение

С помощью Flask создается специальный маршрут (/generate), который принимает POST-запросы с данными (изображение в формате base64 и параметры генерации, такие как выбранный стиль).

В серверном коде изображение декодируется из base64, конвертируется в нужный формат, выполняется масштабирование и корректировка (например, замена белого фона на прозрачный), чтобы подготовить данные для модели.

После подготовки данных происходит вызов генеративной модели, интегрированной через библиотеку diffusers и PyTorch. Переобученная модель, настроенная для работы с заданными стилями, генерирует новое изображение с использованием оптимизированных вычислений (float16, GPU) [4].

Сгенерированное изображение сохраняется во временный буфер и отправляется обратно клиенту в виде PNG-файла с помощью Flask-функции send_file(). Это обеспечивает быструю доставку результата в веб-интерфейс. Фронтенд, реализованный на Vue.js, отправляет запрос на сервер при нажатии кнопки генерации, отображает анимацию загрузки и, по завершении обработки, получает сгенерированное изображение для отображения пользователю.

Результаты

Пользователи могут напрямую взаимодействовать с веб-приложением, выполнять рисование на холсте, настраивать инструменты и выбирать стили генерации через удобную панель инструментов.

При отправке изображения с выбранными параметрами сервер обрабатывает запрос, применяет генеративную модель (на базе Stable Diffusion XL с дообучением и оптимизациями для работы на GPU) и возвращает сгенерированное изображение в формате PNG. Это обеспечивает быстрый и наглядный результат.

Разделение логики на серверную и клиентскую части, использование внешних JSON-конфигураций и настройка через API позволяют легко обновлять и расширять функционал, не затрагивая всю систему целиком.

Итоговый продукт сочетает вычислительно-тяжелые операции глубокого обучения с динамичным веб-интерфейсом, что обеспечивает комфортное взаимодействие для пользователей – от художников до любителей экспериментов с генеративным искусством.

Для исполнения изначальной цели проекта, то есть популяризации генеративного ИИ, была собрана установка, состоящая из монитора Samsung с сенсорным экраном, системного блока с видеокартой NVidia RTX4070 12gb, для представления проекта на выставках.

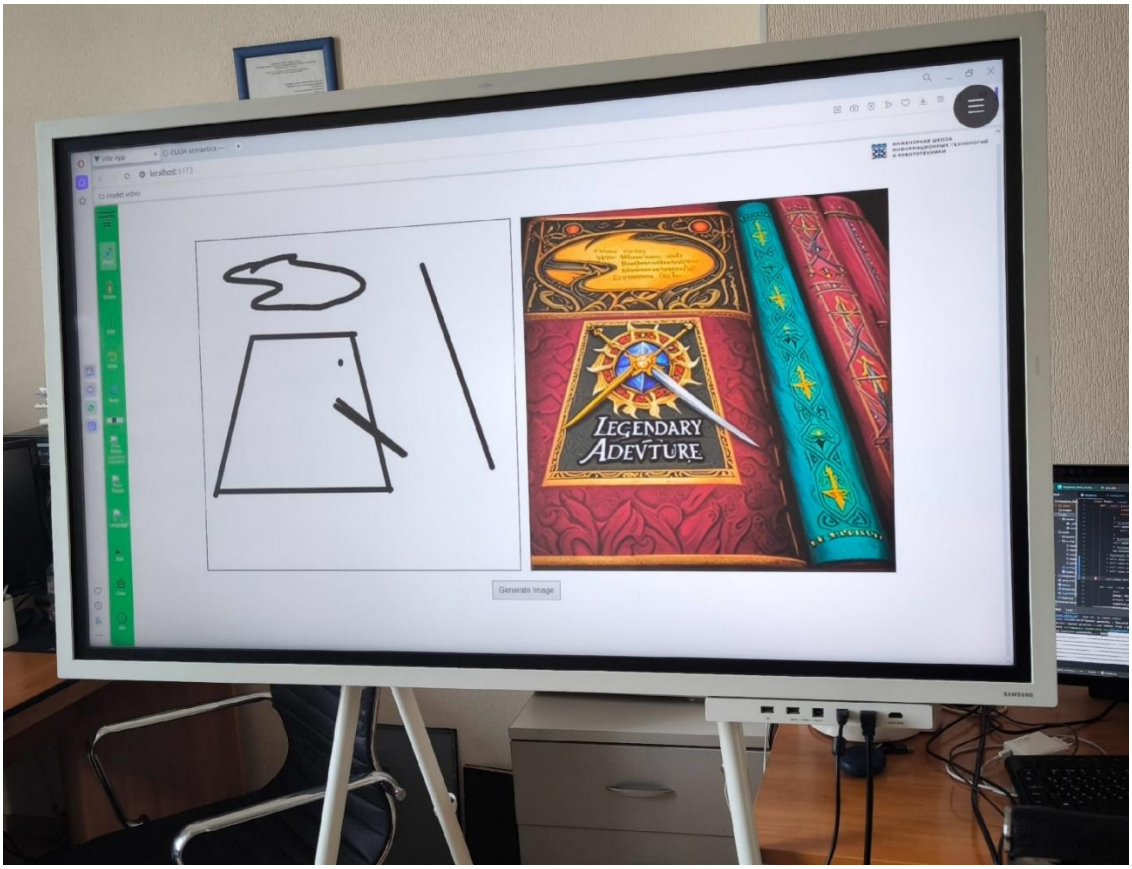


Рис. 4. Стенд для демонстрации веб-приложения «Нейромольберт»

Заключение

Разработанное приложение в сочетании с панелью для рисования позволяют наглядно демонстрировать широкой публике возможности современных генеративных технологий. Эта установка была успешно опробована на нескольких общественных мероприятиях и подарила сотням пользователей увлекательный опыт. «Нейромольберта» представляет собой комплексный процесс, охватывающий проектирование, создание прототипа, интеграцию генеративной модели, оптимизацию и масштабирование системы. Этот детальный подход обеспечивает создание продукта, который не только демонстрирует современные возможности генеративного ИИ, но и позволяет пользователям активно участвовать в творческом процессе.

Список использованной литературы

1. Flask // Документация: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: flask.palletsprojects.com/en/stable/ (дата обращения: 09.04.2025).

2. Vue.js // Руководство: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: vuejs-doc-ru.vercel.app/guide/introduction.html (дата обращения: 09.04.2025).

3. Stable Diffusion XL Base 1.0 // Hugging Face: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: huggingface.co/stabilityai/stable-diffusion-xl-base-1.0 (дата обращения: 09.04.2025).

4. SDXL: Improving Latent Diffusion Models for High-Resolution Image Synthesis // ArXiv: научная статья. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/html/2307.01952 (дата обращения: 09.04.2025).

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПЛАНА КОГНИТИВНО-ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Шмулько А.[1] Симонов Т.С.[2], Ехлаков Ю.П.[3]
[1]ТУСУР, гр. 424-м, магистрант, aleksandr.shmulko@mail.ru
[2]ТУСУР, ассистент каф. АОИ,
[3]ТУСУР, д.т.н, профессор каф. АОИ

Аннотация

Работа посвящена разработке онтологической модели процесса когнитивно-поведенческой терапии. Данная модель предназначена для генерации индивидуального плана пользователя мобильного приложения. В качестве задачь в плане будут использоваться психологические тесты, теоретические материалы и упражнения. С помощью этого плана, пользователь будет планомерно прорабатывать психологические проблемы.

Ключевые слова: онтология, когнитивно-поведенческая терапия, мобильное приложение

Введение

Современное общество сталкивается с высокой потребностью в психологической помощи, но доступность квалифицированных специалистов остается ограниченной. Одним из наиболее структурированных и эффективных методов лечения психологических проблем является когнитивно-поведенческая терапия (КПТ), что делает ее перспективной для цифровой реализации в мобильных приложениях [1].

Существующие цифровые решения в области психологической помощи можно условно разделить на две группы: диагностические системы и приложения для самостоятельной терапии. Например, Woebot, Wysa и Moodfit представляют собой популярные мобильные сервисы, помогающие пользователям управлять своим эмоциональным состоянием. Woebot – это чат-бот, использующий элементы КПТ для поддержки пользователей в повседневной жизни. Wysa предлагает упражнения на основе КПТ и техники осознанности, помогая снизить стресс и тревожность. Moodfit ориентирован на мониторинг настроения и отслеживание прогресса пользователя с возможностью настройки персонализированных напоминаний. Однако в данных приложениях отсутствует возможность динамического формирования терапевтических планов с учетом изменений в состоянии пользователя.

Для формализованного представления формирования терапевтических планов в работе [2] предложена онтологическая модель построения индивидуальных планов лечения депрессии, основанная на концепциях Guided Discovery (GD) и Behavioural Activation (BA). В модели представлены классы, описывающие симптомы, барьеры, когнитивные искажения, терапевтические задания и их взаимосвязи. Для ее реализации использовались Web Ontology Language (OWL) и Semantic Web Rule Language (SWRL), что позволило формировать персонализированные терапевтические планы на основе онтологического вывода. Оценка модели показала, что такой подход способствует гибкой адаптации терапии к особенностям пользователя. Однако в работе не рассматриваются механизмы автоматизированного сбора данных о состоянии пациента и интеграция онтологии с анализом пользовательских данных для динамической корректировки терапевтических планов.

В исследовании [3] описана онтологическая модель для анализа депрессивных состояний подростков на основе данных социальных сетей. Используется EAV-подход (Entity-Attribute-Value) для выявления признаков депрессии через анализ тональности текста, упоминания стрессовых факторов и других психологических триггеров. Метод позволяет автоматически определять потенциальные психические проблемы. Однако в работе не рассматриваются вопросы валидации данных, учет индивидуальных различий пользователей и механизмы адаптации модели к изменяющемуся эмоциональному состоянию. Также отсутствует интеграция с терапевтическими модулями, что ограничивает применение модели в рамках интервенций.

Для построения персонализированных терапевтических планов требуется не только моделирование процессов когнитивно-поведенческой терапии (КПТ), но и механизм адаптации к индивидуальным особенностям пациента, определения его психического состояние и в конечном итоге формирование динамически изменяемого плана терапии с учетом личных характеристики и процесса изменения состояния пользователя.

Цель данной работы является разработка онтологической модели, которая позволит формировать персонализированные терапевтические планы и генерировать индивидуальные задачи для пользователей мобильного приложения, основанного на КПТ. Такая модель должна обеспечивать динамическую адаптацию терапии, учитывая изменения в состоянии пользователя и его прогресс.

Основные принципы КПТ

Когнитивно-поведенческая терапия базируется на концепции, что психическое и психологическое состояние человека зависит от его мыслей, эмоций и поведения. При этом, согласно когнитивной модели Бека [4], мысли, эмоции и поведение взаимосвязаны. Поэтому КПТ направлена на выявление и изменение дисфункциональных убеждений, формирование адаптивных стратегий мышления и поведенческих реакций.

Методологическую основу КПТ составляют методы Guided Discovery (управляемое открытие) и Behavioural Activation (BA, поведенческая активация). Использование управляемого открытия помогает пациенту самостоятельно находить и анализировать свои иррациональные убеждения. Терапевт не дает прямых ответов, а с помощью открытых вопросов, экспериментов и когнитивных упражнений подводит пациента к более адаптивному восприятию своих мыслей и поведения. Этот метод основан на сократовском диалоге, что позволяет человеку самому осознать ошибки мышления и изменить их.

Поведенческая активация направлена на преодоление депрессии и тревожных расстройств путем увеличения количества положительного опыта через активное участие в жизни. В отличие от традиционных терапевтических методов, BA не фокусируется на изменении мышления, а работает с поведением. Основные принципы BA: определение и устранение избегания (клиент учится преодолевать страхи и тревоги через действие); включение в расписание позитивных и значимых активностей; формирование устойчивых привычек, способствующих улучшению эмоционального состояния.

Онтологическая модель когнитивно-поведенческой терапии, описывающую взаимосвязи между ключевыми концепциями терапевтического процесса – см. рис. 1.

Рис. 1. Онтологическая модель процесса КПТ

Основными компонентами модели являются клиент, его психологическая проблема, а также различные методы ее уточнения и коррекции. Клиент сталкивается с психологической проблемой, которая выражается в нежелательном эмоциональном состоянии и нежелательном поведении. Для определения сути проблемы формируется запрос, который уточняется с помощью теоретического материала.

На следующем этапе проводится психологический тест, который помогает конкретизировать нежелательное эмоциональное состояние клиента. Например, Шкала депрессии Бека для оценки уровня депрессивных симптомов, Шкала тревоги Спилберга-Ханина для измерения тревожности, а также опросник DASS-21, который позволяет оценить уровень стресса, тревоги и депрессии. Эти тесты помогают более точно определить эмоциональные проблемы и служат основой для дальнейшей работы с клиентом.

Затем применяются когнитивные упражнения, направленные на оспаривание деструктивных мыслей, вызывающих негативные эмоции. К таким упражнениям относятся КПТ-дневник, который помогает отслеживать и анализировать негативные мысли; Анализ проблемы, позволяющий глубже понять причины возникновения негативных эмоций; Проверка убеждений, способствующая критическому рассмотрению собственных установок; и Анализ убеждений, направленный на формирование альтернативных убеждений. Эти упражнения способствуют достижению желаемого эмоционального состояния и формированию более здорового восприятия действительности.

Поведенческие упражнения, в свою очередь, подкрепляют целевое поведение и укрепляют новые убеждения. Целевое поведение формируется на основе запроса клиента и ведет к достижению желаемого эмоционального состояния. Для его поддержания применяется релаксация, которая способствует стабилизации положительного эффекта. К примерам таких упражнений относятся Лестница страха, позволяющая постепенно преодолевать страхи, и Экспозиция, направленная на столкновение с тревожными ситуациями в безопасной обстановке. Эти методы помогают закрепить желаемые изменения и поддерживать положительный эмоциональный фон.

Таким образом, логика модели строится следующим образом: клиент сталкивается с психологической проблемой, которая проявляется в нежелательных эмоциях и поведении. Психологический тест помогает уточнить эмоциональное состояние, а когнитивные упражнения оспаривают деструктивные мысли и формируют новые убеждения. Закреплению целевого поведения способствуют поведенческие упражнения, а желаемое эмоциональное состояние поддерживается методами релаксации. Такое описание процесса КПТ показывает, как через когнитивные и поведенческие упражнения можно модифицировать эмоциональное состояние и поведение клиента.

Техническая реализация

Онтология процесса КПТ реализуется с использованием языка описания Web Ontology Language (OWL). Основные классы модели:

- **Пользователь** – содержит информацию о психологическом состоянии, уровне подготовки и динамике терапии.
- **Поведенческий паттерн** – отражают проявления психологических проблем.
- **Терапевтическое задание** – включает упражнения, направленные на когнитивно-поведенческую коррекцию.
- **Обратная связь** – фиксирует изменения в состоянии пользователя и корректирует план.
- **Протокол** - содержит инструкции об организации и проведении психологической консультации.

На основе построенной модели написаны правила на языке Semantic Web Rule Language (SWRL). Они регламентируют переходы между пунктами плана с учетом текущего состояния пользователя. Для работы с моделью в Python используется библиотека Owlready2.

В результате реализуется механизм автоматического построения персонализированных терапевтических планов, учитывающий текущие психологические характеристики пользователя. Главный экран мобильного приложения с ежедневными задачами – см. рис. 2.

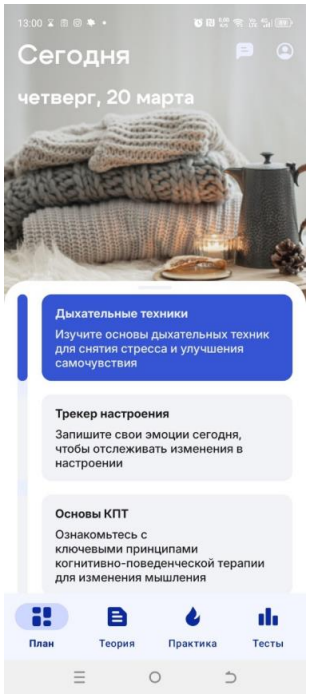


Рис. 2. Экран приложения с ежедневными задачами

Заключение

В данной работе предложена онтологическая модель персонализированной когнитивно-поведенческой терапии в мобильных приложениях. Модель позволяет динамически адаптировать терапевтические планы с учетом индивидуальных особенностей пользователя, интегрируя анализ социальных данных для мониторинга эмоционального состояния. Предложенный подход снижает зависимость от фиксированных терапевтических сценариев и повышает точность персонализации. Это может быть полезно для цифровой психотерапии, улучшая доступность и эффективность поддержки пользователей. Однако реализация требует тщательной работы с качеством данных, а также учета этических аспектов при обработке информации из социальных сетей. Развитие исследований будут направлено на тестирование модели на различных группах пользователей, улучшение механизмов адаптации терапии и разработку методов защиты персональных данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России; проект FEWM-2023-0013.

Список использованных источников

1. Rathbone A. L., Clarry L., Prescott J. Assessing the efficacy of mobile health apps using the basic principles of cognitive behavioral therapy: systematic review // Journal of medical Internet research. – 2017. – Т. 19. – № 11. – URL: jmir.org/2017/11/e399

2. Nair A. et al. Ontology-based personalized cognitive behavioural plans for patients with mild depression // Public Health and Informatics. – IOS Press, 2021. – С. 729-733.

3. Jung H., Park H.A., Song T.M. Ontology-based approach to social data sentiment analysis: detection of adolescent depression signals //Journal of medical internet research. – 2017. – Т. 19. – № 7. – URL: jmir.org/2017/7/e259

4. Бек Д.С. Когнитивная терапия: полное руководство. Пер. с англ. – М. : И.Д. Вильямс, 2018. – 400 с.

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ

Червов Т.О.[1], Соколова В.В.[2]
[1]Томский политехнический университет, гр. 8К14 ОИТ ИШИТР, e-mail: toc2@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, к.т.н., доцент ОИТ ИШИТР, e-mail: veronica@tpu.ru

Аннотация

Разработанное мобильное приложение предназначено для анализа и мониторинга финансовых активов. Приложение позволяет получать данные о текущей стоимости ценных бумаг, отслеживать изменение их стоимости и прогнозировать изменение цены в будущем в зависимости от фигуры технического анализа.

Ключевые слова: технический анализ, финансовый актив, мобильное приложение.

Введение

Согласно данным «Московской биржи», число частных инвесторов, имеющих брокерские счета, в 2024 году увеличилось на 5,4 млн и достигло 35,1 млн человек [1]. За данный период инвесторы вложили в ценные бумаги более 1,3 трлн рублей, что на 18 % больше, чем за прошлый аналогичный период. Несмотря на рост интереса к инвестициям, многие пользователи сталкиваются с проблемами отсутствия знаний и недостатка инструментов для качественного анализа фондового рынка. Для решения этих проблем необходимо приложение, которое поможет эффективно управлять инвестиционным портфелем с помощью фигур технического анализа.

Основные понятия технического анализа

Технический анализ – метод торговли, который использует исторические данные о ценах и объемах торгов для прогнозирования будущих цен на различные активы. Он может быть применен к любому финансовому рынку [2].

Данный метод является одним из двух основных способов принятия финансовых решений наряду с фундаментальным анализом, который основывается на базовых показателях компаний: выручка, прибыль, конкуренция в отрасли и пр.

Технический анализ базируется на трех постулатах [3]:

– Все факторы, влияющие на цену, уже заложены в график.

– Цена всегда движется в трендах.

– История повторяется.

Первый постулат означает, что рыночные цены уже учитывают все факторы, которые на неё влияют. В цене заложено соотношение спроса и предложения на определенный актив.

Второй постулат основывается на том, что цена не является хаотичной величиной, она всегда движется в определенном направлении – тренде. На данном постулате основываются большое число стратегий.

Последний постулат подразумевает, что поведение участников рынка и их реакции на определенные события имеют тенденцию к повторению. Он обоснован рыночной психологией и человеческими эмоциями, например, такими как паника, которая побуждает к чрезмерным продажам или импульсивным покупкам.

Одно из основных понятий технического анализа – тренд. Это движение цены в определенном направлении. Когда цена движется вверх, говорят о восходящем тренде, а когда она движется вниз – нисходящем.

Движение цены не может иметь прямолинейную траекторию, потому что она движется в разных направлениях и с разной интенсивностью. Таким образом, цены движутся волнами,

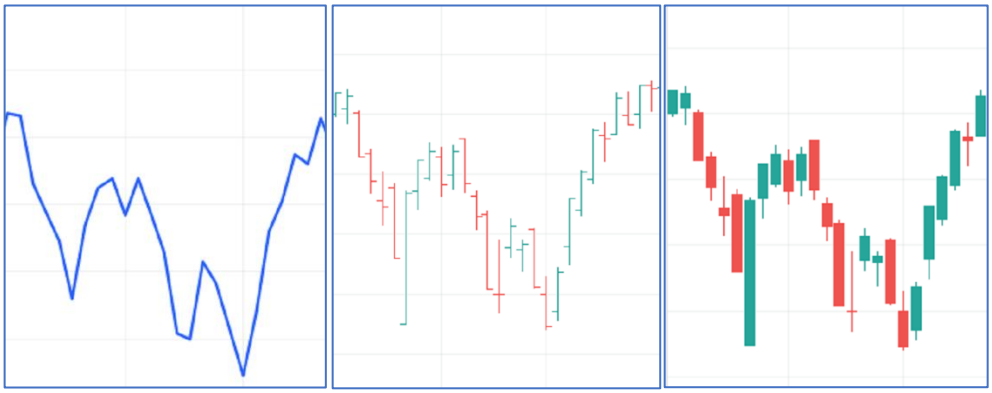
и каждая фаза роста сменяется фазой падения. Отличие между восходящим и нисходящим трендами в том, что в первом случае преобладают фазы роста над фазами падения, а во втором – наоборот. В случае, если цена не движется вверх или вниз, то есть фазы роста соответствуют по размеру фазам падения, то такая ситуация называется флэтом.

Выделяют три вида ценовых графиков:

– Линейный график – ломанная линия, которая соединяет цены закрытия торгов (рис. 1, а).

– Бары – график в виде баров, которые указывают итоговые цены, их максимальные и минимальные значения за период, а также цену открытия (рис. 1, б).

– Свечи – график в виде свечей, которые отражают цену открытия, цену закрытия, максимальную и минимальную цены за период (рис. 1, в).



а) *б)* *в)*

Рис. 1. Основные виды ценовых графиков
а) линейный график, б) бары, в) свечи

Использование фигур технического анализа базируется на третьем постулате: «История повторяется». Безусловно, фигуры не будут работать в 100 % случаях, однако они могут быть довольно полезными.

Выделяют два основных вида фигур:

–Фигуры тренда, которые сигнализируют о дальнейшем продолжении тренда после небольшой остановки. К фигурам тренда относятся: «голова и плечи», «двойное дно», «тройное дно» и другие. Основные фигуры тренда изображены на рисунке 2.

–Фигуры разворота, которые сигнализируют о дальнейшей смене тренда. К фигурам разворота относятся: «треугольник», «прямоугольник», «флаг» и другие. Основные фигуры разворота изображены на рисунке 3.

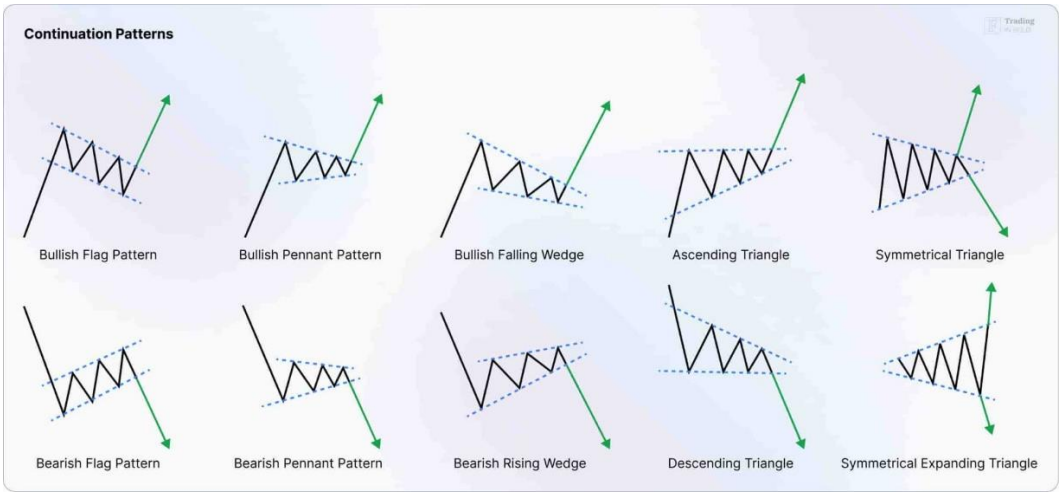


Рис. 2. Основные фигуры тренда

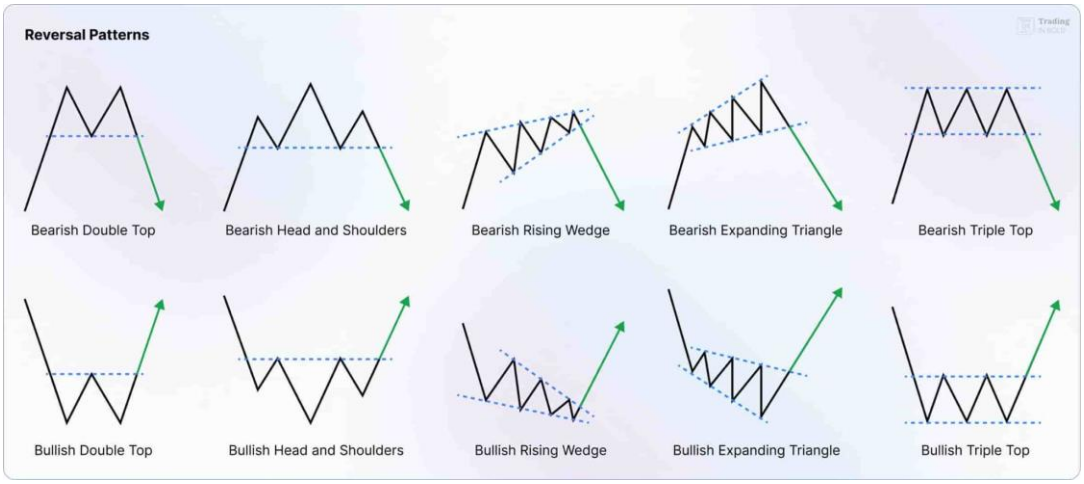


Рис. 3. Основные фигуры разворота

Описание мобильного приложения

Для описания функционала разрабатываемой информационной системы была построена диаграмма вариантов использования. Диаграмма представлена на рисунке 4.

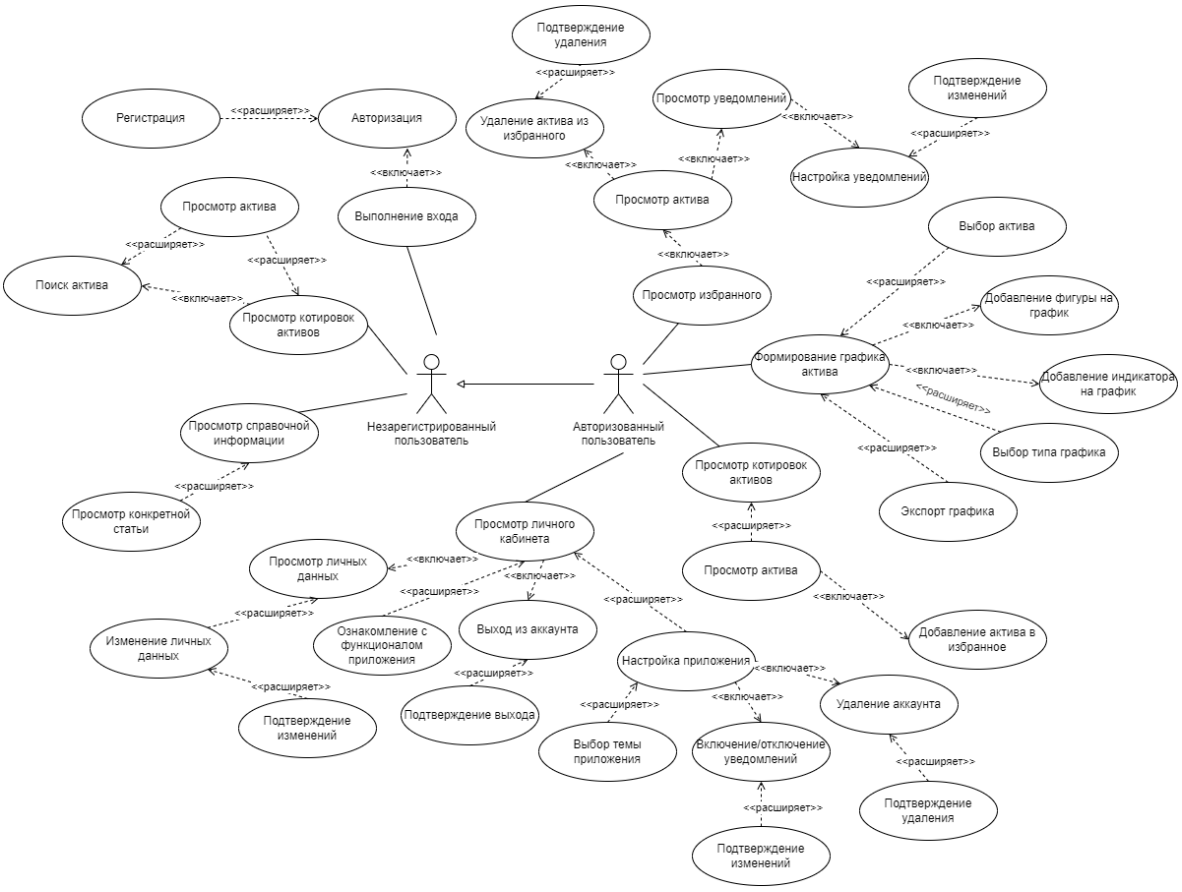


Рис. 4. Диаграмма вариантов использования мобильного приложения

Были определены два актора: незарегистрированный пользователь и авторизованный пользователь. Незарегистрированный пользователь имеет доступ только к части функционала, среди которого выполнение входа, авторизация, регистрация, просмотр котировок активов, просмотр актива, поиск актива, просмотр справочной информации и просмотр конкретной статьи. После выполнения входа в аккаунт, становится доступен весь остальной функционал.

Результаты разработки мобильного приложения

На данный момент на рынке мобильных операционных систем самыми популярными являются «Android» и «iOS», которые занимают 69,9 % и 29,3 % соответственно [5]. Также, для разработки приложения под «iOS» требуется устройство с операционной системой «macOS». Принимая во внимание распространенность «Android», а также отсутствие жестких требований к аппаратному обеспечению для разработки, было принято решение разрабатывать мобильное приложение под «Android». В качестве языка разработки был выбран «Kotlin» за счет его современных функций и поддержки для разработки под «Android». Для разработки серверной части был выбран фреймворк «Ktor». Выбор был сделан за счет совместимости с основным языком разработки мобильного приложения.

Для реализации сервера была спроектирована диаграмма компонентов, представленная на рисунке 5.

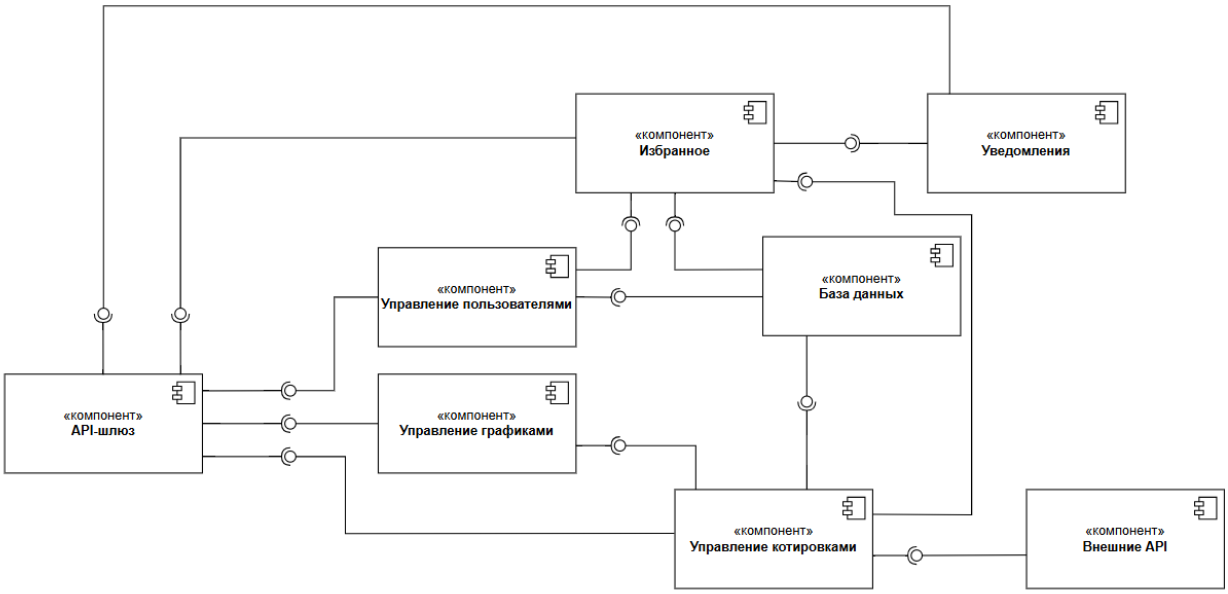
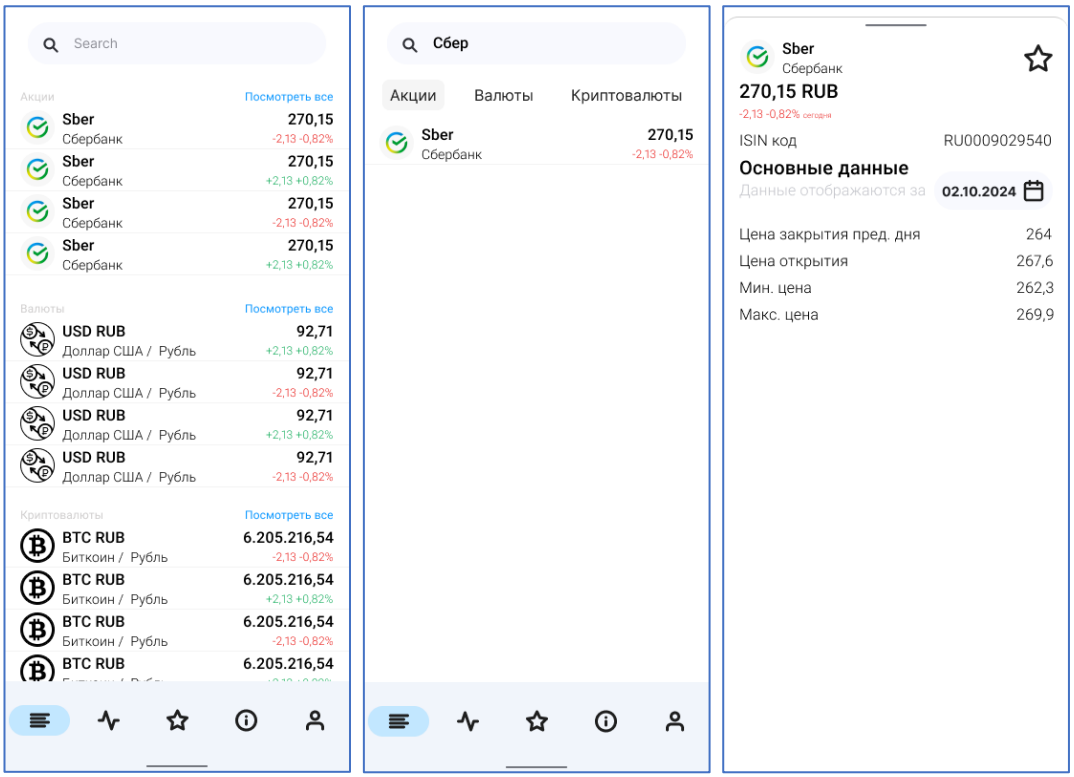


Рис. 5. Диаграмма компонентов приложения

Всего было выделено 8 компонентов. Компонент «Внешние API» позволяет получать данные о котировках финансовых активов. Компонент «Управление котировками» обрабатывает данные о котировках, а также реализует добавление, обновление и получение данных о котировках в базе данных. Компонент «Управление графиками» получает данные о котировках и на их основании строит графики движения цен и индикаторов. Также в данном модуле осуществляется поиск фигур технического анализа. Компонент «Управление пользователями» производит регистрацию, авторизацию, смену паролей и прочие действия, связанные с аккаунтами пользователей. Компонент «Избранное» добавляет и удаляет активы из избранного и изменяет соответствующие данные в базе данных. Компонент «Уведомления» реализует генерацию и отправку уведомлений пользователям. Компонент «База данных» обеспечивает хранение информации. Компонент «API-шлюз» осуществляет взаимодействие между сервером и мобильным приложением.

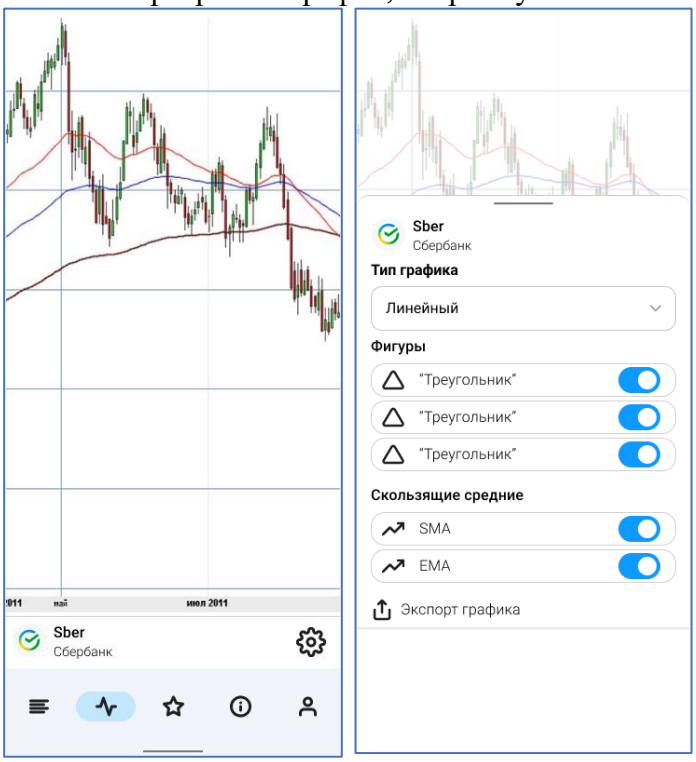
Мобильное приложение имеет 5 основных экранов. На первом экране отображаются текущие котировки различных активов (рисунок 6, а). На данном экране можно осуществить поиск нужного актива (рисунок 6, б). При нажатии на любой актив открывается подробная информация о нем (рисунок 6, в).



а) *б)* *в)*

Рис. 6. Экраны с активами

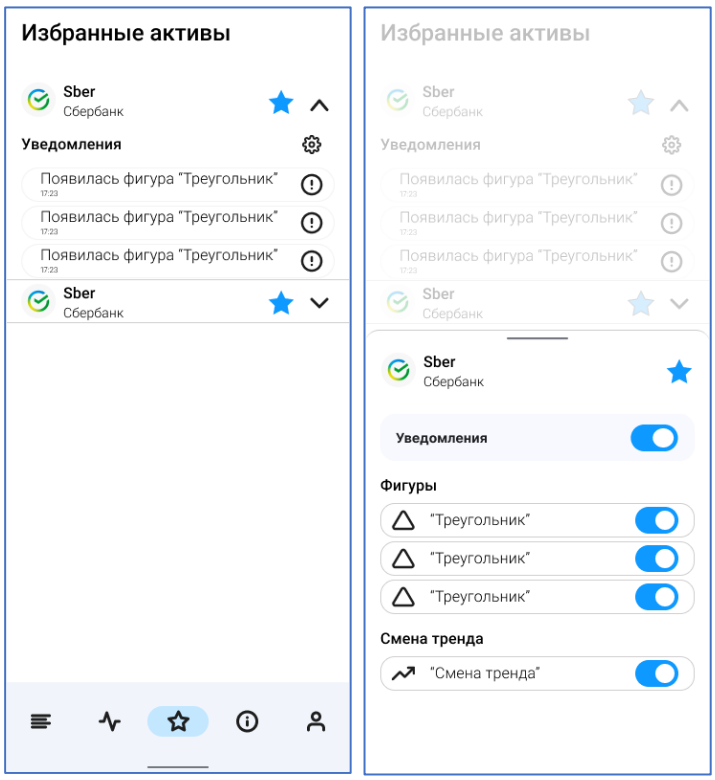
Второй экран отображает график движения цен на заданный актив (рисунок 7, а). При нажатии на кнопку настроек, можно добавить фигуры или индикаторы на график цены (рисунок 7, б). Также можно экспортировать график, выбрав нужный тип экспортируемого файла.



а) *б)*

Рис. 7. Экраны с графиком

На третьем экране отображены избранные активы (рисунок 8, а). Каждый актив можно развернуть, чтобы посмотреть последние уведомления. При нажатии на кнопку настроек, откроются настройки уведомлений для активов (рисунок 8, б).



а) *б)*

Рис. 8. Экраны с избранным

Заключение

В результате выполнения работы была рассмотрена предметная область, спроектирована и реализована информационная система для технического анализа, состоящая из сервера и мобильного приложения.

На этапе рассмотрения предметной области были изучены основные понятия, виды графиков и инструменты технического анализа.

В процессе проектирования были определены основные сценарии работы мобильного приложения, спроектирована диаграмма компонентов для серверной части, а также созданы макеты пользовательского интерфейса.

На основе чего были созданы сервер и мобильное приложение, которое позволяет трейдерам и инвесторам оптимизировать свою работу и принимать более обоснованные решения на основании обработанных данных.

Список использованных источников

1. Московская Биржа – Новости и пресс-релизы Московской биржи [Электронный ресурс]. – URL: moex.com/n76900 (дата обращения 27.03.2025).

2. Технический анализ: что это, фигуры, основы и суть | РБК Инвестиции [Электронный ресурс]. – URL: rbc.ru/quote/news/training/5eccfb359a794725e25bd3c5 (дата обращения: 17.12.2024).

3. What Is Technical Analysis in Trading? | Definition & Examples [Электронный ресурс]. – URL: finbold.com/guide/technical-analysis/ (дата обращения: 17.12.2024).

4. Android vs iOS Market Share: Most Popular Mobile OS in 2024 [Электронный ресурс]. – URL: mobiloud.com/blog/android-vs-ios-market-share (дата обращения: 17.12.2024).

Секция 6. Анализ данных и машинное обучение

СХЕМА ОЦЕНИВАНИЯ ВКЛАДА РАЗЛИЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ КОМПОНЕНТ В ОСЛАБЛЕНИЕ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ОБЛАКОМ

Алейник А.А.[1] Шефер О.В.[2, 3]
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, студент гр. 8В23, e-mail: aaa205@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, доцент, e-mail: shefer@tpu.ru
[3]Томский государственный университет, ИПМКН, профессор, e-mail: shefer-ol@mail.ru

Аннотация

Получено аналитическое выражение для коэффициента ослабления лучистой энергии с учетом распределения частиц по размерам. В формуле выделяются отдельные множители, представляющие фактор ослабления и модифицированную среднюю площадь тени рассеивателя. Предложена схема для качественной оценки вклада различных компонент среды в общее ослабление излучения кристаллическим облаком.

Ключевые слова: ослабление, лучистая энергия, полидисперсная среда, схема оценки

Введение

Кристаллические облака распространены над большей частью поверхности Земли. Эти атмосферные образования могут обеспечивать как парниковый эффект, так и выхолаживание атмосферы. Исследованию ослабления электромагнитного излучения ледяными облаками во всем мире уделяется большое внимание [1−3]. Эта оптическая характеристика является значимой в изучении радиационного баланса атмосферы, распространения излучения, погодообразующих процессах, в построении моделей локального и глобального климата, а также при исследовании аэродисперсных сред оптическими методами [4, 5].

В состав кристаллических облаков входит большое разнообразие частиц различных по форме, размерам и ориентации в пространстве. К настоящему времени для хаотически ориентированных частиц большой объем результатов научного исследования по ослаблению излучения представлен в научной литературе [6, 7]. Демонстрируется, что фактор ослабления может отличаться от своего асимптотического значения, равного 2. Частицы, соизмеримые с длиной волны падающего излучения, и крупные преимущественно ориентированные пластинчатые кристаллы могут обеспечивать значения фактора экстинкции из наибольшего промежутка от 0 до 4 [8, 9].

В природных условиях в состав ледяных облаков могут входить различные виды частиц [1, 2, 10]. При этом на характеристики ослабления может влиять преимущественно одна из составляющих среды. А также, возможно, что сразу несколько компонент облака обеспечивают соизмеримый вклад в экстинкцию. Результаты численного эксперимента, касающиеся этой проблемы, практически отсутствуют в научной литературе.

В настоящей работе предлагается схема для качественной сравнительной оценки вклада различных составляющих кристаллического облака в ослабление лучистой энергии.

Формализм

Рассмотрим среду, в состав которой входят различные частицы. Компонентами среды являются рассеиватели различных фракций и форм. Общий коэффициент ослабления определяется [1] как

$$\alpha_{\text{ext}} = \sum_{i=1}^{m} \alpha_{\text{ext}}^{i}, \qquad (1)$$

где α_{ext}^{i} − коэффициент ослабления излучения частицами определенного вида. Каждый вид имеет отличительные свойства по физико-химическим свойствам, по форме или по характеру ориентации. Здесь m есть количество видов различных компонент.

Для расчета коэффициента ослабления (α_{ext}) и фактора ослабления (Q_{ext}) дисперсным компонентом воспользуемся следующими соотношениями:

$$\alpha_{ext} = \int_{a_{min}}^{a_{max}} S_{ext} \cdot N(a)da\,, \tag{2.1}$$

$$\overline{S}_{sq} = \int_{a_{min}}^{a_{max}} S_{sq} \cdot N(a)da\,, \tag{2.2}$$

$$Q_{ext} = \alpha_{ext} / \overline{S}_{sq}\,, \tag{2.3}$$

где $\overline{S}_{sq}$ – усредненная площадь тени для ансамбля частиц, S_{sq}– площадь тени частицы, S_{ext}– сечение ослабления, a– определяющий размер частицы (в частности, для сферы или пластинки– это радиус), a_{min}– минимальный и a_{max}– максимальный размеры частиц, рассматриваемого объема.

Согласно многочисленным натурным исследованиям ледяных облаков, модифицированное гамма-распределение:

$$N(a) = C\frac{\mu^{\mu+1}}{G(\mu+1)} \cdot \frac{1}{a_m} \cdot \left(\frac{a}{a_m}\right)^{\mu} \exp\left(\frac{-\mu a}{a_m}\right) \tag{3}$$

вполне удовлетворительно описывает распределение размеров совокупности облачных кристаллов [1]. Соотношение (3) включает в себя следующие параметры: C– концентрация частиц, a_m – размер частицы (например, радиус пластинки), соответствующий максимуму функции N(a). Для модифицированного гамма-распределения (3) средний размер $\overline{a}$ частиц рассчитывается как $\overline{a} = a_m(1+1/\mu)$. μ– безразмерный параметр, характеризующий крутизну склонов $N(a)$ максимума (характеристика разброса частиц по размерам). В частности, для модального размера $a_m = 50$ мкм и разных значений μ в таблице представлены статистические характеристики ($\overline{a}$ − среднее значение, $D(a)$− дисперсия, $\sigma(a)$− среднеквадратическое отклонение).

Таблица 1. Статистические характеристики для модифицированного гамма-распределения при $a_m = 50$ мкм

μ	**$\overline{a}$, мкм**	**D(a), мкм^2**	**σ(a), мкм**
1	100	5000	70,7
2	75	1875	43,3
3	66,7	1111	33,3
4	62,5	781,3	28
5	60	600	24,5
6	58,3	486, 1	22,1
10	55	275	16,6
20	52,5	131,3	11,5
30	51,7	86,1	9,3
40	51,3	64,1	8
50	51	51	7,1

В природе наиболее редко встречаются случаи, которые могли бы быть представлены для случаев μ, превышающие величину 30. Из таблицы видно, что для μ > 30 величина дисперсия не многим отличается от дисперсии при μ = 40.

Обсуждение результатов исследования

Для представления энергетической характеристики ослабления, как правило, рассматривают коэффициент ослабления (αext). Для удобства оценки αext (3.3), на основе данных фактора ослабления и средней площади тени частиц представим αext = Qext·Sm, где Sm– модификация средней площади тени частиц. Здесь Sm = л-1· $\bar{S}_{sq^*}$, $\bar{S}_{sq^*}$ – средняя площадь тени частиц (3.2), но без учета концентрации в единице объема. Тогда концентрацию представим, как С = к л-1, к– безразмерная величина (С = к · л - 1 = С′ при к = 1).

Заметим, что, в научной литературе, традиционно размерность коэффициента ослабления для кристаллических облаков представляют в км-1, размеры частиц– в мкм и концентрацию частиц– в л-1 [1, 4, 10, 11]. По этой причине, именно в этих единицах измерения демонстрируются соответствующие входные для расчета параметры и результаты расчета. Обратим внимание на согласование размерности при расчете коэффициента ослабления, который представлен в виде сомножителей αext=Qext·Sm·к (или αext = Qext · $\bar{S}_{sq^*}$ С′ · к). Размерность αext– обратная мера длины (здесь км-1), размерность $\bar{S}_{sq^*}$ – мера площади (здесь мкм^2), размерность С – обратный объем (здесь л-1), Qext– безразмерная величина. Очевидно, при расчете αext следует согласовать соответствующие размерности входных параметров.

На рис. 1 демонстрируется зависимость Sm($\bar{a}$) с учетом концентрации пластинок С = 1 л-1. Размерность горизонтальной шкалы $\bar{a}$ в [мкм], размерность вертикальной шкалы Sm в [км-1] (из расчета: площадь /литр). Кривые 1–5 представляют зависимость Sm($\bar{a}$), рассчитанную с учетом функции распределения частиц по размерам. Кривые 4 и 5 слабо различаются. Из рисунка видно, что чем больше дисперсия размеров частиц (μ→1), тем выше значения Sm. Для расчета коэффициента ослабления нужно умножить значение фактора ослабления на соответствующую величину Sm (принимая во внимание значения $\bar{a}$ и μ). Кроме того, нужно учесть концентрацию частиц, величина которой имеет размерность [л-1], тогда на выходе размерность коэффициента ослабления будет в [км$^{-1}$]. Например, $\bar{a}$ =50 мкм, μ = 2, S_m = 0.1 км$^{-1}$ (см. рис. 1). Если Q_{ext} = 2, C = к л$^{-1}$=5 л$^{-1}$ (при к = 5), тогда $\alpha_{ext} = S_m \cdot Q_{ext} \cdot к$ = 0.1 км$^{-1}$ · 2 · 5 = 1 км$^{-1}$.

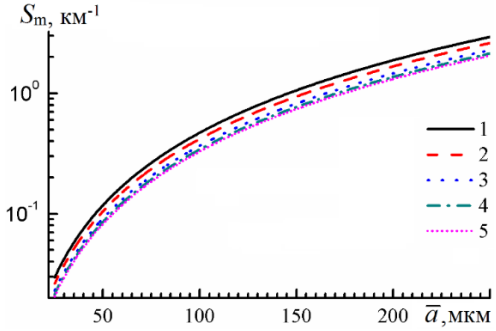


Рис. 1. Модифицированная средняя площадь тени рассеивателя в зависимости от $\bar{a}$ *среднего размера частиц. 1– μ = 1, 2– μ = 2, 3– μ = 5, 4– μ = 10, 5– μ = 20*

Напомним, что фактор ослабления для отдельной пластинки может меняться в пределах от 0 до 4. Для системы преимущественно ориентированных пластинок, после усреднения по размерам, фактор ослабления, как правило, принимает значения не ниже 0.1 и не выше 3.9. Тогда легко провести качественную оценку интервала возможных значений коэффициента ослабления. Нижняя граница составляет: α_{ext} = 0.1·S_m·к (при Q_{ext} = 0.1), верхняя граница: α_{ext} = 3.9·S_m·к (при Q_{ext} = 3.9).

Итак, предлагается следующая схема оценивания микрофизических параметров атмосферных ледяных частиц. Коэффициент ослабления излучения (αext(λ)) представляется в виде сомножителей фактора ослабления (Qext), средней площади тени частиц (без учета

концентрации, т. е. $\overline{S}_{sq*} = \int_{a_{min}}^{a_{max}} S_{sq} \cdot f(a)da$) и концентрации частиц в единице объема (С). Кроме того, для удобства оценивания коэффициента ослабления (измеренного в км-1), когда рассматривается размер частиц в мкм и концентрация в л-1, приемлемо ввести концентрацию как С = С′·к. Здесь к безразмерный параметр, соответствующей любому значению С с размерностью [л-1]. Напомним, что αext(λ) линейно зависит от С. Приведение величины $\overline{S}_{sq*}$ к величине Sm состоит в учете размерностей всех величин входных параметров, чтобы размерность Sm была в км-1 (как у αext(λ)). Тогда, оценивая значения S_m (при необходимости умножая на к), легко провести сравнительный качественный анализ (без учета фактора ослабления) величин ослабления излучения дисперсными компонентами, различными по микрофизическим свойствам. Если абсолютная разница соответствующих величин Sm составляет менее одного порядка, то для дальнейшего анализа следует учитывать тонкую структуру фактора ослабления.

Следует отметить, что модифицированная величина Sm главным образом зависит от средних размеров кристаллов и слабо зависит от дисперсии размеров (или параметра μ). Величина $C \cdot \overline{S}_{sq*} = \kappa \cdot S_m$ легко определяется на промежутке длин волн, где из αext(λ) = const, учитывая, что Qext = 2. Но если известна концентрация частиц в единице объема, то элементарно определить Sm. Величины $\bar{a}$ и μ (также фактор формы частиц для пластинчатых кристаллов) могут быть определены по особенностям спектрального хода Qext(λ). Оценив $\bar{a}$ и μ, величины к и Sm могут быть скорректированы (при неизвестной концентрации).

На основе результатов расчета Sm, полученных на основе интегрального представления средней площади тени рассеивателя (рис. 1 и формула (2.2)), получим соответствующие аналитические выражения при разных значениях μ. В этом случае линии регрессии вида y = k·xt являются наиболее приемлемыми для представления зависимости $S_m(\bar{a})$. Установлено, что при t ≈ 2 отклонение составляет не более 10^{-5}, а k принимает значения из интервала от $3.4 \cdot 10^{-5}$ до $4.7 \cdot 10^{-5}$ с изменением μ от 20 до 1. В этом случае регрессионные линии $S_M(\bar{a})$ представляют соответствующие численно полученные зависимости $Sm(\bar{a})$ с достоверностью R2 ≈ 1 (с отклонением значений коэффициента детерминации R2 не более 10^{-8}).

На рис. 2 иллюстрируется линия тренда kM(μ) = 4.624·10-5·μ-0.1373 при R2 ≈ 0.99, полученная для коэффициента km(μ) (km = km(Sm)). Тогда на основе корреляционных представлений аналитическое выражение для средней площади тени рассеивателя запишем как

$$S_M(\bar{a}, \mu) = 4.624 \cdot 10^{-5} \cdot \mu^{-0.1373} \cdot \bar{a}^{\,2}. \quad (4)$$

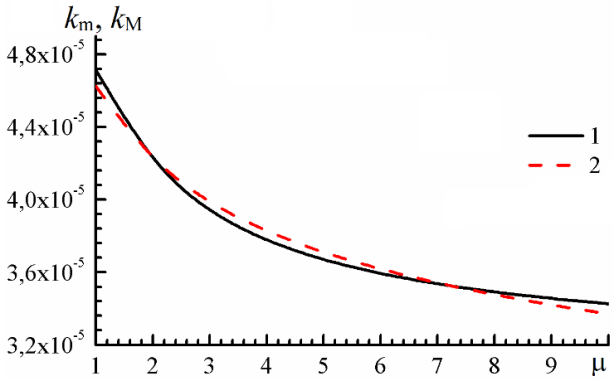


Рис. 2. Коэффициенты k_m и k_M для модифицированной площади тени рассеивателя и соответствующей регрессионной зависимости, полученные при разных значениях μ и на основе: 1– $S_m(\bar{a}, \mu)$, 2– $S_M(\bar{a}, \mu)$

На рис. 3 демонстрируется относительная ошибка (Δ=abs($S_m - S_M$)/S_m), рассчитанная при условии что приближенной величиной является корреляционная зависимость $S_M(\bar{a}, \mu)$ (4), а в качестве точной величины рассматривается модифицированная площадь тени рассеивателя $S_m(\bar{a}, \mu)$, рассчитанная на основе интегрального представления (2.2). Из рисунка видно, что относительная ошибка $\Delta(\bar{a})$ составляет менее 2% при разных значениях μ.

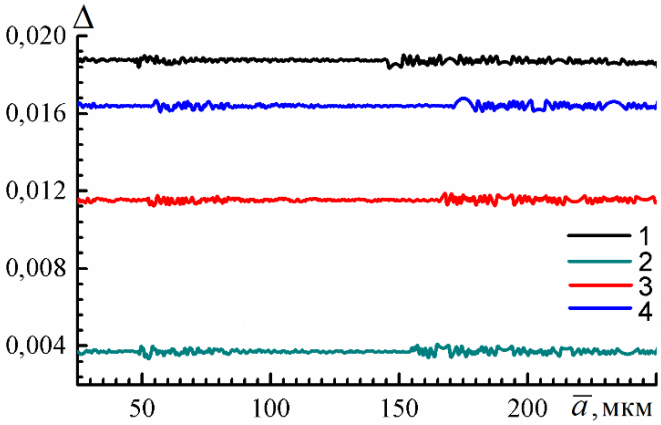


Рис. 3. Относительная ошибка $\Delta = abs(S_m - S_M) / S_m$, для разных μ: 1 – μ = 1, 2 –μ = 2, 3 – μ = 5, 4 – μ = 10

Полученное выражение (4) позволяет элементарно и с высокой точностью рассчитать значение $SM(\bar{a}, \mu)$. Оно позволяет оперативно качественно оценить вклад в ослабление различных составляющих дисперсной среды с учетом их средних размеров и характеристики μ (или дисперсии). Выражение для коэффициента ослабления, принимая во внимание выражение (4), представляется как $\alpha ext = Qext \cdot SM(\bar{a}, \mu)$.

Из рис. 1 видно, что на значения $SM(\bar{a}, \mu)$ преимущественно влияет размер частицы. Как отмечалось выше, характеристика разброса частиц по размерам в меньшей мере оказывает воздействие на величину SM. Следует отметить, что в научной литературе при анализе ослабления лучистой энергии кристаллическим облаком практически не рассматривают влияние параметра μ. Проведем оценку учета разброса частиц по размерам при определении характеристики ослабления $SM(\bar{a}, \mu)$ (или $Sm(\bar{a}, \mu)$).

На рис. 4 показаны значения относительной ошибки, рассчитанной как $\Delta = abs(S_{точн} - S_{прибл}) / S_{точн}$.

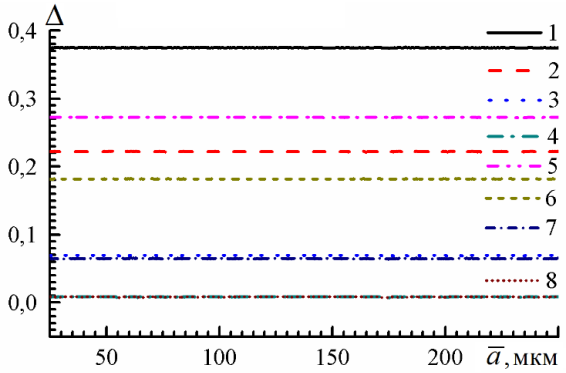


Рис. 4. Относительная ошибка $\Delta = abs(S_{точн} - S_{прибл}) / S_{точн}$ для разных μ: 1 – $S_{точн} = S_M$ при μ = 10, $S_{прибл} = S_M$ при μ = 1, 2 – $S_{точн} = S_M$ при μ = 10, $S_{прибл} = S_M$ при μ = 2, 3 – $S_{точн} = S_M$ при μ = 10, $S_{прибл} = S_M$ при μ = 5, 4 – $S_{точн} = S_M$ при μ = 10, $S_{прибл} = S_M$ при μ = 9, 5 – $S_{точн} = S_M$ при μ = 1, $S_{прибл} = S_M$ при μ = 10, 6 – $S_{точн} = S_M$ при μ = 2, $S_{прибл} = S_M$ при μ = 10, 7 – $S_{точн} = S_M$ при μ = 5, $S_{прибл} = S_M$ при μ = 10, 8 – $S_{точн} = S_M$ при μ = 9, $S_{прибл} = S_M$ при μ =10.

Линии 1−4 демонстрируют Δ при точном значении $S_M(\bar{a}, \mu)$ для $\mu = 10$, при этом рассматриваются случаи (приближенные), когда $\mu = \{1, 2, 5, 9\}$. Линии 5−8 демонстрируют обратную ситуацию, когда приближенным является $S_M(\bar{a}, \mu)$ $\mu = 10$, а точными являются случаи $\mu = \{1, 2, 5, 9\}$. При любых вариантах, рассмотренных на рис. 2, величина $\Delta(\bar{a}) \approx \text{const}$ (изменяется не более чем на $0.5 \cdot 10^{-4}$). Из рисунка видно, что не учёт параметра μ может привести к возникновению относительной ошибки почти 40%.

Заключение

В работе выражение для коэффициента ослабления представлено в виде произведения фактора ослабления и модифицированной средней площади тени рассеивателя. На основе корреляционного анализа для модифицированной характеристики получено простое аналитическое выражение, позволяющее с высокой точностью оценить влияние на нее параметров распределения частиц по размерам. Представленное выражение позволяет проводить качественную (с точность до значения фактора ослабления) сравнительную оценку вклада различных компонент среды в общее ослабление оптического излучения кристаллическим облаком. Предложенная схема обеспечивает выделение доминирующего влияния того или иного вида рассеивателей на ослабление излучения. Такой подход позволит значительно упростить процесс количественной оценки экстинкции для многокомпонентной аэродисперсной среды.

Список использованных источников

1. Волковицкий О.А., Павлова Л.Н., Петрушин А.Г. Оптические свойства кристаллических облаков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 200 с.
2. Mishchenko M.I., Travis L.D., Lacis A.A., editors. Scattering, absorption, and emission of light by small particles. Cambridge U. Press; 2002. – 486 p.
3. IPCC. The physical science basis: contribution of working group 1 to the fifth assessment report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. – 1552 p.
4. Platt C.M.R., Abshire N.L., McNice G.T. Some microphysical properties of an ice cloud from lidar observation of horizontally oriented crystals // Appl. Meteorol. – 1978. – V. 17. – C. 1220-1224.
5. Noel V., Sassen K. Study of planar ice crystal orientations in ice clouds from sacking polarization lidar observations // J. Appl. Met. – 2005. – V. 44. – C. 653–664.
6. Moosmüller H., Sorensen C.M. Small and large particle limits of single scattering albedo for homogeneous, spherical particles // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 2018. – V. 204. – C. 250-255.
7. Baum B., Yang P., Heymsfield A., Bansemer A., Cole B., Merrelli A., Schmitt S., Wang C. Ice cloud single-scattering property models with the full phase matrix at wavelengths from 0.2 to 100 μm // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.– 2014.– V. 146. – C. 123–139.
8. Yang P., Wendish M., Bi L., Kattawar G., Mischenko M., Hu Y. Dependence of extinction cross-section on incident polarization state and particle orientation // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. – 2011. – V. 112. – C. 2035–2039.
9. Shefer O. Extinction of radiant energy by large atmospheric crystals with different shapes // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 2016. – V. 178. – C. 350–360.
10. McFarlane S.A., Marchand R.T. Analysis of ice crystal habits derived from MISR and MODIS observations over the ARM Southern Great Plains site // J. Geophys. Res. – 2008. – V. 113. – D07209.
11. Fu Q., Yang P., Sun W.B. An accurate parameterization of the infrared radiative properties of cirrus clouds for climate models // Journal of Climate. – 1998. – V. 11. – C. 2223–2237.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ОБЛАКА

Алейник А.А.[1] Шефер О.В.[2, 3]
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, студент гр. 8В23, e-mail: aaa205@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, доцент, e-mail: shefer@tpu.ru
[3]Томский государственный университет, ИПМКН, профессор, e-mail: shefer-ol@mail.ru

Аннотация

Продемонстрированы особенности ослабления оптического излучения, обеспечиваемые средними размерами и дисперсией размеров ансамбля пластинчатых кристаллов. Установлены регрессионные кривые, с высокой точностью представляющие спектральный ход фактора ослабления в области окна прозрачности среднего ИК диапазона. Полученные зависимости в виде парабол позволяют в реальном масштабе времени оценивать средние размеры рассеивателей.

Ключевые слова: ледяное облако, ослабление, оптическое излучение, регрессия

Введение

Знание процесса ослабления оптического (в широком смысле слова) излучения кристаллическими облаками играет важное значение в понимании распространения излучения в атмосфере, определении радиационного баланса, а также прогнозирования погоды. Однако роль в этом ледяных облаков является одной из самых мало изученных [1–3]. Исследование влияния физико-химических свойств частиц на прохождение излучения имеет первостепенное значение для понимания воздействия ледяных облаков на трансформацию радиационных потоков.

Облачные кристаллы имеют огромное разнообразие форм и размеров, а также природу вещества. К настоящему времени большой объем результатов научного исследования по ослаблению лучистой энергии хаотически ориентированными частицами широко представлен в литературе и базах данных [4−6]. Особенности экстинкции для преимущественно ориентированных кристаллов, представляются главным образом отдельными частицами. Вопрос влияния ансамбля частиц на ослабление оптического излучения слабо изучен. На разных спектральных интервалах в зависимости от физико-химических свойств среды особенности экстинкции могут сильно разниться. С точки зрения спектральной зависимости ослабления лучистой энергии представляют интерес частицы, соизмеримые с длиной волны падающего излучения, а также крупные преимущественно ориентированные кристаллы, имеющие плоскопараллельные грани. Для таких рассеивателей фактор ослабления может принимать значения, отличающиеся от их асимптотической величины, равной 2 [7]. Среди облачных кристаллов выделяются пластинки, для них фактор ослабления принимает значения из наибольшего промежутка, от 0 до 4. Увеличение количества пар плоскопараллельных граней сужают этот интервал. В силу своих аэродинамических свойств, эти кристаллы характеризуются самой устойчивой ориентацией (относительно любых других форм кристаллов) в пространстве. Кроме того, они входят в состав почти всех смешанных и ледяных облаков. Не редко их процентный состав преобладает над другими формами частиц [8]. Устойчивые и наиболее ярко выраженное особенности экстинкции, обеспечиваемые крупными преимущественно ориентированными пластинками, зачастую доминируют над частицами других форм.

В данной работе представлены особенности ослабления оптического излучения (от видимого до среднего ИК диапазона) для ансамбля горизонтально ориентированных кристаллов с различными микрофизическими свойствами. Для численного исследования характеристик ослабления требуется существенное количество вычислительных ресурсов. На основе результатов расчета базовой характеристики ослабления, фактора ослабления,

получены соответствующие регрессионные зависимости, позволяющие много (на порядки) упростить исследование и оценку микрофизических характеристик кристаллического облака.

Формализация

Для представления различных характеристик ослабления излучения фактор экстинкции является базовой характеристикой. Его интегральное представление следующее:

$$Q_{\text{ext}} = \frac{\int S_{\text{ext}} \cdot N(a)da}{\int S_{\text{sq}} \cdot N(a)da} \quad (1)$$

где S_{ext} – сечение ослабления, S_{sq} – площадь тени частицы, a – определяющий размер частицы (для пластинки – это радиус). Для атмосферных кристаллов существует функциональная взаимосвязь $d = d(a)$ между ее толщиной (d) и радиусом (a) [4]. В частности, для пластинок установлено такое соотношение:

$$d = 2.020 \cdot (2 \cdot a)^{0.449}. \quad (2)$$

Согласно многочисленным натурным исследованиям микроструктуры ледяных облаков выявлено, что модифицированное гамма-распределение:

$$N(a) = C \frac{\mu^{\mu+1}}{G(\mu+1)} \cdot \frac{1}{a_{\text{m}}} \cdot \left(\frac{a}{a_{\text{m}}} \right)^{\mu} \exp\left(\frac{-\mu a}{a_{\text{m}}} \right) \quad (3)$$

вполне удовлетворительно описывает распределение размеров совокупности облачных кристаллов [4]. Здесь C – концентрация частиц, a_m – размер частицы (например, радиус пластинки), соответствующий максимуму функции $N(a)$, μ– безразмерный параметр, характеризующий крутизну склонов данного максимума (характеристика дисперсии размеров частиц). Для модифицированного гамма-распределения (3) средний размер $\bar{a}$ частиц рассчитывается как $\bar{a} = a_m(1 + 1 / \mu)$.

Основой для определения фактора ослабления Q_{ext} является расчет сечения ослабления S_{ext} для отдельной частицы. Величина S_{ext} зависит от размеров частицы, оптических свойств частицы (показатель преломления $\eta = n + i \cdot \chi$), где $n = \text{Re}(\eta)$ и $\chi = \text{Im}(\eta)$) и характеристик излучения (длина волны, состояние поляризации, направление распространения), взаимодействующего с частицей. Для расчета фактора ослабления оптического излучения крупным пластинчатым кристаллом применялся метод физической оптики [9].

Анализ результатов расчета

Проанализируем общие закономерности спектрального хода фактора ослабления излучения кристаллическим облаком при учете различных микрофизических свойств рассеивателей. Это позволит качественно выявить информативность оптической характеристики среды с определенными микрофизическими параметрами.

Пусть лучистая энергия проходит через полидисперсную среду, в которой доминантой в ослаблении оптического излучения являются горизонтально ориентированные ледяные пластинчатые кристаллы. В этой работе понятие «оптический диапазон» рассматривается в широком смысле этого слова и для определенности выбран интервал длин волн от 0.5 мкм до 15 мкм. Оптические свойства ледяных кристаллов представляются зависимостью комплексного показателя преломления $\eta(\lambda)$ для чистого льда [10].

На рис. 1 демонстрируется зависимость фактора ослабления для ансамбля горизонтально ориентированных крупных пластинок при различных значениях характеристики разброса частиц по размерам (μ). Микрофизическая характеристика полидисперсной среды, представляемая $\mu = 1$, обеспечивает плотность вероятности $N(a)$ (3) близкой к равномерному распределению, что в природе кристаллических облаков является редким явлением. Наиболее вероятно встречаются случаи с выраженным максимумом, характеризуемые величинами

$\mu \geq 2$. Из рис. 1 видно, что на разных интервалах длин волн, спектральный ход $Q_{ext}(\lambda)$ имеет свои особенности при изменении параметра μ. Наиболее существенные различия фактора ослабления с изменением значений дисперсии размеров кристаллов наблюдаются в первой зоне проявления эффекта Христиансена [11] ($\lambda \approx 2.85$ мкм), а также в диапазонах λ примерно от 3.5 до 6 мкм и от 8 до 9.6 мкм. Следует заметить, что в интервале λ от 9.6 мкм до 12 мкм различий $Q_{ext}(\lambda)$ при вариаций значений μ практически не наблюдается. В этом диапазоне наибольшее различие $Q_{ext}(\lambda)$ (а это $abs(Q_{ext}(\mu = 1) - Q_{ext}(\mu = 10)$ при $\lambda \approx 10.6$ мкм составляет 0.14. Для сравнения, такая разность, но при $\mu = 5$ и $\mu = 10$, равна 0.02.

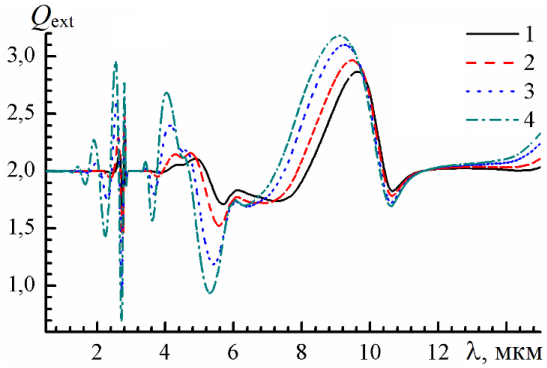


Рис. 1. Фактор ослабления $Q_{ext}(\lambda)$ для ансамбля ледяных пластинок при $\bar{a}$ =50 мкм: 1 – μ = 1, 2 – μ = 2, 3 – μ = 5, 4 – μ=10

На рис. 2, а и б демонстрируются значения относительной ошибки фактора ослабления Δ ($\Delta = abs(S_{точн} - S_{прибл}) / S_{точн}$) при различных условиях. Результаты расчета, иллюстрируемые на рис. 2 а, рассчитаны для случая, когда значения для $Q_{ext}(\lambda)$, полученные при μ=10, являются точными ($S_{точн}$), а

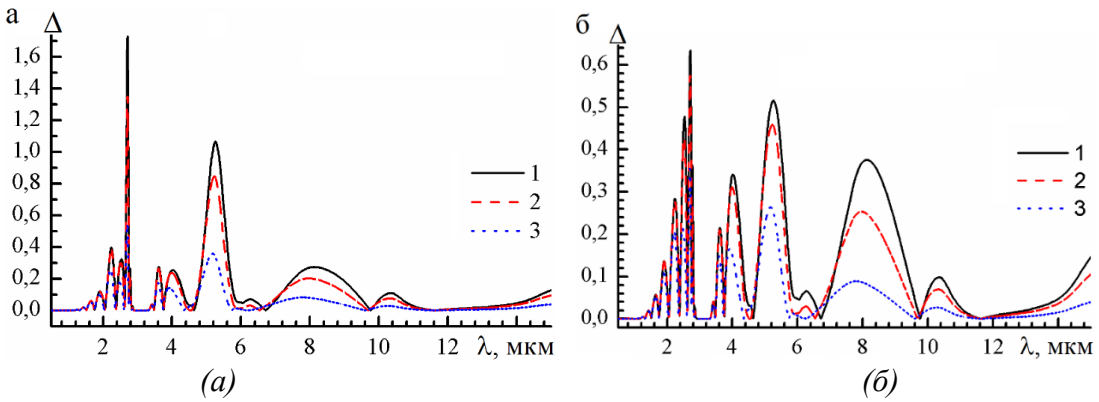


Рис. 2. Относительная ошибка $\Delta = abs(S_{точн} - S_{прибл})/S_{точн}$, для разных μ. (а) $S_{точн} = Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 10: 1 – $S_{прибл} = Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 1, 2 – $S_{прибл} = Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 2, 3 – $S_{прибл} = Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 5. (б) $S_{прибл} = Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 10: 1– $S_{точн} = Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 1, 2– $S_{точн} = Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 2, 3– $S_{точн} = Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 5

приближенными рассматриваются такие варианты: для μ = 1 (кривая 1), для μ = 2 (кривая 2) и для μ = 5 (кривая 3). На рис. 2, б показана обратная расстановка: $Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 10 – приближенная зависимость, а варианты точных расчетов– $Q_{ext}(\lambda)$ при μ=1 (кривая 1), $Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 2 (кривая 2), $Q_{ext}(\lambda)$ при μ = 5 (кривая 3). На рис. 2, а и б выделяются интервалы длин волн, где проявляются существенные ошибки, если не учитывать дисперсию размеров частиц. Обратим внимание на то, что характер спектрального хода $\Delta(\lambda)$, иллюстрируемый на рис. 2, а и б, одинаковый, но их величины максимумов разняться. Так же следует отметить, что на рис. 2 наблюдаются спектральные диапазоны, где влияние параметра μ на значения $Q_{ext}(\lambda)$

пренебрежимо мало. В частности, один из таких интервалов является область вблизи $\lambda \approx 9.8$ мкм. Очевидно, что не учет разброса частиц по размерам может привести к большим ошибкам и неправильной оценке характеристик ослабления.

Рассмотрим влияние среднего значения размера частиц на особенности фактора ослабления. На рис. 3 иллюстрируются результаты расчета фактора ослабления для ансамбля ледяных пластинок с различными средними размерами и $\mu = 10$. Вариации значений $\bar{a}$ приводят к проявлению ярко выраженных особенностей, отличных от особенностей, вызванных изменением параметра μ. Напомним, что радиус пластинки связан функциональной зависимостью с толщиной кристалла. Поле, прошедшее через кристалл, является чувствительным к этой микрофизической характеристики (меняется набег фаз), а значит меняет свои характеристики и ослабление лучистой энергии. Размеры частиц, по сравнению с дисперсией размеров, в большей мере влияют на вариации спектрального хода излучения. Выделим одну из особенностей поведения $Q_{ext}(\lambda)$ – это проявление ярко выраженного максимума на интервале λ от 8 до 10.6 мкм (рис. 4), который с увеличением $\bar{a}$ снижается и смещается по направлению увеличения длины волны.

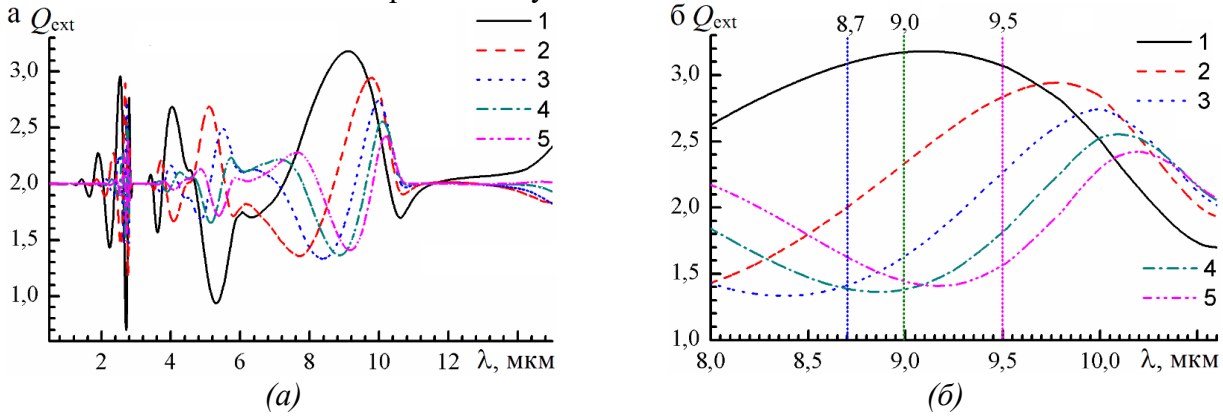


Рис. 3 а, б. Фактор ослабления $Q_{ext}(\lambda)$ для ансамбля ледяных пластинок, где $\mu = 10$: 1 – $\bar{a} = 50$ мкм, 2– $\bar{a} = 100$ мкм, 3– $\bar{a} = 150$ мкм, 4– $\bar{a} = 200$ мкм, 5– $\bar{a} = 250$ мкм. (а) λ = [0.5 мкм, 15 мкм]. (б) λ = [8 мкм, 10.6 мкм] с выделением (вертикальные линии) соответствующих спектральных областей, где $Q_{ext}(\lambda) \approx Q_R(\lambda)$.

Для зависимостей $Q_{ext}(\lambda)$, представленных кривыми 1–5 рис. 4, на интервале длин волн $[\lambda_1, \lambda_2]$ (интервалы отмечены на рисунке вертикальными линиями, а также указаны в таблице ниже) получены соответствующие регрессионные линии $Q_R(\lambda)$ с достоверностью не менее $R^2 \approx 0.99$ (R^2– коэффициент детерминации). Каждая $Q_R(\lambda)$ представляет собой параболу вида $y = Ax^2 + Bx + F = 0$ (или $y = A(x + B/2/A)^2 - (B/2/A)^2 + F$, $(x - x_0)^2 = 2p(y - y_0)$), где (x_0, y_0) – координаты вершины параболы), которая проста для анализа.

Таблица 1. Характеристики регрессионных зависимостей для фактора ослабления при $\mu = 10$

$\bar{a}$, мкм	λ_1, мкм	λ_2, мкм	$Q_R(\lambda) = A\lambda^2+B\lambda+F$
50	8	10.6	$-0.5933\cdot\lambda^2+10.781\cdot\lambda-45.796$
100	8	10.6	$-2.124\cdot\lambda^2+41.433\cdot\lambda-199.11$
150	8.7	10.6	$-2.2396\cdot\lambda^2+44.645\cdot\lambda-219.78$
200	9	10.6	$-2.801\cdot\lambda^2+56.648\cdot\lambda-283.87$
250	9.5	10.6	$-2.93\cdot\lambda^2+59.773\cdot\lambda-302.42$

Положение максимума $Q_R(\lambda)$ на интервале $[\lambda_1, \lambda_2]$ не трудно связать с соответствующим значением $\bar{a}$. Это, в свою очередь, позволяет определить величину среднего размера рассеивателя по данным $Q_{ext}(\lambda)$ в выделенном промежутке длин волн. Полученные уравнения можно привести к каноническому виду, тем самым явно выразить координаты вершины

параболы (которые соотносятся с вполне определенным значением $\bar{a}$). Для случая $\bar{a}$ = [50 мкм, 250 мкм], установлено, что максимумы $Q_R(\lambda)$ (или $Q(\lambda)$) располагаются вдоль параболы $Q_R(\lambda) = -0.879 \cdot \lambda^2 + 16.284 \cdot \lambda - 72.212$ с достоверностью $R^2 > 0.99$. Полученные регрессионные зависимости позволят получить простые в численной реализации интерпретационные схемы для оценивания средних значений пластинок.

Заключение

В работе продемонстрированы особенности зависимости фактора ослабления в диапазоне длин волн от 0.5 мкм до 15 мкм для совокупности горизонтально ориентированных ледяных пластинок. При этом приняты во внимание различные микрофизические параметры такие как средние размеры и разброс частиц по размерам. Продемонстрировано, на каких спектральных интервалах фактора ослабления учет дисперсии размеров значим (в частности, в первой зоне проявления эффекта Христиансена относительная ошибка может составлять более 100%), а где его влияние пренебрежимо мало (например, в области окна прозрачности вблизи длины волны равной примерно 9.8 мкм).

Проиллюстрирован спектральный ход фактора ослабления при различных средних размерах пластинок. Выделены интервалы длин волн, где проявляется наиболее яркая зависимость оптической характеристики среды, связанной с вариацией средних размеров рассеивателей. При этом особое внимание уделено области прозрачности из среднего ИК диапазона, где наблюдаются устойчивые и выразительные максимумы фактора ослабления, являющиеся уникальными для установления средних размеров кристаллов. Получены регрессионные кривые (в виде парабол), которые с высокой точностью (более 99%) представляют спектральный ход фактора ослабления в этой области. Установленные трендовые зависимости позволяют в реальном масштабе времени проводить анализ и оценку микрофизических характеристик облачных кристаллов.

Список использованных источников

1. Baran A.J. From the single-scattering properties of ice crystals to climate prediction: A way forward // Atmos. Res. − 2012. – V. 112. – C. 45-69.
2. IPCC. The physical science basis: contribution of working group 1 to the fifth assessment report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. – 1552 p.
3. Sorensen C.M., Maughan J.B., Moosmüller H. Spherical particle absorption over a broad range of imaginary refractive index // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 2019. – V. 226. – C. 81-86.
4. Волковицкий О.А., Павлова Л.Н., Петрушин А.Г. Оптические свойства кристаллических облаков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 200 с.
5. Moosmüller H., Sorensen C.M. Small and large particle limits of single scattering albedo for homogeneous, spherical particles // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 2018. – V. 204. – P. 250-255.
6. Baum B., Yang P., Heymsfield A., Bansemer A., Cole B., Merrelli A., Schmitt S., Wang C. Ice cloud single-scattering property models with the full phase matrix at wavelengths from 0.2 to 100 μm // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 2014. – V. 146. – C. 123-139.
7. Shefer O. Extinction of radiant energy by large atmospheric crystals with different shapes // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 2016. – V. 178. – C. 350-360.
8. Platt C.M.R., Abshire N.L., McNice G.T. Some microphysical properties of an ice cloud from lidar observation of horizontally oriented crystals // Appl. Meteorol. – 1978. – V. 17. – C. 1220-1224.
9. Popov A.A. New method for calculating the characteristics of light scattering by spatially oriented atmospheric crystals // Proc. SPIE. – 1996. – V. 2822. – C. 186-194.
10. Waren S.G., Brandt R.E. Optical constants of ice from the ultraviolet to the microwave: a revised compilation // Geophys. Res. – 2008. – V. 113. – D14220.
11. Yang P., Liou K.N. Extinction efficiency and single-scattering albedo for laboratory and natural cirrus clouds // J. Geophys. Resear. – 1997. – V. 102. – D18 21,825−21,835.

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО ПОРТФОЛИО СТУДЕНТА НА ОСНОВЕ БЛОКЧЕЙНА

Богорадникова Т.Г.[1], Родионов А.В.[2].
[1] ФГБОУ БГУ, г. Иркутск, аспирант гр. АСА-24 Кафедра математических методов и цифровых технологий, Институт культуры, социальных коммуникаций и информационных технологий, e-mail: 010868@bgu.ru
[2] ФГБОУ БГУ, г. Иркутск, к.т.н., доцент Кафедры математических методов и цифровых технологий, Институт культуры, социальных коммуникаций и информационных технологий e-mail: RodionovAV@bgu.ru

Аннотация

В докладе рассматриваются преимущества внедрения технологии распределенного реестра для создания системы хранения данных и формирования электронного портфолио студента/выпускника, уделяя особое внимание решению проблемы фальсификации документов об образовании. Внедрение такой системы позволит не только повысить безопасность, но и сократит затраты на проверку, улучшит доступность и упростит процессы обмена информацией между образовательными учреждениями, работодателями и выпускниками.

Ключевые слова: электронное портфолио, проверка подлинности документов об образовании, технология распределенного реестра, информационная система, защита данных, образовательные учреждения.

Введение

В настоящее время сфера образования в Российской Федерации (далее – РФ) претерпевает ряд изменений. Внедрение цифровых технологий является неотъемлемой частью совершенствования учебного процесса. На данный момент ведущие вузы РФ активно внедряют инновационные методы и технологии в образовательный процесс, совершенствуя при этом информационно-педагогическое и информационно-компьютерное взаимодействие студентов и преподавателей.

В 2018 году Правительство РФ утвердило государственную программу «Развитие образования», направленную на повышение доступности и улучшения качества образования. Одной из приоритетных целей программы является развитие цифровых сервисов и инструментов, которые не только бы обеспечивали доступность образовательных услуг, но гарантировали сохранность данных и прозрачность образовательного процесса в целом.

Однако при этом отсутствуют системы электронного хранения документов, свидетельствующих о прохождении обучения, повышения квалификации, которые позволяли бы не только получать оперативный доступ на ознакомление, но и на проверку подлинности. С каждым годом увеличивается количество случаев подделки документов не только об образовании в высших учебных заведениях, но и о прохождении курсов о повышении квалификации или профессиональной переподготовке. В связи с этим проблема фальсификации дипломов, сертификатов, а также удостоверений является самой серьезной проблемой, которая создает риски как для образовательных учреждений, так и для работодателей.

В настоящее время существует множество платформ для реализации электронных курсов, но при этом нет ни одной платформы, которая бы обеспечивала быстрый доступ к проверке подлинности, а также доступ и самих выпускников к своим данным об образовании. При этом в большинстве высших учебных заведений РФ отсутствуют электронные архивы, а вся информация хранится только в бумажном варианте. Внедрение систем на новых технологиях устранило бы проблему подделки документов об образовании.

В представленной работе разработана концептуальная модель информационной системы на технологии распределенного реестра (блокчейн), которая позволит организовать систему доступа и хранения документов.

Основная часть

Модель электронного портфолио студента представляет собой цифровой набор материалов, демонстрирующий достижения, навыки и опыт учащегося, включающий в себя:

− академическую успеваемость.

− научную и проектную деятельность.

− профессиональные сертификаты и дипломы.

− отзывы преподавателей.

− отзывы работодателей.

В настоящее время высшие учебные заведения РФ стремятся оптимизировать доступ к информации и повысить безопасность хранимых данных, поэтому оцифровывают бумажные архивы данных об обучении студентов, создавая электронные базы данных (далее – БД). Среди преимуществ электронного хранения документов об образовании можно выделить:

− удобство доступа, данные можно получить в любое время из любого места;

− экономия ресурсов, для электронных документов не нужно большого физического пространства для хранения, снижаются затраты на печать;

− устойчивость к воздействию, электронные документы менее подвержены физическому износу [5].

Однако, несмотря на очевидные достоинства электронного хранения документов об образовании, можно выделит ряд существенных недостатков:

− отсутствие единой полной базы данных по выпускникам. У каждого вуза своя БД и доступ к ней только у сотрудников вуза, если работодатель решит проверить информацию о соискателе на должность, то он должен подавать официальный запрос на получение такой информации и ожидать ответ в строго установленные сроки;

− отсутствие открытой базы данных о трудоустройстве выпускников и переходе их на другую работу не позволяют образовательным организациям оценивать эффективность их работы по своим программам и другие проблемы;

− данными управляют только сотрудники вуза, студент как непосредственный владелец этих данных не может ни контролировать, ни управлять, а иногда и не имеет доступа чтобы просмотреть эту информацию;

− риск внесения недостоверных данных, а также изготовления поддельных дипломов.

С 2013 года в РФ для проверки подлинности документов об образовании создана федеральная информационная система «Федеральный реестр сведений о документах об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении (далее – ФИС ФРДО), представляющий собой общефедеральную базу данных о выданных российскими образовательными учреждениями дипломах [4].

Получить данные из этого реестра возможно только после регистрации или через официальный запрос, помимо этого учебным учреждением не запрещено вести свои внутренние реестры, некоторые из них опубликованы в общем реестре, многие нет, также отсутствуют сведения о прохождении международных курсов. Следовательно, данные, содержащиеся в этих реестрах неполные, помимо этого существует человеческий фактор, т.е. риск внесения недостоверной или ошибочной информации, и при этом владелец информации не имеет возможности доступа и своевременного вмешательства для внесения корректировок, а работодатель не имеет возможности оперативно проверить данные о квалификации кандидатов.

Исходя из вышеперечисленного возникает проблема как во времени предоставлении данных, так и в обеспечении подтверждения достоверности содержащихся сведений.

Концептуальная модель электронного портфолио студента, реализуемая на основе технологии блокчейн, представляет собой децентрализованную систему хранения и управления цифровыми следами образовательной и профессиональной активности обучающегося. Такая система строится вокруг ключевого принципа: каждое событие, формирующее индивидуальный образовательный путь – будь то завершение дисциплины, защита дипломного проекта, получение внешнего сертификата или участие в конференции – интерпретируется как транзакция, подлежащая регистрации в блокчейне. Эти транзакции включают хэш цифрового документа, временную метку, метаданные события и криптографическую подпись организации, подтверждающей достоверность записи [1, 2].

Основу функционирования модели составляет цифровой профиль студента, в котором агрегируются все зарегистрированные события. Доступ к этому профилю реализуется через интерфейс, позволяющий студенту не только просматривать свои достижения, но и управлять правами доступа. Это достигается с помощью механизмов селективного разглашения данных: студент может предоставить временный доступ работодателю, представителю вуза или внешнему эксперту через токены или уникальные QR-коды, содержащие ссылки на необходимые данные. Таким образом, студент выступает полноправным владельцем своей цифровой идентичности и распределённого портфолио.

Для обеспечения доверия со стороны заинтересованных сторон каждое добавление записи требует цифрового подтверждения со стороны уполномоченного участника – преподавателя, руководителя практики или иного лица. Таким образом устраняется возможность произвольного редактирования или фальсификации данных. Связь с внутренними системами управления обучением (LMS), электронным документооборотом и внешними платформами обеспечивается через интеграционные интерфейсы, позволяющие включить данную модель в широкую цифровую образовательную экосистему [3].

С точки зрения юридической применимости предложенная модель предполагает хранение исключительно цифровых отпечатков документов (хэшей), в то время как сами документы могут находиться в распределённых или защищённых централизованных хранилищах. Это позволяет соблюсти требования законодательства о персональных данных и обеспечить гибкий режим доступа, ограничивающий возможность несанкционированного ознакомления с содержанием материалов.

Такой подход формирует устойчивую архитектуру доверия, где каждый участник образовательного процесса располагает техническими и организационными средствами для взаимодействия с данными, подтверждёнными верифицированными источниками и недоступными к изменению после их публикации в системе.

Внедрение блокчейн в образовании представляет собой многообещающую возможность для создания более безопасной, доступной и эффективной образовательной среды. Прежде чем перейти к применению технологии, важно понимать основные принципы работы.

Проанализировав данные можем сделать вывод об основных преимуществах технологии распределенного реестра в сфере образования:

− децентрализация, обеспечивает независимость системы;

− прозрачность, абсолютно все операции видны участникам, что делает процесс прозрачным и открытым;

− безопасность, криптографические методы обеспечивают устойчивость к взлому и фальсификации данных;

− наличие смарт-контракта позволит выполнять проверку подлинности образовательных документов (как дипломов, так и сертификатов о прохождении курсов);

− снижение затрат за счет ускорения процесса выполнения операций.

Таким образом создаваемая система в сфере образования должна удовлетворять ряд требований, таких как:

− защита от несанкционированного доступа и изменения данных;

– повышенная степень безопасности за счет использования средства в криптографии;
– минимизация влияния человеческого фактора;
– достоверность информации в системе;
– высокая скорость выполнения операций;
– единый ресурс, где будет храниться информация;
– прозрачность.

В рамках проекта предлагается создать унифицированную систему, которая будет хранить не только документы об образовании выпускников, но и позволит формировать цифровое портфолио учащегося, которое будет содержать всю информацию о его достижениях. Соответственно такой подход обеспечит как студентам, так и учебным заведениям возможность отслеживать прогресс каждого учащегося. Помимо этого, система будет содержать реестр выданных дипломов, доступ к которым будут иметь сотрудники вуза, выпускники, исполнительные органы власти, а также потенциальные работодатели. Это позволит оперативно проверять подлинность документов, исключая необходимость долгих проверок через образовательные учреждения. Схема унифицированной системы представлена на рисунке 1, интерфейс портфолио студента представлен на рисунках 2 и 3 (страницы персональных данных студента и обобщающая страница учебных достижений).

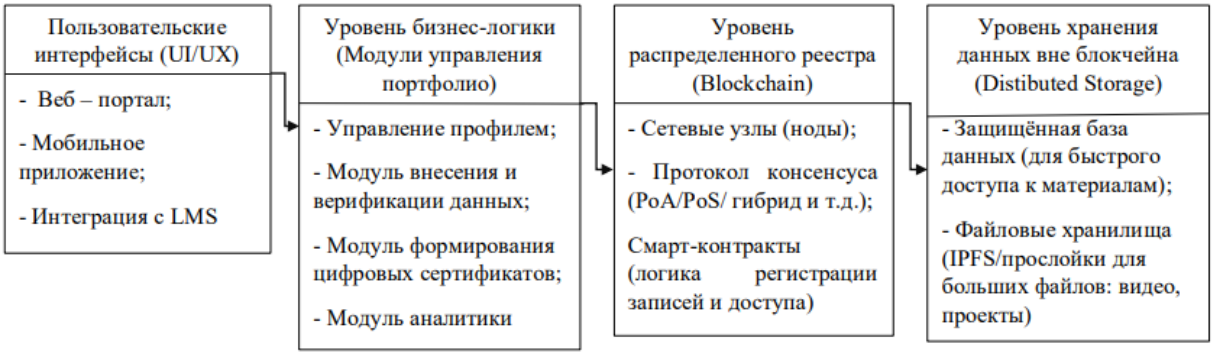


Рис. 1. Схема системы хранения документов, реализуемая на основе технологии блокчейн

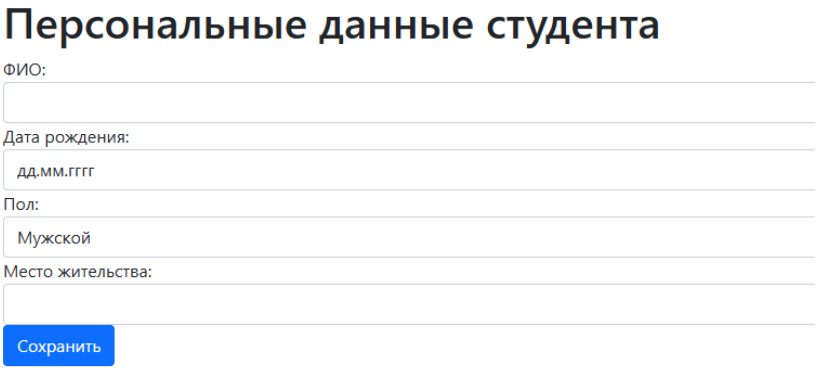


Рис. 2. Страница персональных данных студента

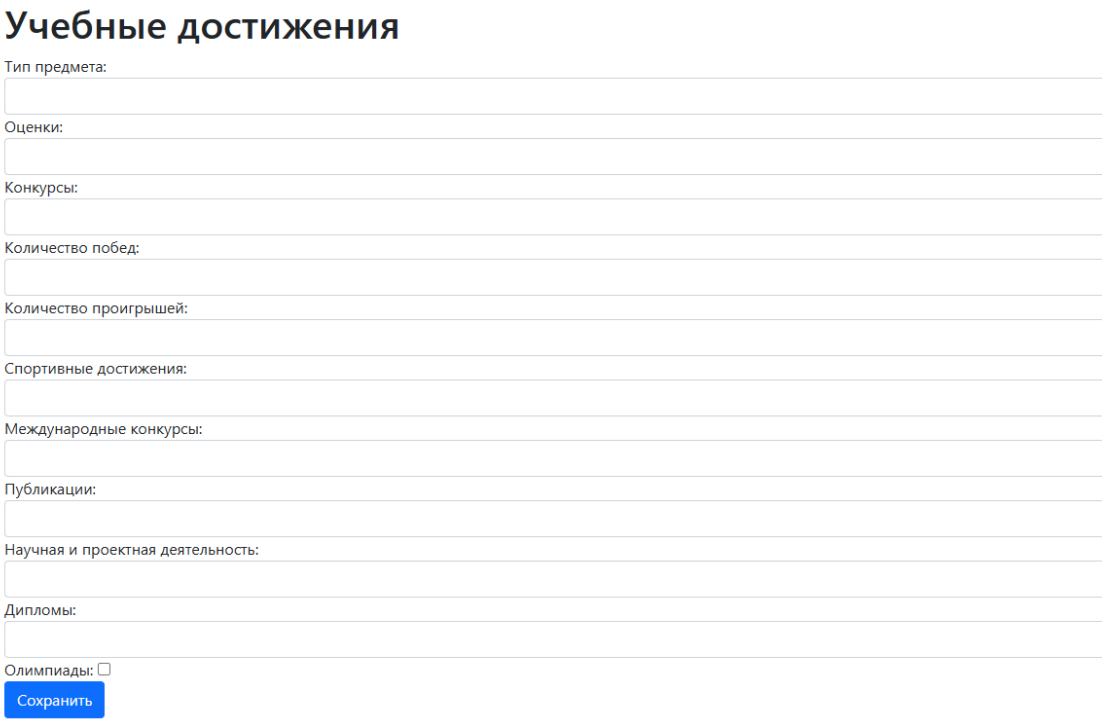


Рис. 3. Страница учебных достижений студента

Таким образом, в блокчейн будут храниться хэш-значения, которые позволят осуществлять быстрое подтверждение подлинности данных без раскрытия самих данных, а также смарт-контракты, которые будут контролировать доступ к данным и обрабатывают транзакции. Такое разделение позволит обеспечить транспарентность и подтверждение подлинности данных с помощью блокчейна, в то же время защищая конфиденциальность и обеспечивая безопасность самих данных с помощью зашифрованного хранилища.

Заключение

Проблема хранения, а также проверки подлинности документов об образовании требует комплексного решения. Внедрение системы электронного портфолио на технологии распределенного реестра приведет к значительным инновациям, предоставив новые возможности для верификации, управления данными и доступа к ним.

Реализация и внедрение разработанной системы позволит достичь следующих результатов:

– предотвращение мошенничества и фальсификации с документами об образовании, поскольку все данные хранятся в блокчейне и не могут быть изменены или подделаны.

– увеличение доверия к данным, т. к. все данные являются публичными и проверяемыми.

– снижение затрат на обработку, хранение и обеспечение безопасности данных за счет автоматизации процессов с помощью смарт-контрактов и транспарентности блокчейна.

– упрощение аудита и снижение связанных с ним затрат, т. к. в блокчейне все транзакции записываются и могут быть отслежены.

В целом, реализация системы электронного портфолио студента на основе блокчейна улучшит как процессы хранения и ведения электронной базы данных, так и проверки подлинности дипломов, удостоверений, сертификатов. Также система позволит основным акторам лучше контролировать данные и взаимодействовать друг с другом

Использование технологии блокчейн в образовательной сфере, в частности в формировании единой электронной базы, объединяющей все учебные заведения (высшие, среднее, среднеспециальное, дополнительное) и хранении основных документов студентов и выпускников, позволит повысить эффективность работы, а также поспособствует более удобному хранению данных и документов, обеспечивая при этом бесперебойный доступ к такой информации уполномоченным лицам. Все это в итоге позволит прийти к единому оформлению и формированию единой системы электронного портфолио студента.

Список использованных источников

1. Блокчейн – технология будущего или прошлого? [Электронный ресурс]. URL: kakpostirat.com/novosti/blokchejn-tehnologiya-budushhego-ili-proshlogo.html (дата обращения 15.03.2025).

2. Литвин А.А., Коренев С.В., Князева Е.Г. Современные возможности использования технологии блокчейн в системе образования // Развитие и образование. – 2020. – № 3. – С. 107-114.

3. Новый интернет Web 3.0 на базе блокчейна TON [Электронный ресурс]. URL: iloveton.ru/news/ton/novyj-internet-web-3-0-na-baze-blokchejna-ton.html (дата обращения 15.03.2025).

4. Ошибки учебных центров в ФИС ФРДО. – [Электронный ресурс]. – URL: uc-socium.info/tpost/2gve4sg4f1-oshibki-uchebnih-tsentrov-v-fis-frdo-kak (дата обращения 16.03.2025).

5. Шевчук М.В. Облачные сервисы хранения как эффективный инструмент для организации единой информационной образовательной среды // Педагогическое образование в России. – 2022. – № 10. – С. 139-144

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТОРГОВОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ БАНКОВСКИХ И КРИПТОВАЛЮТНЫХ API

Иордан И.Н.
Научный руководитель: Губин Е.И.
Томский политехнический университет, ИШИТР, магистрант, гр. 8ПМ41,
ООО "Диджитал Номадс" fullstack developer
e-mail: igorjordan210@gmail.com

Аннотация

Рассмотрены принципы построения архитектуры автоматизированной торговой системы с использованием машинного обучения. Описано взаимодействие компонентов на основе интеграции данных из банковских и криптовалютных API. Представлена схема потоков данных и взаимодействия сервисов.

Ключевые слова: машинное обучение, автоматическая торговля, криптовалюты, API, финансовые рынки.

Введение

Современные финансовые рынки характеризуются высокой скоростью изменений и доступностью больших объемов данных. Это стимулирует развитие автоматизированных торговых систем (АТС), особенно с применением машинного обучения (ML). Большинство существующих решений фокусируются либо на криптовалютах, либо на традиционных рынках. Настоящая работа предлагает унифицированный подход, интегрирующий как банковские, так и криптовалютные данные. Анализ литературы (Murphy, Sutton, Kleppmann и др.) подтверждает актуальность задачи и необходимость создания адаптивных архитектур с возможностями интеллектуального анализа.

Цель работы

Разработать архитектурную схему автоматизированной торговой платформы, способной интегрировать данные из традиционных банковских систем и криптовалютных бирж, а также использовать методы машинного обучения для прогнозирования ценовых движений.
Задачи:

- Обзор и анализ API криптобирж и банков.
- Разработка архитектуры системы сбора, хранения и анализа данных.
- Обучение и внедрение моделей LSTM и RL.
- Реализация прототипа принятия решений и исполнения торговых операций.

Методы и результаты. Используются принципы микросервисной архитектуры, модели временных рядов LSTM и методы обучения с подкреплением. Результаты представлены ниже

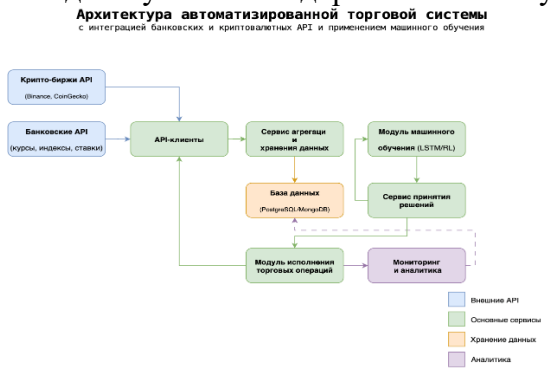


Рис. 1. Архитектурная схема автоматизированной торговой системы

Разработана архитектура, включающая:
– API-клиенты (Binance, CoinGecko, банки),
– сервис агрегации данных,
– ML-модуль,
– модуль принятия решений,
– интерфейс исполнения операций.
Предложены схемы взаимодействия компонентов и потока данных (рис. 1-5).

Рис. 2. Схема взаимодействия сервисов и потока данных

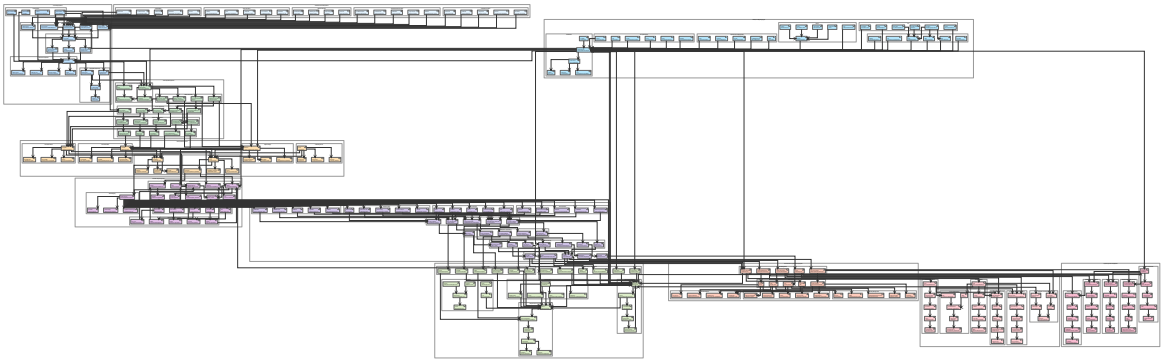


Рис. 3. Полная архитектура системы

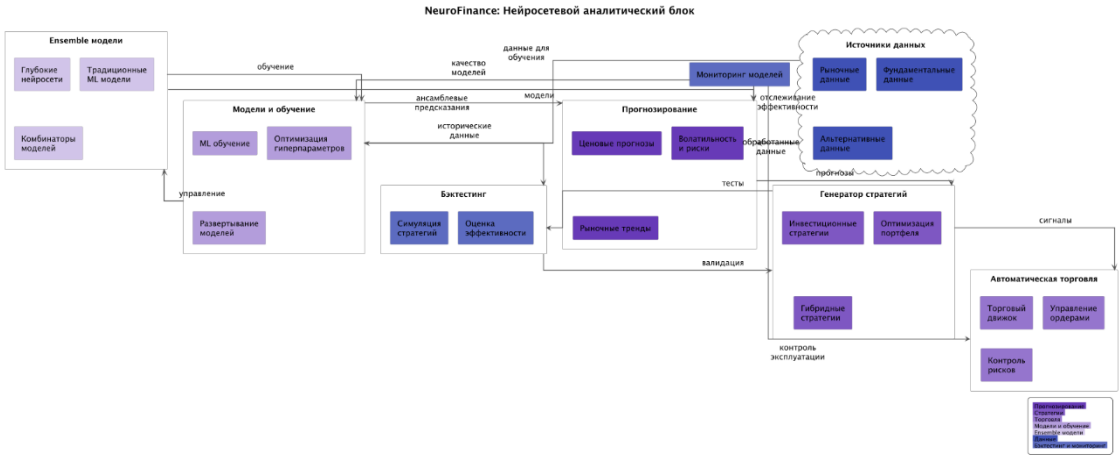


Рис. 4. Нейросетевой блок

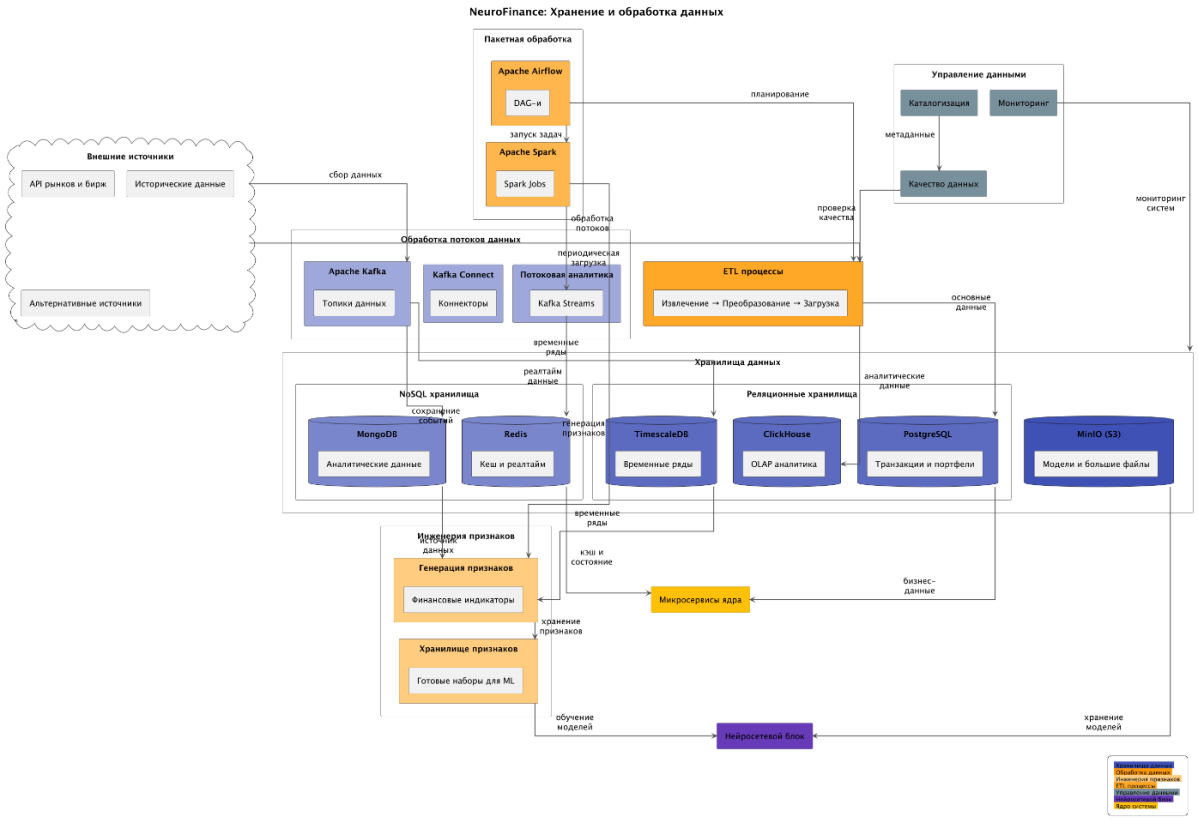


Рис. 5. Хранение и обработка данных

Заключение

Показана возможность построения гибкой и расширяемой АТС на основе интеграции разнородных API и ML. Система позволяет минимизировать влияние человеческого фактора и адаптироваться к изменяющимся рыночным условиям. В будущем планируется реализация прототипа и его тестирование на реальных данных.

Список использованных источников

1. Murphy K. Машинное обучение. Вероятностный подход. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 1104 с.

2. Binance API Documentation [Электронный ресурс]. – URL: binance-docs.github.io (дата обращения: 21.03.2025).

3. CoinGecko API [Электронный ресурс]. – URL: coingecko.com/api/documentation (дата обращения: 21.03.2025).

4. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement Learning: An Introduction. – MIT Press, 2018. – 552 p.

5. Мартин Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. – СПб.: Питер, 2018. – 352 с.

6. Басе Э. Архитектура программного обеспечения на практике. – СПб. : Питер, 2018. – 352 с.

7. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. – М.: Вильямс, 2017. – 544 с.

8. Эванс Э. Предметно-ориентированное проектирование (DDD). – М.: Вильямс, 2017. – 560 с.

10. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. – М. : ДМК Пресс, 2020. – 544 с.

11. Ньюман С. Микросервисы. Разработка и рефакторинг. – СПб. : Питер, 2018. – 352 с.

12. Таненбаум Э., ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб.: Питер, 2018. – 912 с.

13. Kleppmann M. Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems. – O'Reilly Media, 2017. – 616 p.

АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ПОРОД

Денисов В.И.[1], Андренкова Е.А.[2]
[1] НИ ТПУ, ИШИТР, А2-39, vid3@tpu.ru
[2] НИ ТПУ, ИЯТШ, 0ВМ42, eaz28@tpu.ru

Аннотация

Распространение искусственного интеллекта в нефтегазовой сфере подталкивает к интенсивному применению методов машинного обучения, в особенности нейросетей, при исследовании образцов пород. В данной работе исследуются различные архитектуры нейронных сетей (U-Net, U-Net++, YOLO, Segnet) и результаты их работы на изображениях керна для выявления наиболее эффективной для данной задачи модели, а также преимуществ каждой из моделей. Результаты исследования могут применяться в дальнейшем для подбора архитектуры сети наиболее подходящей для решения задачи, связанной с сегментацией образцов пород.

Ключевые слова: изображения керна, сегментация, сверточные нейронные сети.

Введение

Современные технологии машинного обучения активно используются в нефтегазовой и геологической отраслях для автоматизации анализа изображений керна (цилиндрических образцов пород из скважин). Фотографии керна содержат ценную геологическую информацию, необходимую для изучения строения месторождений, оценки свойств пластов и прогнозирования распределения углеводородов [1-3].

Рис. 1. Пример изображения керна

Традиционные методы анализа керна трудоемки, поэтому актуально применение нейронных сетей для автоматической сегментации и классификации пород. Однако существующие подходы имеют ограничения, такие как недостаточный объём данных и высокая вычислительная сложность [4-5].

В данной работе сравниваются архитектуры нейронных сетей (U-Net, U-Net++, YOLO 8s-seg, YOLO 11s-seg, Segnet) для сегментации образцов пород с целью выявления наиболее эффективных моделей и структурных особенностей, влияющих на точность геологической сегментации.

Цель работы – исследовать результаты сегментации керна на фотографиях и выявить особенности архитектур нейронных сетей, повлиявшие на метрики (такие как IoU и Dice).

Ключевые задачи работы:

1. Сформировать датасет для проведения исследования.
2. Сравнить производительность различных архитектур и определить оптимальную для сегментации образцов пород.
3. Определить, какие структурные элементы нейросетей оказывают наибольшее влияние на эффективность работы сети при сегментации пород.

Результаты исследования позволят выработать рекомендации по выбору и оптимизации моделей для задач геологической сегментации.

Формирование датасета

В ходе работы использовались реальные фотографии керна с разрешением 4000x4000 пикселей. Поскольку не все фотографии имеют одинаковые параметры длины и ширины, на многие из них были добавлены чёрные рамки (рис. 2).

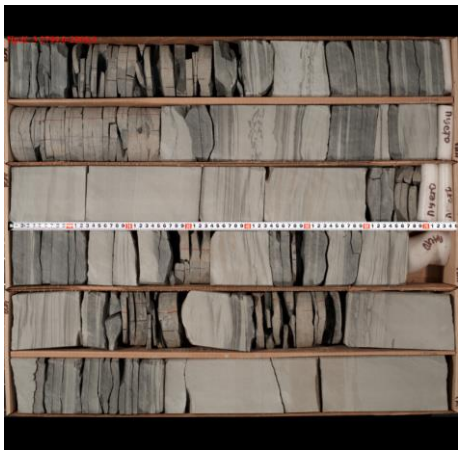


Рис. 2. Фотография керна для обучения U-Net

На основе каждой фотографии в обучающем наборе с использованием Photoshop создана бинарная маска, где чёрный цвет – отсутствие породы, белый – её наличие. С учётом того, что на одной фотографии находится в среднем 5 образцов по 1-2 метра каждый, то глубина обучающей выборки составляет около 1 км керна, и в самой выборке находится 167 фотографий. Валидационная выборка, предназначенная для сегментирования нейронной сетью, содержит примерно 200 метров керна, что составляет 20% от обучающей выборки (33 фотографии).

Результаты обучения моделей нейронных сетей

Далее будут рассмотрены архитектуры сетей для анализа. Модели были обучены на датасете, описанном выше.

U-Net

Классическая архитектура для сегментации изображений, состоящая из энкодера (сжимающего изображение) и декодера (восстанавливающего сегментированное изображение). Использует пропускные соединения для передачи признаков с энкодера в декодер [6]. Результаты обучения модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты обучения U-Net модели

Модель	Train Dice	Train IoU	Val Dice	Val IoU	Время обучения (25 эпох)	Среднее время обработки 1 изображения	Используемая память (ГБ)
U-Net	0,9220	0,8870	0,9060	0,8540	~2 часа	~0,15 сек	~4,0 ГБ

Данная архитектура достаточно эффективна и часто применяется при решении задач, где требуется выделять большое количество признаков, например, в медицинских изображениях.

U-Net++

Модель СНС U-Net++ представляет из себя модифицированную вариацию U-Net с вложенными структурами. Отличается более плотными пропускными соединениями между слоями энкодера и декодера, что позволяет передавать признаки разных уровней абстракции и повышает точность сегментации [7].

В таблице 2 приведены результаты обучения модели на U-Net++ архитектуре.

Таблица 2. Результаты обучения U-Net++ модели

Модель	Train Dice	Train IoU	Val Dice	Val IoU	Время обучения (25 эпох)	Среднее время обработки 1 изображения	Используемая память (ГБ)
U-Net++	0,9701	0,9053	0,9205	0,8502	~3 часа	~0,18 сек	~6,8 ГБ

Как видно из таблицы 2, U-Net++ показывает более высокие показатели точности работы. Метрики Dice и IoU на тренировочном наборе для U-Net++ оказались больше на 5 % и 2% соответственно, а для валидационного набора метрика Dice оказалась больше на 1,6%, а метрика IoU меньше на 0,4%.

Исходя из архитектуры сетей можно заключить, что такое влияние оказало использование в U-Net++ модифицированного декодера с добавлением промежуточных сверточных слоев между уровнями. Это позволяет формировать более детальные карты признаков, что особенно важно для выделения сложных объектов.

Однако время обучение для U-Net++ возросло на 50%, а используемая память - на 2,8 ГБ. Эти показатели говорят о том, что не все модификации U-Net++ относительно оригинальной сети оказались успешными. В частности, можно предположить, что увеличение времени на обработку возникло из-за дополнительных сверточных блоков в skip-connections: в отличие от простых skip-connections в U-Net, U-Net++ использует сверточные слои для объединения feature maps из разных уровней, а каждый такой блок требует дополнительных вычислений. Кроме прочего, это увеличивает количество параметров, что также влияет на скорость.

YOLO *8s-seg*

Эта архитектура представляет собой одностадийный детектор объектов, расширенный для решения задач сегментации. Она включает в себя backbone, neck и head. Backbone отвечает за извлечение признаков из входного изображения, neck объединяет признаки с разных уровней backbone, a head использует эти признаки для одновременного предсказания bounding box, классов объектов и масок сегментации [8]. На рис. 3 представлены метрики качества обучения:

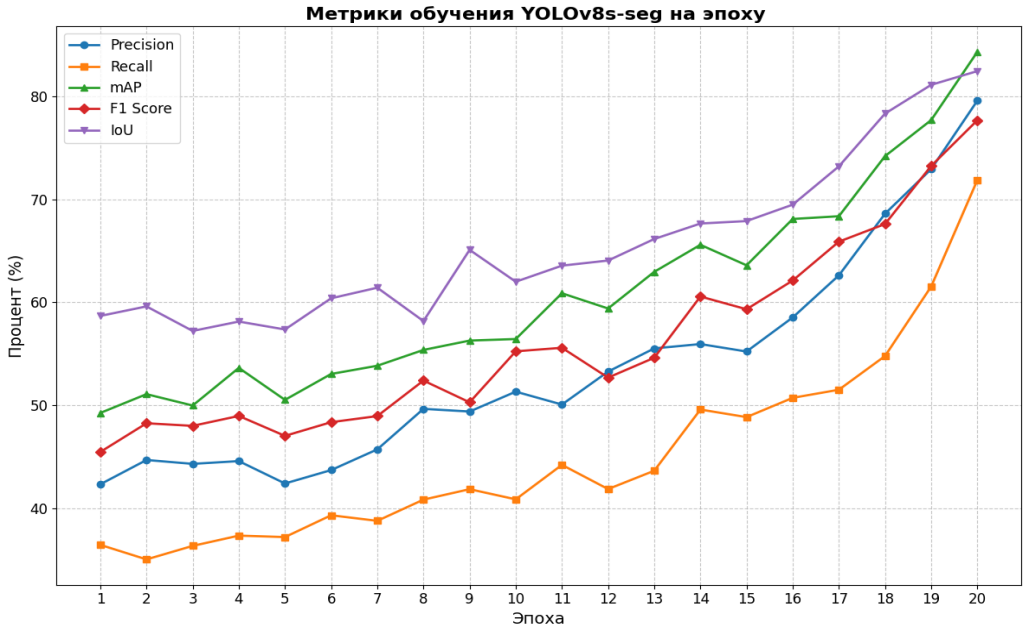


Рис. 3. Метрики обучения YOLO 8s-seg

Из графика видно, что метрики в целом увеличиваются с количеством эпох, однако их рост сопровождается скачками, образовывающими локальные максимумы и минимумы. Это обусловлено тем, что данная модель в настоящее время устарела и подходит не для всех типов задач сегментации и классификации. Ниже для сравнения приведена усовершенствованная модель архитектуры YOLO.

YOLO *11s-seg*

Является развитием семейства YOLO с усовершенствованными компонентами по сравнению с YOLO 8. Как и YOLO 8, это одностадийный детектор с функцией сегментации [8]. Далее, аналогично YOLO 8s-seg, на рис. 4 представлены метрики обучения YOLO 11s-seg.

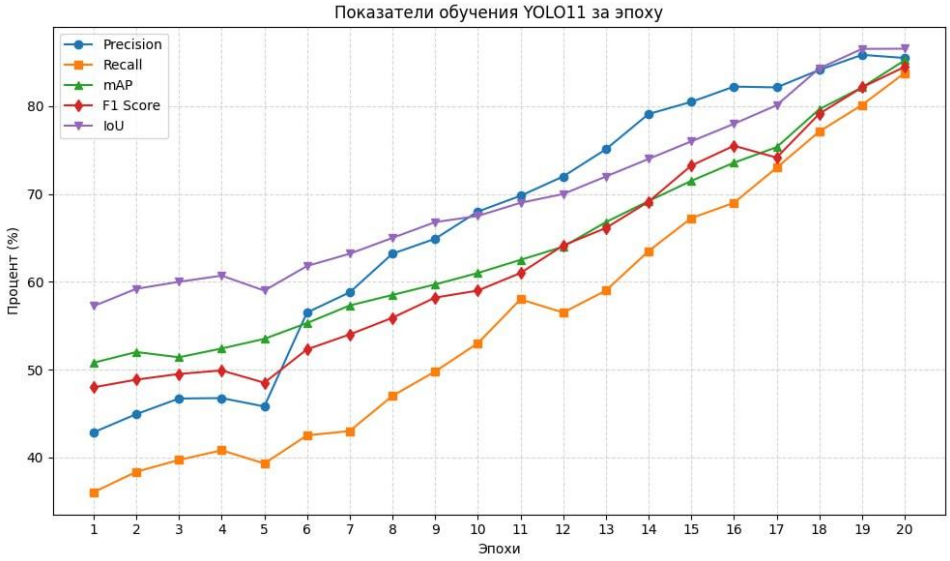


Рис. 4. Метрики обучения YOLO 11s-seg

Сравнивая полученные графики, можно заметить, что для YOLO 11 все параметры метрик постепенно увеличиваются, в отличие от хаотично увеличивающихся и уменьшающихся значений метрик для YOLO 8. При этом для обоих вариантов данной архитектуры после 17-й эпохи начинается резкий рост значений всех метрик, и, следовательно, значительно растёт качество обработки изображений. Это связано с тем, что на 17-й эпохе модель находит оптимальные настройки весов благодаря снижению learning rate или накопленному опыту от сложных примеров. Однако после 20 эпохи происходит переобучение сети, из-за чего результаты становятся хуже, поэтому оптимальное количество эпох равно 20.

Результаты обучения YOLO 11s-seg и YOLO 8s-seg представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты обучения YOLO 11s-seg модели

Модель	Precision, %	Recall, %	mAP, %	F1 Score, %	IoU, %
YOLO 8s-seg	0,804	0,721	0,850	0,792	0,840
YOLO 11s-seg	0,855	0,838	0,852	0,845	0,865

Важным замечанием является то, что для YOLO искусственно расширили данные за счет аугментации, так как эта архитектура требует большого объема информации: по метрикам mAP50 и mAP50-95 было выявлено, что для достижения наивысших показателей, модели требуется датасет, превышающий имеющийся в 9,6 раз. При этом, несмотря на недостаток данных, сеть показала результат IoU, близкий к U-Net - такие высокие показатели метрик были достигнуты благодаря использованию механизмов внимания. Нельзя не отметить, что модель

YOLO 11s оказалась меньше и быстрее, чем U-Net++. Вероятнее всего это связано с применением 3D свертки.

Пример сегментации с использованием обученной модели YOLO 11s-seg приведен на рис. 5. Как видно, имеется большое количество неточностей, когда модель выделяет либо часть коробки, либо недовыделяет часть керна. Это может сильно сказаться на результатах исследования керна, в связи с чем применять модель в таком виде невозможно.

Рис. 5. Пример работы сети YOLO 11s-seg

Segnet

SegNet отличается от ранее рассмотренных U-Net и YOLO следующими особенностями:

- Энкодер-декодер с сохранением индексов пулинга: в отличие от U-Net SegNet запоминает только индексы максимальных значений при пулинге, что снижает потребление памяти, но может ухудшить точность.
- Отсутствие полносвязных слоев (как в YOLO): в отличие от YOLO, которая детектирует объекты через предсказание bounding box и классов, SegNet фокусируется только на пиксельной классификации без использования якорных боксов.
- Более легкая декодерная часть по сравнению с U-Net: SegNet полагается на пересохраненные индексы пулинга.

На рис. 6 представлены значения метрик во время обучения.

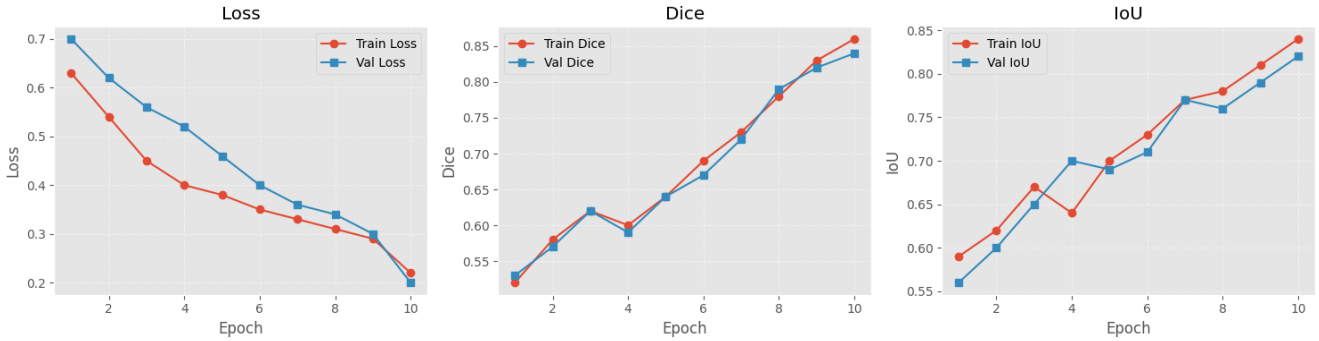


Рис. 6. Метрики и валидация обучения Segnet

Судя по представленным данным, скачки не выглядят аномальными. Есть небольшие колебания (например, в 4-й эпохе Train Dice падает с 0.62 до 0.60), но в целом динамика стабильная: Train Loss равномерно уменьшается, Train Dice и Train IoU постепенно растут, несмотря на небольшие колебания, Val Loss тоже последовательно снижается, а метрики валидации (Dice, IoU) растут.

В таблице 4 приведены метрики обучения модели SegNet.

Таблица 4. Результаты обучения Segnet модели

Модель	Train loss, %	Train Dice, %	Train IoU, %	Val Loss, %	Val Dice, %	Val IoU, %
Segnet	0,22	0,86	0,84	0,20	0,84	0,82

Можно заметить, что у данной модели параметры IoU и Dice ниже, чем у U-Net и U-Net++. Это говорит о том, что в целом результаты обучения этой нейросети хуже и могут содержать ошибки при сегментации.

Заключение

Таким образом, был произведен обзор существующих архитектур сетей для решения задачи сегментации изображений пород, каждая сеть была обучена на сформированном датасете, и были получены результаты обучения. Как видно из анализа, наибольшую эффективность в совокупности по качеству сегментации и скорости работы показывает U-Net.

Среди особенностей сетей, заметно повлиявших на качество сегментации образцов пород, можно выделить:

1. Механизмы внимания YOLO 11s-seg увеличивают концентрацию сети на мелких признаках и слоистости, раздробленности пород.
2. Промежуточные связи между слоями, использованные в U-Net++, позволили более точно определять признаки, что повысило качество сегментации.
3. Применение 3D свертки в YOLO 11s-seg позволило сделать модель более быстрой и легкой.

Выделенные особенности сетей можно использовать далее для модификации существующих архитектур, а также подборе сети под конкретную задачу.

Список использованных источников

1. Иванченков В.П., Кочегуров А.И., Нгуен С.Х. Фазочастотный алгоритм прослеживания сейсмических сигналов с управляемой протяженностью функции качества // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2014. – №.4. - С. 59-68.
2. Иванченков В.П., Кочегуров А.И., Орлов О.В. Применение методов фазочастотного анализа сейсмических волн для изучения околоскважинного пространства // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 10. – С. 58–63.
3. Кочегуров А.И., Иванченков В.П., Орлов О. В. Прогноз геологического разреза на основе детальной обработки сейсмических материалов в программно-алгоритмическом комплексе «ГЕОСЕЙФ» // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. -2019. Т. 330. №. 6. - С. 134-144.
4. Кочегуров А.И., Денисов В.И., Задорожных Е.А. Анализ применения методов машинного обучения в задачах классификации пород на образцах керна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. –2024. – Т. 335. – № 9. – С. 148–159.
5. Денисов В.И., Задорожных Е.А. Применение средств машинного обучения для исследования образцов керна // Сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МСИТ-2024. – Томск: изд-во ТПУ. – 2024. – С. 155-160.
6. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science. – 2015.
7. Zongwei Zhou, Jianming Liang, Nima Tajbakhsh. UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation // Conference: 4th Deep Learning in Medical Image Analysis (DLMIA) Workshop. – Spain. – 2018.
8. Ultralytics YOLO Docs // Ultralytics, 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: docs.ultralytics.com (дата обращения: 28.03.2025).

ОБРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Шокодько Ф.А.[1], Катаева С.С.[2]
[1] Национальный исследовательский Томский государственный университет, ИПМКН, студент гр. 932428, e-mail: shokodkofedor15@gmail.com
[2] Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, (доцент ИПМКН), e-mail: sophiaskataeva@gmail.com

Аннотация
В работе представлены результаты предварительной обработки данных модельного эксперимента, имитирующего гамма-каротаж. Разработана программа обработки временного ряда, содержащего количество гамма-квантов в секунду, включающая построение гистограмм, матрицы бинарных отношений и проверку соответствия данных пуассоновскому распределению с использованием критерия Пирсона. Результаты подтвердили, что на отдельных интервалах данные являются частями пуассоновских потоков.

Ключевые слова: Гамма-каротаж, пуассоновский поток, гистограмма, матрица бинарных отношений, критерий Пирсона.

Введение

Гамма-каротаж – это метод исследования скважин, основанный на измерении естественного гамма-излучения пластов. Датчик, опускаемый в скважину, регистрирует количество гамма-квантов, испускаемых породами, в единицу времени. Поскольку разные породы обладают различной естественной радиоактивностью, анализ этих данных позволяет определить их тип и свойства [1]. Известно, что для однородной среды поток количеств импульсов в единицу времени представляет собой пуассоновский поток.

В данной работе рассматриваются результаты модельного эксперимента, имитирующего гамма-каротаж. Эксперимент проводился с использованием аппаратуры СРП-68-02, подключенной к цифровой системе регистрации. В ходе эксперимента регистрировалось количество гамма-квантов в секунду в течение 5000 секунд, при этом радиационный фон изменялся каждые 1000 секунд. На выходе получен временной ряд, отражающий интенсивность потока гамма-квантов [2]. Для анализа этих данных были применены методы статистической обработки, включая построение гистограмм, матрицы бинарных отношений и проверку гипотезы о пуассоновском распределении потока импульсов.

Цель: разработка программы статистического анализа временных рядов с проверкой соответствия их пуассоновскому закону распределения.

Ход работы

Исходные данные представляют собой временной ряд, полученный в ходе модельного эксперимента, имитирующего гамма-каротаж. В эксперименте регистрировалось количество импульсов гамма-излучения за каждую секунду в течение 5000 секунд [2]. Полученный временной ряд представлен на рисунке 1. Из рисунка видно, что выделяются пять участков с различной средней интенсивностью регистрации импульсов.

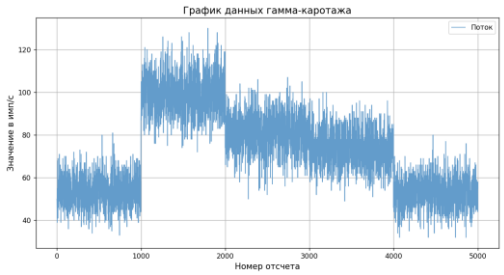


Рис. 1. Данные модельного эксперимента, имитирующие гамма-каротаж

Исследуемый временной ряд значений представляет собой статистическую совокупность – набор экспериментальных данных, подлежащих обработке. Гистограмма, которая показывает частоту появления конкретного значения для простого статистического ряда, является удобным представлением характера данных и представлена на рисунке 2.

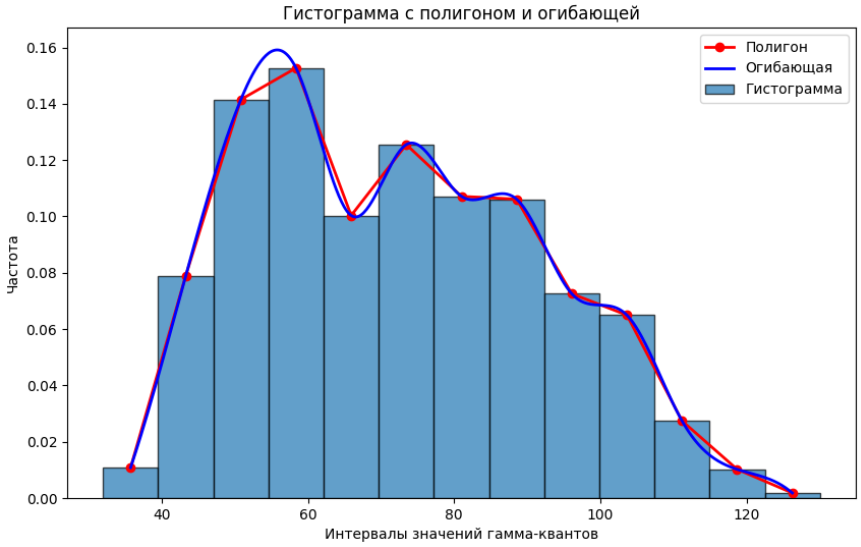


Рис. 2. Построение огибающей гистограммы для простого статистического ряда. Красным цветом обозначен полигон, плавная синяя кривая – огибающая гистограммы

Введем понятие накопленного потока гамма-квантов. Количество гамма-квантов, зафиксированных за каждую секунду, является случайной величиной, формирующей временной ряд наблюдений:

$$\{l_1, l_2, ..., l_n\}, \tag{1}$$

где l_t – число гамма-квантов, зарегистрированных в *t-ю* секунду.

Обозначим через m_k суммарное число гамма-квантов, зарегистрированных за первые k секунд наблюдения:

$$m_k = \sum_{t=1}^{k} l_t, \tag{2}$$

Имея накопленный поток за весь период наблюдения $\{m_1, m_2, \ldots, m_n\}$, можно вычислить интенсивность потока на различных временных интервалах.

Для анализа изменения интенсивности во времени рассчитываются оценки интенсивности на интервалах от *i*-й до *j*-й секунды ($i<j$) [2]. Оценка интенсивности $\lambda_{i,j}$ на временном интервале [i, j] определяется по формуле:

$$\lambda_{i,j} = \frac{m_{j+1} - m_{i-1}}{j - i + 1}, \tag{3}$$

где $m_{j+1} - m_{i-1}$ – общее количество гамма-квантов, зарегистрированных за интервал от *i-й* до *j-й* секунды, $j - i + 1$ – длина интервала в секундах.

В качестве характеристики отношения между событиями i и j удобно выбрать «расстояние» между ними, т.е. величину $d_{i,j}$ определяемую по (4):

$$d_{i,j} = \begin{cases} \dfrac{m_{j+1} - m_{i-1}}{j - i + 1}, \; i \le j; \; i, j = 1, ..., N, \\ 0, \; i > j; \; i, j = 1, ..., N. \end{cases} \tag{4}$$

Элементы $d_{i,j}$ образуют верхнетреугольную матрицу $D = \left[d_{i,j}\right]_{N \times N}$ (рисунок 3).

Row	1	2	3	4	...	4999	5000	5001	5002
1	0.0	23.0	29.67	32.0	...	72.06	72.05	72.05	72.05
2	0.0	0.0	21.5	27.34	...	72.06	72.06	72.06	72.05
3	0.0	0.0	0.0	19.5	...	72.07	72.06	72.06	72.06
4	0.0	0.0	0.0	0.0	...	72.07	72.07	72.07	72.07
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4999	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	29.0	38.67	42.75
5000	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	29.0	37.67
5001	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	27.5
5002	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0

Рис. 3. Верхнетреугольная матрица D бинарных отношений элементов накопленного потока гамма-квантов на основе данных модельного эксперимента

Элементы матрицы D представляют собой оценки интенсивности потока d_{ij} на всевозможных интервалах наблюдения *(i,j)*.

Гистограмма на рисунке 4 построена на элементах матрицы бинарных отношений D.

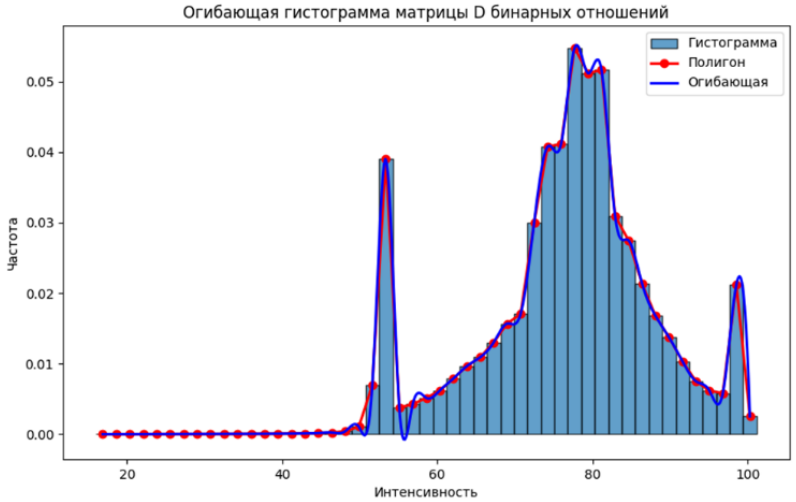


Рис. 4. Огибающая гистограмма матрицы D бинарных отношений элементов накопленного потока гамма-квантов, количество интервалов для гистограммы 50, нулевые частоты на главной диагонали не учитываются

Из рис. 4. видно, что на интервалах вблизи значений интенсивности $\lambda_1 = 53$ и $\lambda_2 = 98$ локализованы острые и высокие пики, что является полезным признаком в дальнейшем анализе на существование интервалов стационарности. Максимумы в интервале 75–85 на этом этапе трудно интерпретировать, т.к. здесь присутствует много шума.

Опишем процедура генерации пуассоновского потока с заданными параметрами. Пуассоновское распределение определяется по следующей формуле:

$$f(k;\lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}. \quad (5)$$

Для событий с ожидаемой интенсивностью λ распределение Пуассона $f(k;\lambda)$ описывает вероятность возникновения k событий в течение наблюдаемого интервала при интенсивности λ. Если $\lambda(t) = const$(t), то это стационарный поток Пуассона (простейший). Получим несколько реализаций сгенерированного пуассоновского потока с помощью разработанной процедуры (рис. 5, 6), для дальнейшей проверки правильности работы программной реализации критерия Пирсона.

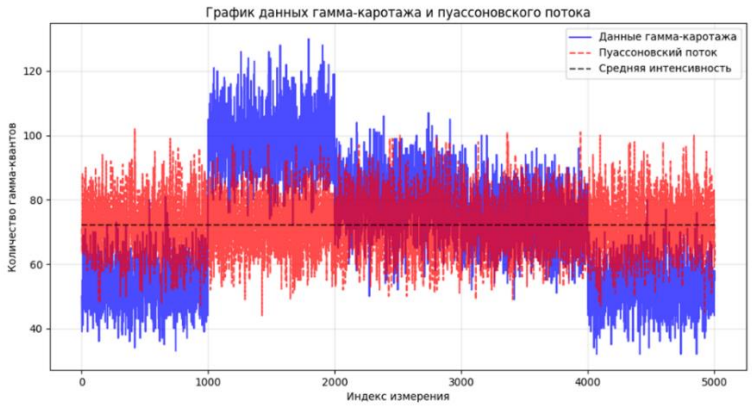


Рис. 5. Сгенерированный Пуассоновский поток со средним количеством гамма-квантов всего потока λср = 72.053, кол-во событий 5004

На синем графике отображены данные модельного эксперимента, имитирующие гамма-каротаж. Красным цветом показан график сгенерированного пуассоновского потока на всем временном интервале.

Видно, что весь данный поток модельного эксперимента не пуассоновский.

Далее сгенерированы пять пуассоновских потоков. Границы интервалов, в пределах которых среда является однородной известны из данных модельного эксперимента. На каждом интервале определим среднюю интенсивность, тогда получим сгенерированный пуассоновский поток со средним количеством гамма-квантов на каждом оцениваемом интервале.

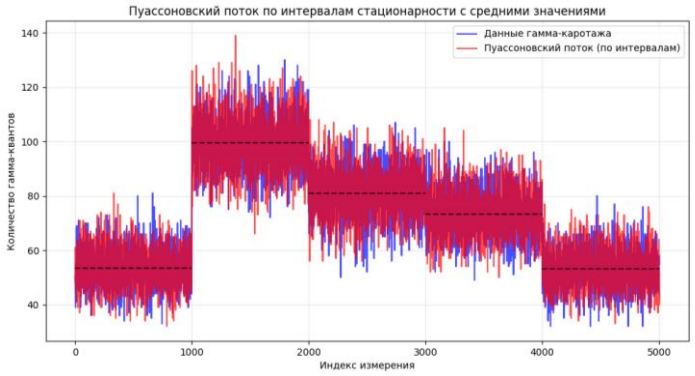


Рис. 6. Сгенерированный пуассоновский поток со средним количеством гамма-квантов на каждом оцениваемом интервале: λср1= 53.51, λср2= 99.56, λср3= 80.89, λср4= 73.31, λср5= 53.05

Критерий Пирсона позволяет проверить гипотезу о распределении генеральной совокупности по закону Пуассона.

Для того чтобы сравнить эмпирические и теоретические частоты с помощью критерия Пирсона необходимо:

1. составить расчетную таблицу, по которой находят наблюдаемое значение критерия

$$\chi^2_{набл} = \sum \frac{(k_i - k'_i)^2}{k'_i}, \tag{6}$$

2. по таблице критических точек распределения χ^2, по заданному уровню значимости α и числу степеней свободы $K = s - 2$ (s – число групп выборки) найти критическую точку $\chi^2_{кр}(\alpha, K)$ правосторонней критической области.

Если $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{кр}}$ – нет оснований отвергнуть гипотезу о распределении генеральной совокупности по закону Пуассона. Если $\chi^2_{\text{набл}} > \chi^2_{\text{кр}}$ – гипотезу отвергают.

Сформируем гипотезу следующим образом: генеральная выборка для событий в определенных интервалах подчиняется закону распределения Пуассона.

Была сформированная таблица результатов проверки гипотезы о распределении генеральной совокупности на каждом оцениваемом интервале (Таблица 1.).

Таблица 1. Проверка гипотезы о распределении генеральной совокупности по закону Пуассона

Проверка интервала	Средняя интенсивность	Хи-квадрат статистика	Критическое значение
0–1000	53.51	86.12	104.14
1000–2000	99.56	60.98	159.81
2000–3000	80.89	70.47	136.59
3000–4000	73.31	67.08	127.69
4000–5003	53.05	55.51	103.01

Заключение

Предложен подход к исследованию интенсивности гамма-излучений построением матрицы D бинарных отношений элементов накопленного потока гамма-квантов. В соответствии с результатами проверки гипотезы о распределении генеральной совокупности по закону Пуассона (Таблица 1.) было подтверждено на каждом интервале соответствие экспериментальных данных пуассоновскому распределению. Разработано программное обеспечение для обработки эмпирических гамма-спектроскопических данных. На основе математического моделирования и обработки данных модельного эксперимента доказана возможность аппроксимации данных МС-потоком.

Список использованных источников

1. Геотехсервис // Геолого-технологическое оборудование. – [Электронный ресурс]. – URL: leuza.ru/gti/termin/ karotazh/gk.htm (дата обращения 25.03.2025)

2. Катаев С.Г., Катаева С.С., Миллер А.А. Новый метод обработки данных при скважинных измерениях методом гамма-каротажа. «Инженерная и рудная геофизика-2019», Геленджик, Россия.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПАРСИНГА ВЕБ-СТРАНИЦ И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TELEGRAM-БОТА И АЛГОРИТМОВ ИИ

Марухина О.В.[1], Шахтарин Д.Д.[2]
[1]Томский политехнический университет, к.т.н., доцент ОИТ, e-mail: marukhina@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, гр. 8ПМ31, e-mail: dds41@tpu.ru

Аннотация

Статья описывает разработку Telegram-бота для парсинга веб-страниц, анализа новостей и автоматизации публикаций с использованием алгоритмов ИИ. Решение обеспечивает сбор данных, их интеллектуальную обработку и визуализацию, предлагая пользователям персонализированный контент и аналитику.

Введение

Современный этап развития информационных технологий характеризуется экспоненциальным ростом объема данных, достигающим 175 зеттабайт к 2025 году [1]. Это подчеркивает необходимость автоматизированных систем для обработки информации. Telegram, с более чем 500 млн пользователей, из которых 60 % используют каналы для новостей [2], представляет собой идеальную платформу для таких решений.

Анализ литературы показывает, что существующие инструменты, такие как Telethon и python-telegram-bot, обеспечивают базовый функционал для создания ботов, но не поддерживают сложный парсинг веб-страниц или интеллектуальный анализ данных с помощью ИИ. Коммерческие платформы (Zapier, IFTTT) ограничены шаблонами и не предлагают глубокую аналитику. Библиотека python-telegram-bot [2] предоставляет удобный интерфейс для создания ботов, однако не поддерживает асинхронность natively, в отличие от aiogram. Основой для взаимодействия с Telegram служит Telegram Bot API [5], обеспечивающее надежный доступ к функционалу платформы.

Целью работы является разработка комплексного решения – Telegram-бота для парсинга веб-страниц, анализа новостей и автоматизации публикаций с использованием алгоритмов ИИ. Новизна заключается в интеграции ИИ для интеллектуального анализа текстов (например, выделение ключевых тем) и адаптивного парсинга веб-источников в реальном времени.

Основная часть

Проект представляет собой систему, которая автоматизирует процесс сбора и анализа информации с веб-страниц, предоставляя пользователю удобный доступ к результатам через Telegram. Система построена на асинхронной библиотеке aiogram [3], которая, в отличие от синхронных решений, обеспечивает высокую производительность при обработке множества запросов одновременно. Работа начинается с того, что пользователь отправляет боту URL интересующей страницы, например, новостного сайта или книжного каталога. Бот передает запрос парсеру, который загружает HTML-код страницы и извлекает ключевые данные: заголовки, текст, изображения или, в случае каталога, информацию о книгах (автор, цена, категория). Для парсинга HTML используется библиотека BeautifulSoup [1], которая позволяет эффективно извлекать структурированные данные, такие как заголовки или текст, из веб-страниц.

После этого данные отправляются в Telegram-бот, который выступает связующим звеном между пользователем и системой анализа. Если пользователь хочет просто получить извлеченную информацию, бот возвращает ее в чат в структурированном виде, например: "Заголовок: [заголовок], Текст: [первые 100 слов]". Однако главная особенность проекта – возможность глубокого анализа. Пользователь может запросить выделение ключевых слов

или тем текста, и бот передает данные модели GPT (например, GPT-3 или GPT-4). Интеграция с GPT реализована через OpenAI API [6], предоставляющее доступ к мощным моделям обработки естественного языка для выделения ключевых слов и анализа тональности. Модель обрабатывает текст, определяет основные аспекты (например, тональность, ключевые темы) и возвращает результат, который бот отправляет обратно в чат.

Пример работы: пользователь отправляет URL статьи о технологиях. Парсер извлекает текст, бот показывает заголовок и краткое содержание, а по запросу "Анализ" возвращает: "Ключевые слова: ИИ, автоматизация, Telegram; Тональность: позитивная". Для автоматизации публикаций пользователь может настроить регулярный сбор новостей с выбранных сайтов, указав интервал (например, каждые 6 часов) и каналы для публикации. Бот самостоятельно собирает данные и публикует их с кратким саммари, что полезно для администраторов Telegram-каналов. Как отмечает Петрова Е.С. [7], Telegram-боты эффективны для анализа новостного контента, а Коваленко М.Н. [8] подчеркивает значимость интеграции Telegram API в системы автоматизации, что подтверждает выбранный подход.

Система также сохраняет историю запросов и результатов в базе данных, что позволяет пользователю позже запросить статистику, например, сколько страниц было обработано или какие темы чаще встречались. Это делает проект не только инструментом парсинга, но и средством аналитики, адаптированным под нужды конкретного пользователя.

Результаты

Разработанный бот успешно решает задачи парсинга веб-страниц и автоматизации публикаций в Telegram-каналы, заменяя ручную работу SMM-специалиста. Тестирование проводилось на 30 новостных сайтах, включая тематические категории: бизнес (например, rb.ru/tag/business/, rbc.ru), регионы (yk24.ru/vse-novosti/), финансы (kommersant.ru/finance), наука (ria.ru/science/), криптовалюты (rbc.ru/crypto/tags/?tag=Криптовалюта) и технологии (forbes.ru/tegi/iskusstvennyy-intellekt). Бот обработал 50 страниц за 15 секунд (среднее время парсинга – 0,3 с/страница), извлекая заголовки и текст с точностью 95% по сравнению с эталонными данными. Например, для страницы ria.ru/science/ бот извлек заголовок "Ученые разработали новый метод анализа данных" и текст статьи (около 600 слов).

Основная задача – создание коротких саммари для публикации. С помощью генеративного искусственного интеллекта через OpenAI API текст обрабатывался с промптом: "Составь краткое саммари текста (до 50 слов) для поста в Telegram-канале". Пример результата для новости о науке: "Ученые создали метод анализа данных, ускоряющий исследования". Тестирование проводилось с синтетическими запросами и запросами разработчика: за неделю ботобработал 120 страниц, из них 70 запросов касались парсинга новостей, а 50 – генерации саммари. Автоматизация публикаций протестирована на канале с настройкой 3 поста в день: бот публиковал новости с саммари в течение 48 часов без сбоев, демонстрируя потенциал для автоматизации работы SMM-специалиста.

Пример работы бота представлен на рис. 2: пользователь запрашивает новости, и бот отправляет саммари в канал "News_parser_for_u". Например, для новости с сайта rbc.ru бот сгенерировал пост: "Всемирный банк повысил прогноз роста экономики России до 3,2 % в 2024 году". На рис. 3 показан интерфейс бота с главным меню, где пользователь может выбрать функции: получить новости, настроить публикации или обратиться к FAQ. Рис. 4 демонстрирует меню аналитики, где пользователь может запросить статистику активности (например, количество сообщений или постов), хотя эта функция находится в разработке. Рис. 5 отображает меню настроек, позволяющее задать параметры постинга: количество постов в день, интервал между публикациями и выбор каналов. Логика работы представлена на схеме (рис. 1).

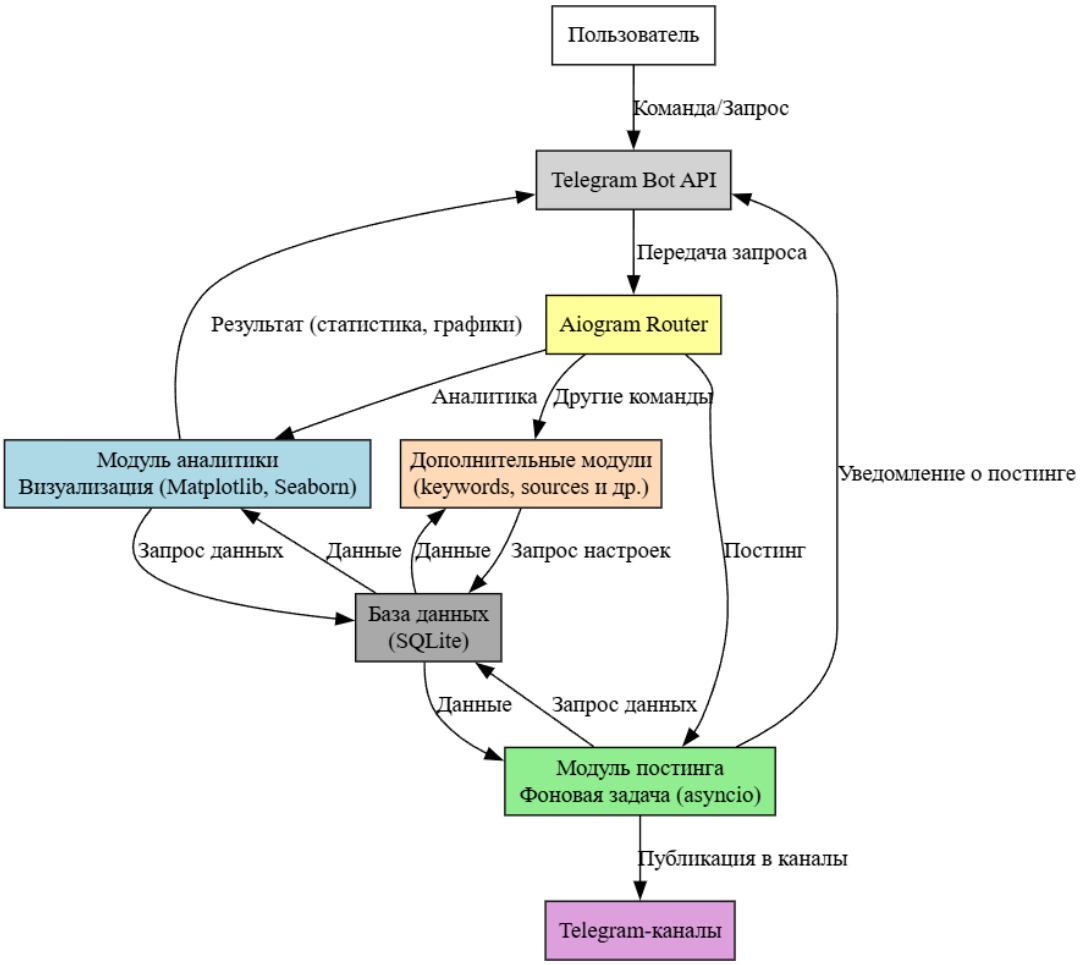


Рис. 1. Логика работы

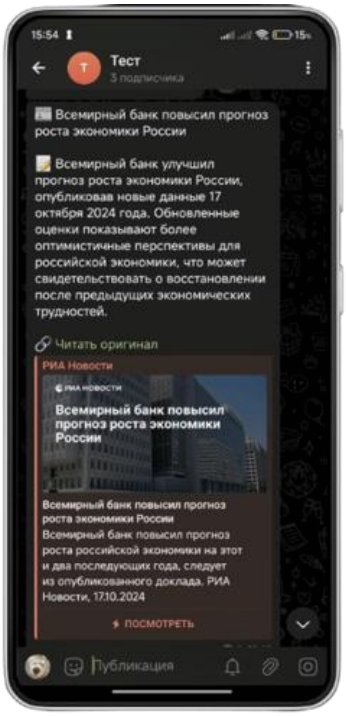


Рис. 2. Пример публикации саммари в Telegram-канале

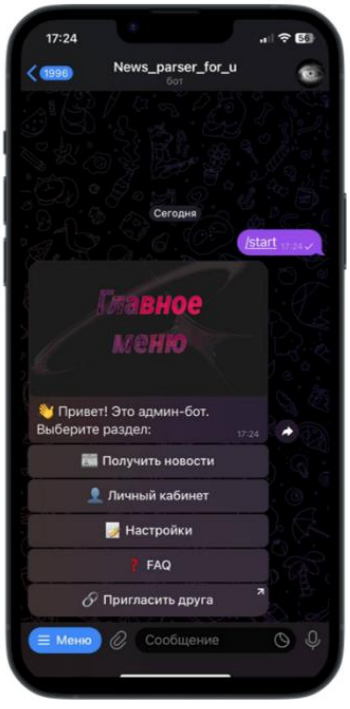


Рис. 3. Главное меню бота

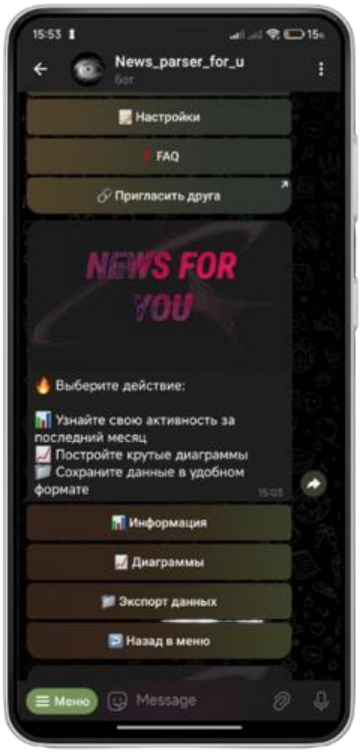


Рис. 4. Меню аналитики

Рис. 5. Меню настроек

Заключение

Проект объединяет парсинг, ИИ-анализ и Telegram-интерфейс, упрощая доступ к обработанной информации. Решение полезно для пользователей, ищущих автоматизацию сбора данных и аналитики. Перспективы включают улучшение ИИ для предсказательного анализа и расширение парсинга на сложные сайты.

Список использованной литературы

1. Документация BeautifulSoup / BeautifulSoup Team. – [Электронный ресурс]. – URL: crummy.com/software/BeautifulSoup/bs4/doc/ (дата обращения: 2.03.2025).

2. Документация python-telegram-bot / python-telegram-bot Team. – [Электронный ресурс]. – URL: python-telegram-bot.readthedocs.io/ (дата обращения: 9.03.2025).

3. Документация aiogram / aiogram Team. – [Электронный ресурс]. – URL: docs.aiogram.dev/en/latest/ (дата обращения: 1.03.2025).

4. Документация Matplotlib / Matplotlib Team. – [Электронный ресурс]. – URL: matplotlib.org/stable/contents.html (дата обращения: 7.03.2025).

5. Telegram Bot API / Telegram Team. – [Электронный ресурс]. – URL: core.telegram.org/bots/api (дата обращения: 5.03.2025).

6. Документация OpenAI API / OpenAI Team. – [Электронный ресурс]. – URL: beta.openai.com/docs/ (дата обращения: 1.03.2025).

7. Петрова Е.С. Использование Telegram-ботов для анализа новостного контента // Информационные системы и технологии: сборник научных трудов, Москва, 15 ноября 2022 года. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. – С. 132–139.

8. Коваленко М.Н. Интеграция Telegram API в системы автоматизации данных // Труды СПИИРАН. – 2023. – Т. 22, № 1. – С. 33-41.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИИЙ

Губин Е.И.[1], Котов А.О.[2]
[1] Томский политехнический университет, к.ф.-м.н., доцент ОИТ ИШИТР
[2] Томский политехнический университет, ИШИТР, магистр группы 8ПМ31
e-mail: аок37@tpu.ru

Аннотация

Для решения проблемы недостаточности данных в медицинских исследованиях применяются методы синтезирования данных такие как GAN, TVAE, Gaussian Copula. Затем производиться оценка генерации в сравнении с оригинальной выборкой. Важным методом оценки является логистическая регрессия. Перед синтезированием производиться очистка данных от аномальных.

Ключевые слова: GAN, TVAE, Gaussian Copula, данные, логистическая регрессия, ROC-кривые.

Введение

Целью данной работы является дальнейшее развитие методов генерации данных для медицинских исследований, начатых авторами в [1], и продолженных с использованием современных прогнозных моделей и сравнивая прогнозные точности исходных и размноженных данных [2].

Основная часть

В рамках эксперимента был использован тестовый датасет, содержащий 1500 записей с различными атрибутами, такими как возраст, доход, уровень образования и профессиональные навыки. В общей сложности в датасете присутствует 15 признаков, как числовых, так и категориальных, что делает его подходящим для проверки возможностей изучаемых методов.

Эксперимент проводился следующим образом: тестовый датасет случайным образом делился на группы с размерами 16, 35, 60, 120, 240 и 480 строк, используя генератор случайных чисел. Эти группы стали основой для поэтапного анализа на платформах SDV (Synthetic Data Vault), таких как TVAE, CTGAN и GaussianCopula. Для каждой группы проводились тестовые расчеты синтетических и реальных данных для всех трех платформ. Сравнение результатов осуществлялось с использованием встроенного метода оценки качества синтетических и реальных данных из библиотеки SDV. Каждая из моделей (TVAE, CTGAN, GaussianCopula) обучалась на подготовленных данных с одинаковыми настройками гиперпараметров для обеспечения сопоставимости результатов.

Метод синтезирования данных CTGAN - модель, основанная на генеративно-состязательных сетях, специально адаптированная для табличных данных с поддержкой категориальных переменных и управления условными зависимостями.

Метод GAN

Generative Adversarial Networks (GAN) были впервые предложены в 2014 году исследователем Иэном Гудфеллоу и его коллегами в статье "Generative Adversarial Nets".

Принцип работы GAN

GAN состоит из двух нейронных сетей: генератора и дискриминатора, которые обучаются одновременно в процессе, называемом "соперничеством".

1. Генератор: Эта сеть принимает случайный шум (обычно из нормального распределения) в качестве входных данных и генерирует новые образцы данных, которые

должны быть похожи на реальные данные из обучающего набора. Цель генератора – создавать такие данные, которые будут трудно отличимы от реальных.

2. Дискриминатор: Эта сеть принимает на вход как реальные данные, так и данные, сгенерированные генератором. Она должна определить, являются ли данные реальными или сгенерированными. Дискриминатор выдает вероятность того, что входные данные – реальные.

Процесс обучения

• Соперничество: Генератор и дискриминатор обучаются одновременно. Генератор пытается улучшить свои способности к созданию реалистичных данных, в то время как дискриминатор улучшает свои навыки по различению реальных и синтетических данных.

• Обновление весов: В процессе обучения генератор получает обратную связь от дискриминатора, что позволяет ему улучшать свои выходные данные. Дискриминатор, в свою очередь, также обновляет свои веса на основе ошибок, связанных с неправильной классификацией данных.

• Цель: Обе сети стремятся к оптимизации своих функций потерь. Генератор пытается минимизировать вероятность того, что дискриминатор правильно классифицирует его выходные данные как поддельные, а дискриминатор пытается максимизировать свою точность в классификации.

В результате этого процесса обе сети становятся все более совершенными, что приводит к созданию высококачественных синтетических данных. GAN нашли широкое применение в различных областях, таких как создание изображений, видео, музыки и даже текстов.

Метод TVAE

TVAE (Тензорный Вариационный Автоэнкодер) – это модель, расширяющая вариационные автоэнкодеры (VAE) для работы с многомерными данными (тензорами), такими как изображения и временные ряды.

Основные компоненты:

1. Кодировщик: преобразует входные данные в латентное пространство, генерируя параметры распределения.

2. Декодировщик: восстанавливает оригинальные данные из латентного представления.

3. Вариационное предположение: оценивает вероятностное распределение латентных переменных для учета неопределенности.

Процесс обучения:

• Функция потерь: состоит из двух частей – реконструкции (качество восстановления данных) и регуляризации (KL-дивергенция).

• Обучение: использует градиентный спуск для минимизации функции потерь.

Гауссовская копула – это математический инструмент, который позволяет моделировать зависимость между многими случайными переменными, сохраняя при этом их маргинальные распределения. Она используется в синтезировании данных для создания многомерных выборок с заданными зависимостями.

Основные компоненты:

1. Копула: Функция, которая связывает многомерное распределение с его маргинальными распределениями. Гауссовская копула использует многомерное нормальное распределение для описания зависимости между переменными.

2. Маргинальные распределения: это индивидуальные распределения каждой переменной, которые могут быть различными (например, нормальными, экспоненциальными и т. д.).

Процесс синтезирования данных:

1. Определение маргинальных распределений: выбираются распределения для каждой переменной.

2. Параметризация копулы: определяются параметры зависимости (например, корреляционная матрица для гауссовской копулы).

3. Генерация зависимых данных: сначала генерируются независимые нормально распределенные случайные величины, которые затем преобразуются с помощью обратного преобразования маргинальных распределений.

Первым экспериментом было прямое сравнение методов генерации и оценка их используя методы оценки бибилотеки SDV.

Библиотека SDV (Synthetic Data Vault) использует несколько методов для оценки качества синтетических данных:

1. Сравнение распределений: Анализ распределений оригинальных и синтетических данных с помощью визуализаций (гистограммы) и статистических тестов (например, тест Колмогорова-Смирнова).

2. Метрики: Оценка точности с использованием метрик, таких как средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратичная ошибка (RMSE).

Результаты эксперимента

В ходе проведенного численного эксперимента, получены результаты влияния исходных размеров подвыборок и параметра оценки встроенного метода оценки, основанного на среднем показатели качества генерации на качество прогнозной модели. Результаты проведенного исследования показаны в Таблице 1.

Таблица 1. Средняя оценка качества генерации данных

Исходные размеры групп(строк)	**Наименование метода**		
	TVAE	**CTGAN**	**GaussianCopula**
16	0,72	0,74	0,86
30	0,79	0,78	0,73
60	0,79	0,78	0,61
120	0,68	0,81	0,57
240	0,73	0,84	0,57

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что выбор метода генерации зависит от специфики задачи: для данных с преобладанием числовых признаков и линейных зависимостей лучше всего подходит GaussianCopula, для категориальных данных и задач с несбалансированными классами оптимальным выбором является CTGAN, для сложных задач, требующих моделирования многомерных зависимостей, наиболее эффективным является TVAE.

Следующим этапом эксперимента было сравнение показателей оценки логистической регресии, модели были обучены на синтетических данных. Первая модель была оучена на оригинальной выборке, вторая на синтетических данных, полученных с использованием CTGAN.

Сравнительный анализ моделей, обученных на оригинальных и синтетических данных, показал, что синтетические данные могут быть использованы в качестве эффективной альтернативы при отсутствии доступа к реальным данным. Несмотря на небольшую разницу в AUC, обе модели продемонстрировали высокую предсказательную способность и схожую стабильность.

График ROC кривых оригинального датасета представлен на рис 1.

Рис. 1. ROC-кривые оригинльного датасета

График ROC кривых синтетического датасета представлен на рис. 2

Рис. 2. ROC-кривые синтетического датасета

Эти результаты подчеркивают важность дальнейшего исследования возможностей применения синтетических данных в различных областях, включая медицину, где конфиденциальность и безопасность данных являются приоритетами. Использование CTGAN для генерации синтетических данных открывает новые горизонты для разработки и тестирования моделей машинного обучения без риска нарушения прав пациентов или утечки конфиденциальной информации.

Результаты кросс-валидации:

- Для модели, построенной на синтетических данных результат:
- 0.74 accuracy with a standard deviation of 0.03
- Для модели, а оригинальных данных
- 0.85 accuracy with a standard deviation of 0.05

На основании представленных данных можно сделать вывод, что показатели являются приемлемыми. Точность модели на оригинальных данных (0.85) значительно превышает уровень 0.74 на синтетических данных, что указывает на более высокое качество и надежность модели. Стандартные отклонения также находятся в пределах допустимых значений, что свидетельствует о стабильности результатов.

Заключение

Результаты работы подтвердили высокую эффективность методов генерации синтетических данных для обучения моделей машинного обучения, что открывает новые возможности для решения задач, связанных с недостатком реальных данных. Применение синтетических данных позволяет не только обойти ограничения, связанные с конфиденциальностью и доступом к данным, но и создать более разнообразные выборки, что может повысить обобщающую способность моделей.

В заключение, можно отметить, что использование синтетических данных открывает новые горизонты в области анализа больших данных и машинного обучения. Это позволяет

исследователям и практикам разрабатывать более точные и надежные модели для решения сложных задач в медицине и других сферах. Синтетические данные могут стать ключевым инструментом в борьбе с недостатком информации и помогут создать более безопасные и эффективные системы принятия решений в здравоохранении. Авторы уверены, что дальнейшие исследования в этой области приведут к значительным прорывам и улучшениям в медицинской практике и научных исследованиях.

Список использованных источников

1. Губин Е.И., Котов А.О. Использование современных технологий синтезирования данных для медицинских исследований // Перспективы науки. – 2025. – № 3. – С. 10-12.

2. SDV Documentation. – [Электронный ресурс]. – URL: sdv.dev (дата обращения: 15.01.2025).

3. Мюллер А., Гвидо С. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными – М: 2016. – 2017. – С. 50-120, 135-196.

4. Документация Scikit-learn. – [Электронный ресурс]. – URL: scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html (дата обращения: 15.01.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ LLM-АГЕНТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОД-РЕВЬЮ

Рыбаченко И.А[1].
[1]*НИ ТПУ, ИШИТР, гр. А3-36, аспирант, iar12@tpu.ru*

Аннотация

В работе представлены результаты экспериментального исследования по применению LLM-агента для автоматизированного проведения код-ревью. Жизненный цикл предложенного LLM-агента основан на последовательном применении инструмента уточняющих вопросов и инструмента сохранения комментариев. Проведено сравнение сгенерированных LLM-агентом комментариев с эталонными комментариями, написанными человеком. Результаты демонстрируют потенциал LLM-агентов в автоматизации код-ревью, однако требуют дальнейшей доработки для повышения точности.

Ключевые слова: LLM, LLM-агент, software engineering, программная инженерия, автоматизация, код-ревью.

Введение

Большие языковые модели демонстрируют высокую эффективность в решении задач обработки естественного языка. По сравнению с более ранними моделями, например рекуррентными сетями, большие языковые модели демонстрируют более глубокое понимание контекста и неявных семантических связей. Специфические характеристики больших языковых моделей делают их хорошим вариантом для использования в качестве вычислительного ядра для агентных систем. В настоящее время активно исследуется возможность применения агентов, основанных на больших языковых моделях, для решения задач, связанных с разработкой программного обеспечения [1].

Разработка программного обеспечения включает множество задач, которые выглядят перспективными для автоматизации при помощи LLM-агентов. Агенты могут применяться для проектирования доменной модели приложения, для написания кода, для создания вопросно-ответной системы по кодовой базе и для множества других задач. В настоящей работе рассматривается вопрос применения LLM-агентов для решения задачи автоматизированного код-ревью.

Код-ревью – это процесс рецензирования кода, написанного разработчиками. Код-ревью применяется для повышения качества кода и для распространения знаний внутри команды. Сроки выполнения код-ревью напрямую влияют на метрику time-to-market, отражающую время между написанием кода и запуском кода для конечного пользователя. Своевременное получение комментариев разработчиком комментария к написанному коду позволит коду быстрее попасть в релиз. Автоматизация код-ревью позволяет получить обратную связь по написанному коду почти мгновенно в сравнении с ручным анализом. В настоящее время решения для автоматизации код-ревью активно развиваются [2].

Существует большое количество исследований, направленных на повышение качества работы LLM-агентов. Известно, что важным фактором, влияющим на качество ответа, сгенерированного большой языковой моделью, является контекст вопроса. Для формирования контекста может применяться технология RAG (Retrieval Augmented Generation). Для больших кодовых баз применяется деление кода на фрагменты и векторизация [3]. Одним из передовых направлений для решения задачи формирования контекста является агентный RAG [4].

Целью настоящей работы является разработка LLM-агента для автоматизации код-ревью. Для формирования контекста применяется агентный RAG. Для оценки качества разработанного агента выполняется экспертное сравнение комментариев, сгенерированных агентом и написанных человеком.

Архитектура LLM-агента

LLM-агент для код-ревью представляет собой программу, которая принимает на вход пулл-реквест (pull request) с изменениями кода, а на выходе выдает список комментариев к пулл-реквесту. Внутри LLM-агента происходит последовательный вызов предложенных инструментов до тех пор, пока ревью не будет завершено. Схема работы LLM-агента представлена на рисунке 1.

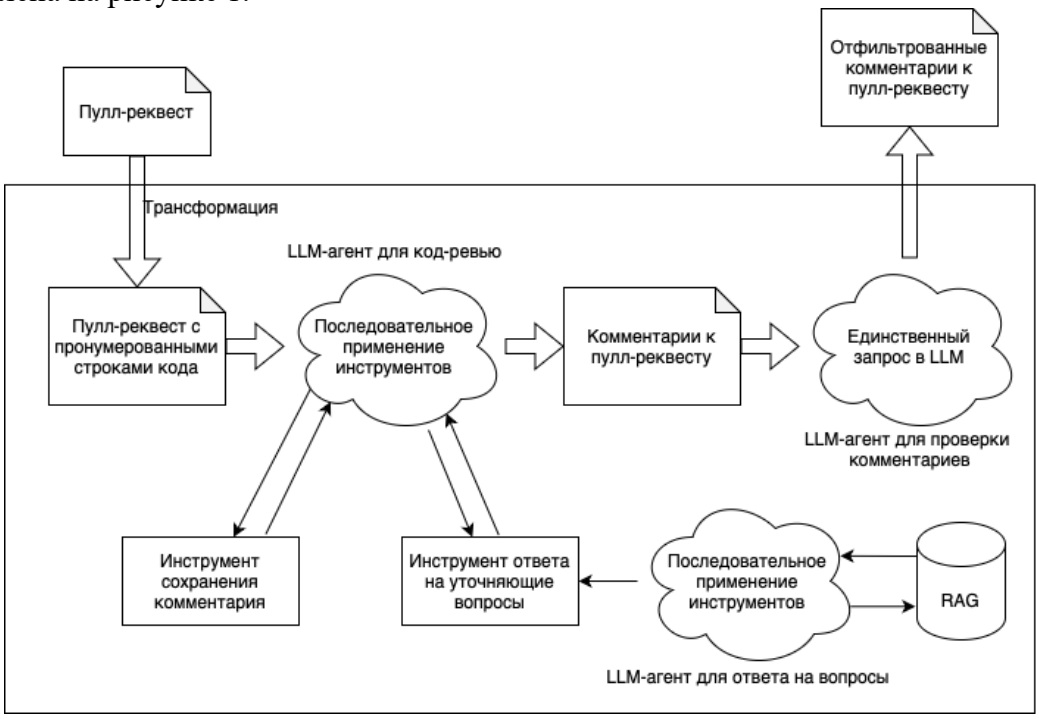


Рис. 1. Схема работы LLM-агента для код-ревью

Код-ревью выполняется двумя агентами – генерирующим и фильтрующим. Такая схема позволяет исключить малоинформативные и неоднозначные комментарии. Каждый комментарий, сгенерированный агентом, требует времени разработчика на ознакомление, поэтому точность (precision) является более приоритетной метрикой, чем полнота (recall).

Исходный пулл-реквест имеет формат следующего вида.

diff --git a/example.txt b/example.txt
index 83db48f..f735d3d 100644
--- a/example.txt
+++ b/example.txt
@@ -1,4 +1,4 @@
-Hello, world!
+Hello, Git world!
This is a sample file.

Пулл-реквест преобразуется к другому формату, в котором указываются номер строки в старом файле, номер строки в новом файле и тип операции. Ниже приведен пример преобразованного пулл-реквеста.

a/example.txt b/example.txt
O1 N- [DELETED] Hello, world!
O- N1 [ADDED] Hello,Git world!
O2 N2 [SAME] This is a sample file.

Преобразование пулл-реквеста из первого формата во второй необходимо для того, чтобы LLM-агент лучше понимал, к какой строке кода относятся изменения и имел возможность привязать комментарий в наиболее релевантной строке кода. Разработчикам проще воспринимать комментарии, привязанные к конкретной строке кода, чем к файлу целиком.

Ключевыми составляющими частями LLM-агента является системный промпт и набор инструментов. Системный промпт описывает набор правил, которыми должен руководствоваться агент при выполнении поставленной задачи. Набор инструментов должен быть достаточным для выполнения задачи, должен быть спроектирован в удобной для агента форме и должен быть хорошо задокументирован.

В качестве вычислительного движка агента использовался deepseek-r1 [5]. Для системного промпта использовался английский язык исходя из предположения, что deepseek-r1 лучше адаптирован к размышлениям на английском или китайском языке, чем на русском. Системный промпт агента для код-ревью имеет следующий формат.

You are a professional software developer. You are asked to make code review for given pull-request. You should follow this rules during the review:
- You should be polite. Add some compliment, if possible.
- Your comments should be concise.
- If you can't figure out the author's logic, you MUST try to clarify it.
- If you can't figure out the logic of code, you MUST try to clarify it.
- If you need some additional information elsewhere in the codebase, you MUST request it.
- Try to pin your comments to the most relevant code line.
- Finish the chat when you finished reviewing.
BEGIN DIFF
{place_holder}
END DIFF
You may use following tools to answer: {place_holder}
Your answer should be formatted as json and contain exactly one tool call. For example, {place_holder}

Агенту были предоставлены инструменты со следующими интерфейсами.

put_comment(is_critical: bool, file_name: str, line_number: str, comment: str)
ask_question(question: str)

Для каждого инструмента была написана документация с указанием примеров использования. Документация так же как и системный промпт писалась на английском языке.

Реализация агентов для RAG и для фильтрации сгенерированных комментариев остается за рамками данной работы. В данной работе вместо этих агентов использовались агенты-заглушки. Агент ответа на вопрос всегда отвечал сообщением «*I received you question and will answer later. Continue reviewing.*». Агент фильтрации комментариев всегда оставлял исходный список комментариев.

Результаты

Работа LLM-агента для код-ревью была проверена на 2 реальных пулл-реквестах, которые ранее были проверены человеком. Для каждого пулл-реквеста агент запускался 3 раза, дубликаты комментариев были устранены. В таблице 1 представлено сравнение комментариев, написанных человеком и LLM-агентом. Полезным комментарием назван комментарий, который был принят автором пулл-реквеста и привел к изменению кода.

Таблица 1. Сравнение комментариев, составленных человеком и LLM-агентом

	Человек		**LLM-агент**		**Сравнение человека и LLM-агента**		
Описание пулл-реквеста	Общее кол-во	Кол-во полезных	Общее кол-во	Кол-во полезных	Кол-во одинаковых	Кол-во новых полезных	Кол-во упущенных полезных
Рефакторинг	4	2	2	0	0	0	2
Сложная логика	5	2	10	1	0	1	2

Для проверки одного пулл-реквеста LLM-агент затрачивает в среднем 3 минуты. Сгенерированные комментарии являются лаконичными и обоснованными. Агент демонстрирует тенденцию к формулированию вопросов, направленных на уточнение логики кода. Это хорошо иллюстрируют следующие примеры:

Пример 1. JpaQueriesCount(48) seems high for this success scenario. Are all 48 queries necessary, or could there be opportunities for batch optimizations or caching to reduce database load?

Пример 2. The logic for retrieving the last PREPARING segment assumes there's exactly one COURIER or MOVEMENT segment. Could there be cases with multiple preparing segments of these types? If yes, how is the correct one selected?

Заключение

В настоящей работе была предложена структура мультиагентной программы для автоматизации код-ревью и продемонстрирована реализация LLM-агента, генерирующего комментарии для код-ревью. Анализ результатов работы агента показал, что сгенерированные комментарии являются обоснованными и лаконичными. Разработанный агент имеет тенденцию задавать уточняющие вопросы в комментариях. Перспективным направлением развития агента является интеграция RAG-системы и оптимизация системного промпта.

Список использованных источников

1. He J., Treude C., Lo D. LLM-Based Multi-Agent Systems for Software Engineering: Vision and the Road Ahead // arXiv e-prints. – 2024. – DOI: 10.48550/arXiv.2404.04834

2. Sun T., Xu J., Li Y., Yan Z., Zhang G., Xie L., Geng L., Wang Z., Chen Y., Lin Q., Duan W., Sui K. BitsAI-CR: Automated Code Review via LLM in Practice // arXiv e-prints. – 2025. – DOI: 10.48550/arXiv.2501.15134

3. Sheffer T. RAG for a codebase with 10k repos. – Текст: электронный. – 2024. – URL: qodo.ai/blog/rag-for-large-scale-code-repos/ (дата обращения 31.03.2025)

4. Singh A., Ehtesham A., Kumar S., Khoei T.T. Agentic Retrieval-Augmented Generation: A Survey on Agentic RAG // arXiv e-prints. – 2025. – DOI: 10.48550/arXiv.2501.09136

5. DeepSeek-AI. DeepSeek-R1: Incentivizing Reasoning Capability in LLMs via Reinforcement Learning. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/pdf/2501.12948 (дата обращения 31.03.2025)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЛАКОВ ТОЧЕК ОБЪЕКТОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Штайн В.А.
Томский политехнический университет, ИШИТР, студент гр. 8И12,
e-mail: vas136@tpu.ru

Аннотация

В данной работе описываются результаты процесса разработки модели для решения задачи семантической сегментации объектов помещений и интерьеров. Приведены результаты численных экспериментов на наборе данных ScanNet по метрикам Accuracy, IoU.

Ключевые слова: семантическая сегментация, облака точек, нейронные сети, PointNet, трёхмерное зрение.

Введение

Семантическая сегментация – одна из задач в области компьютерного зрения, целью которой является классификация отдельных пикселей (в случае изображений) или точек (в случае облаков точек).

Облака точек – данные, представляющие собой описание множества точек в трёхмерном пространстве. Для каждой точки, помимо самих координат, могут храниться метаданные – это может быть цвет, материал, класс, и другие признаки. Данные, как правило, получаются с использованием лазерных сканеров и характеризуются пространственной разреженностью.

Семантическая сегментация облаков точек актуальна для задач робототехники, навигации, инспекции зданий и планирования интерьеров, так как является их составной частью. Актуальность работы обусловлена практической потребностью в разработке моделей семантической сегментации облаков точек для анализа сцен, снятых внутри помещений при помощи LiDAR [1].

Целью работы является оценка эффективности применения архитектуры PointNet [2] для решения задачи семантической сегментации при обучении на выбранном наборе данных. На основе результатов будут предложены возможные модификации модели, а также оценена применимость для задач сегментации текущей её версии. Стоит отметить, что работа находится в процессе, и текущие результаты являются промежуточными.

Набор данных

Большинство работ, связанных с исследованием моделей для облаков точек, используют простые наборы данных с одиночными объектами, к примеру, ShapeNet [3], и ModelNet [4]. В некоторых сценариях один объект может содержать несколько классов – составных частей. Такие наборы данных приемлемы для базовых исследований, однако недостаточны для моделирования реальных сценариев.

В рамках данной работы была поставлена цель изучить применимость моделей для семантической сегментации облаков точек в условиях, приближенных к реальным. Следовательно, как и в случае с прикладными задачами для семантической сегментации изображений, стоит рассматривать для ответа на вопрос о применимости моделей составные сцены, включающие в себя множество объектов. Существует ряд наборов данных для таких задач - для улиц (дорог, деревьев, пешеходов, зданий), к примеру, KITTI [5], и для внутренних помещений (столы, стулья, стены), например, S3DIS [6] и ScanNet [7]. В рамках сравнения последних двух, был выбран ScanNet и его подмножество из 40 классов, так как он имеет большее количество сцен, комнат, и семантических категорий.

Предварительный анализ выбранного набора данных

На этапе общего обзора полученных данных было выяснено, что набор данных ScanNet имеет 40 классов, соответствующих разметке NYU40[8], и содержит один дополнительный класс для неразмеченных данных, приводя к 41 результирующему классу, для которого был произведён маппинг цветов для соответствия каждого класса своему цвету. Всего в наборе содержится 1513 сцен. Некоторые сцены представляют собой вариации 707 уникальных помещений, снятых в других условиях, или являющихся частью основных помещений (например, отдельно отсканированная ванная комната). Следовательно, в среднем, каждая сцена имеет две вариации. Координаты в наборе данных не нормализованы, каждая единица расстояния соответствует одному реальному метру.

В результате проведения статистического анализа по всем предоставленным в наборе сценам, было выяснено, что в среднем на сцену приходится около 150 тысяч точек. Средний размер помещений в выборке – приблизительно 5x5x2,4м. На основе этих результатов было принято решение о необходимости предобработки данных перед обучением модели. В целях повышения скорости обработки данных моделью для каждой сцены было проведено прореживание до десяти тысяч точек, выбранных случайным образом. Также была проведена нормализация координат, так как это предполагается оригинальной архитектурой PointNet.

Примеры проекций всех точек на плоскостях приведены на рис. 1.

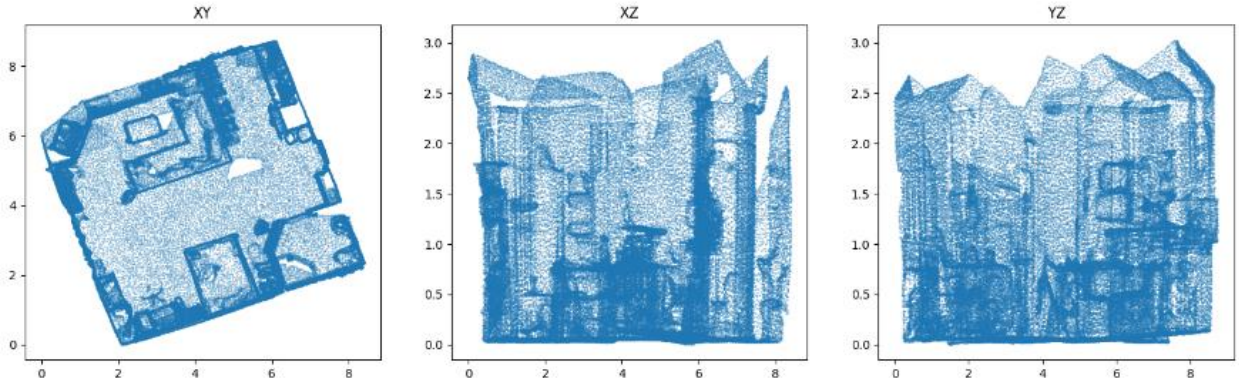


Рис. 1. Проекции точек в трёхмерном пространстве для сцены в ScanNet без нормализации координат

Разработка модели для семантической сегментации

В качестве основы для решения задачи семантической сегментации облака точек была выбрана оригинальная архитектура PointNet с блоком для сегментации, учитывающим помимо 1024 глобальных признаков, 64 локальных. Общая архитектура приведена на рис. 2.

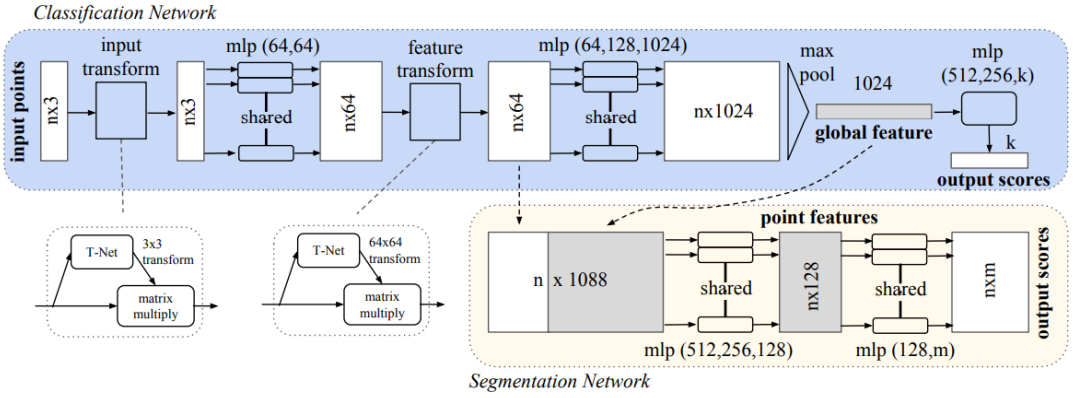


Рис. 2. Архитектура модели PointNet с блоком для семантической сегментации

В работе для выходных данных использовалась только ветка, отвечающая за семантическую сегментацию. Блок классификации в итоговой архитектуре не использовался.

Можно также отметить вспомогательный модуль преобразования T-Net, предназначенный для обеспечения инвариантности к аффинным преобразованиям. В результате её работы обучается матрица преобразования, обеспечивающая устойчивость к изменениям геометрических свойств объектов.

После того, как входные данные проходят через T-Net, они попадают в многослойный перцептрон, из которого при помощи max pooling создаётся глобальный вектор признаков. Этот глобальный вектор в нашем случае проходит также с объединёнными локальными признаками через блок семантической сегментации. Признаки извлекаются серией свёрток в полносвязных слоях, выдавая на выходе вероятности для k классов.

В ряде экспериментов [9-10] эмпирически доказана эффективность функций активации ACON и Swish сравнительно с ReLU и её модификациями – наблюдаемая точность на большинстве приведённых наборах данных выше без увеличения вычислительных затрат. На основании этого было предложено реализовать данные функции активации в качестве возможных улучшений оригинальной архитектуры.

Численные эксперименты

Для входных данных при обучении и валидации была выполнена предобработка – их координаты нормализованы, а каждая сцена была ограничена случайными подвыборками из десяти тысяч точек. Параметры обучения модели: размер батча равен 16, использовался оптимизатор Adam (lr=10e-4) с планировщиком, изменяющим параметр learning rate при отсутствии изменений метрики mIoU между эпохами. Основная функция потерь, используемая во время обучения – кросс-энтропия, для которой описана формула 1 ниже.

$$H(p,q) = -\sum_{x} p(x) * \log q(x), \quad (1)$$

где
x – класс
p(x) – истинное распределение вероятности для класса
q(x) – предсказанное распределение вероятности для класса

Помимо метрики mIoU и общей точности (overall accuracy), учитывалась средняя точность по классам (Mean Accuracy).

Результаты обучения оценивались с разными функциями активации, упомянутыми в предыдущем разделе – ReLU, Swish, ACON-C, формулы для которых определены формулами 2-4 соответственно.

$$ReLU(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0' \end{cases} \quad (2)$$

$$Swish(x) = x * \sigma(x) = x * \frac{1}{1 + e^{-x}}, \quad (3)$$

$$ACON\ C(x) = (p1 - p2) * x * \sigma(\beta x) + p2 * x, \quad (4)$$

где
p1 – нелинейная “Swish”-составляющая функции
p2 – линейная “ReLU”-составляющая функции
β – обучаемый параметр ACON-блока

Результаты обучения модели на 20 эпохах с разными функциями активации в слоях и соответствующие метрики на проверочном наборе данных приведены в таблице 1.

Таблица 1. Метрики сегментации сцен из тестовой выборки набора данных ScanNet

Функция активации	Overall Accuracy	Mean Accuracy	mIoU
ReLU	0.457	0.073	0.041
ACON-C	0.465	0.077	0.043
Swish	0.476	0.091	0.055

Лучшие показатели можно отметить для функции активации Swish. Работа находится в процессе, и подбор оптимальных гиперпараметров при этом не выполнялся. Пример предсказания лучшей модели с функцией активации Swish для одной из проверочных сцен продемонстрирован на рис. 3.

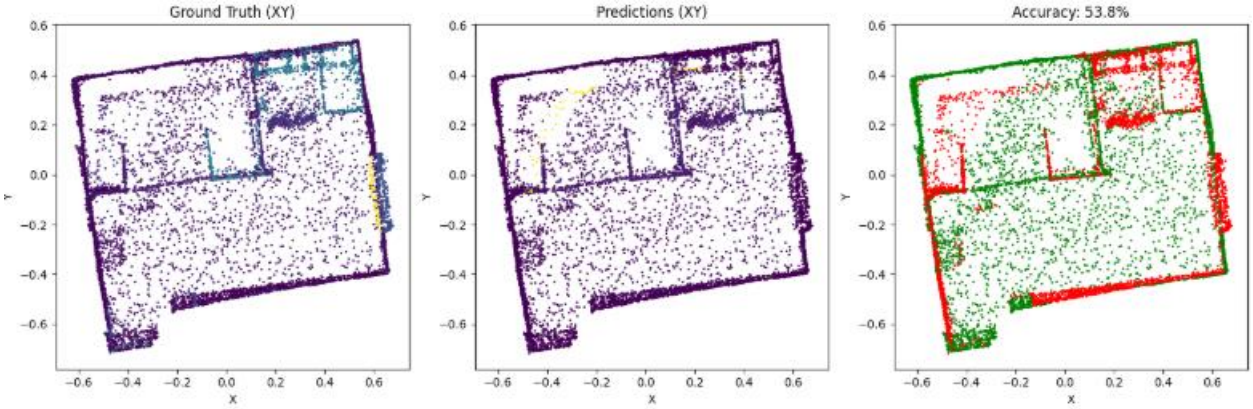


Рис. 3. Пример предсказания обученной модели:
слева – проекция с оригинальной разметкой сцены в цветах хранимых метаданных;
по центру – проекция предсказаний модели в цветах соответствующих классов;
справа – проекция с разметкой корректности предсказания, где красный – неверно предсказанный класс, зелёный – правильно предсказанный

Результаты и их обсуждение

В сужении до 10 лучших классов можно сделать вывод о том, какие модель определяет лучше всего – результаты продемонстрированы в таблице 2.

Таблица 2. Значения метрик для наиболее хорошо определяемых классов

Класс	IoU	Accuracy
Пол	0.740	0.987
Потолок	0.463	0.647
Стена	0.389	0.882
Стул	0.276	0.523
Кровать	0.093	0.175
Шкаф	0.093	0.128
Другой объект без класса (otherprop)	0.082	0.145
Душевая занавеска	0.057	0.058
Туалет	0.049	0.052
Ванна	0.037	0.041
Средние метрики	**0.228**	**0.364**

Классы в наборе данных были представлены несбалансированно, и модель обучилась определять лучше всего самые распространённые – пол, потолок, стены, стулья. Стены и пол

занимают около 45 % точек набора данных, в то время как ещё 10 % не размечены. Около 24 классов, по отдельности, представляют менее одного процента. Однако можно сделать вывод и об определении моделью признаков объектов – классы туалета и ванной распространены меньше, чем, например, классы дверей и окон, но предсказываются лучше.

Время инференса для одной сцены без учёта предобработки (нормализации) порядка одной секунды на примере среднего времени обработки на этапе валидации. На данном этапе разработки лучшее применение модели – семантическая сегментация отобранных классов, которые модель определяет с наилучшей точностью – к примеру, пола, стен и стульев.

Заключение

Для решения задачи семантической сегментации объектов в помещениях на примере модели PointNet с модифицированной архитектурой были проведены численные эксперименты для набора данных ScanNet.

Обученная модель подходит для решения задачи семантической сегментации конкретных классов, которые наиболее точно предсказываются – пола, стен, потолков, стульев. Для других классов точность недостаточно высока для однозначного определения объектов. Время инференса, если допустить возможность незначительных затрат на нормализацию, приемлемо для некоторых систем реального времени, не требующих быстрого реагирования, для сцен, сходных со средними параметрами сцен из набора данных ScanNet.

Возможными улучшениями для обучения модели могут быть улучшение архитектуры, балансировка классов, подбор оптимальных гиперпараметров при обучении.

Список использованных источников

1. The Basics of LiDAR - Light Detection and Ranging - Remote Sensing // NSF NEON: сайт. – URL: neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics (дата обращения 28.03.2025).
2. PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation / Charles R. Qi, Hao Su, Kaichun Mo, Leonidas J. Guibas // arXiv:1612.00593v2.
3. ShapeNet: сайт. – URL: shapenet.org/ (дата обращения 28.03.2025).
4. Princeton ModelNet: сайт. –URL: modelnet.cs.princeton.edu (дата обращения: 28.03.2025).
5. The KITTI Vision Benchmark Suite // svlibs.net: сайт. – URL: cvlibs.net/datasets/kitti/ (дата обращения 28.03.2025).
6. Stanford Large-Scale 3D Indoor Spaces Dataset (S3DIS) // Stanford Data Farm: сайт. – URL: redivis.com/datasets/9q3m-9w5pa1a2h (дата обращения 28.03.2025).
7. ScanNet: Richly-annotated 3D Reconstructions of Indoor Scenes // ScanNet: сайт. – URL: scan-net.org/ (дата обращения 28.03.2025).
8. NYU40 Semantic Labels Description // GitHub.com: сайт. – URL: github.com/apple/ml-hypersim/blob/main/code/cpp/tools/scene_annotation_tool/semantic_label_descs.csv (дата обращения 28.03.2025).
9. Activate or Not: Learning Customized Activation / Ningning Ma, Xiangyu Zhang, Ming Liu, Jian Sun // Computer Vision Foundation open access: сайт. – URL: openaccess.thecvf.com/content/CVPR2021/papers/Ma_Activate_or_Not_Learning_Customized_Activation_CVPR_2021_paper.pdf (дата обращения 28.03.2025).
10. Swish: A Self-Gated Activation Function / Prajit Ramachandran, Barret Zoph, Quoc V. Le // arXiv: 1710.05941v1.

ОБЗОР МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Залогин Н.Е[1].
Научный руководитель: Спицын В. Г [2].
[1]*НИ ТПУ, ИШИТР, гр. А4-39, аспирант, nez4@tpu.ru*
[2]*НИ ТПУ, ИШИТР, д.т.н., профессор ОИТ*

Аннотация

В статье представлен обзор современных методов машинного обучения, применяемых для моделирования физических процессов. Рассмотрены подходы суррогатного моделирования, физически информированные нейронные сети (PINNs), нейронные операторы и графовые нейронные сети. Проведен сравнительный анализ по критериям вычислительной эффективности, интерпретируемости и степени интеграции физических законов. Обозначены ограничения и направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: машинное обучение, моделирование физических процессов, суррогатное моделирование, физически информированные нейронные сети, нейронные операторы, графовые нейронные сети.

Введение

Моделирование физических процессов представляет собой ключевую задачу в вычислительной науке, где традиционные численные методы сталкиваются с ограничениями при работе с высокоразмерными и нелинейными системами. Развитие методов машинного обучения (МО) предлагает альтернативные подходы, включая суррогатное моделирование, физически информированные нейронные сети (PINNs), нейронные операторы (FNO) и графовые нейронные сети (GNN). Эти методы направлены на снижение вычислительных затрат и интеграцию физических законов в структуру моделей.

Целью данной работы является анализ современных методов МО для моделирования физических процессов, в контексте их возможностей, ограничений и областей применения. Обзор рассматривает как классические подходы к суррогатному моделированию, так и современные архитектуры, такие как FNO и GNN.

Методология исследования основана на систематическом анализе современных научных трудов, включая работы по суррогатному моделированию [1, 2], а также исследования по PINNs [3] и FNO [4]. Акцент сделан на оценке вычислительной эффективности, интерпретируемости результатов и степени интеграции физических законов. Выявлены ограничения, такие как зависимость от объёма обучающих данных и сложности оптимизации.

Статья структурирована по направлениям: суррогатное моделирование, PINNs, FNO и GNN. Такой подход позволяет выделить общие закономерности и перспективы развития методов МО в контексте физического моделирования.

Основная часть

Суррогатное моделирование направлено на замену ресурсоёмких вычислительных процедур упрощёнными аппроксиматорами, минимизирующими среднеквадратичную ошибку между исходной моделью $f(x)$ и её приближением $\hat{f}(x;\theta)$:

$$\min_{\theta} \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left\|f(x_i)-\hat{f}(x_i;\theta)\right\|^2, \quad (1)$$

где N – количество обучающих примеров, x_i – вектор входных параметров для i-го примера, $f(x_i)$ – истинное значение функции для i-го примера, $\hat{f}(x_i;\theta)$ – предсказанное моделью значение для i-го примера, θ – оптимизируемые параметры модели.

Работа [1] демонстрирует, как использование суррогатных моделей с методом конечных элементов для решения инженерных задач может ускорить расчёты. Авторы подробно

описывают механизмы приближения сложных систем и обсуждают процедуры выборки и валидации моделей, что позволяет обосновать их применение для задач прогнозирования, анализа чувствительности и оптимизации.

В исследованиях [2] нейронные сети и градиентный бустинг показали более высокую точность воспроизведения поведения агентно-ориентированных моделей по сравнению с гауссовскими процессами. Однако методы машинного обучения требуют тщательной настройки параметров и не всегда обеспечивают надёжные оценки неопределённости.

Метод, предложенный в работе [5], комбинирует анализ главных компонент (PCA) и активные подпространства для снижения размерности входных и выходных данных. Это сокращает вычислительные затраты при моделировании остаточных напряжений в аддитивном производстве, но точность модели зависит от качества структурированных данных и сложности аппроксимации нелинейных зависимостей.

Работы [6, 7] исследуют адаптивное обучение и альтернативные методы, такие как нелинейный метод опорных векторов (SVM), для улучшения суррогатных моделей. Ключевым вызовом остаётся оптимизация соотношения между объёмом обучающих данных и вычислительной эффективностью.

Основные преимущества суррогатного моделирования включают снижение вычислительной нагрузки. К ограничениям относятся зависимость точности от структуры данных, сложность балансировки между обобщающей способностью и архитектурой модели, а также необходимость разработки методов оценки неопределённости.

Физически информированные нейронные сети (PINNs) интегрируют дифференциальные уравнения, описывающие физические законы, в функцию потерь модели. Основная функция потерь объединяет два компонента: соответствие данным и соблюдение физических уравнений. Формально это выражается как:

$$L(\theta) = \frac{1}{N_d}\sum_{i=1}^{N_d}\left(u(x_i;\theta) - u_{data}(x_i)\right)^2 + \lambda\frac{1}{N_f}\sum_{j=1}^{N_f}\left(N\left(u(x_j;\theta)\right)\right)^2, \quad (2)$$

где N_d – число точек данных, N_f – число точек для оценки физического соответствия, N – оператор, задающий физическое уравнение, $u_{data}(x)$ – известное значение в точке, $u(x;\theta)$ – предсказание модели в точке, λ – коэффициент, балансирующий вклад двух составляющих.

В работе [3] метод PINNs применён для решения прямых и обратных задач, включая уравнения Навье-Стокса и теплопроводности. Последующие исследования, такие как [8], демонстрируют использование PINNs для идентификации повреждений в пластинах на основе уравнений теории Кирхгофа-Лява. Модели обучаются на ограниченных экспериментальных данных, генерируя «псевдо-идеальные» поля, что позволяет выделить аномалии, вызванные дефектами. В исследовании [9] PINNs применены для идентификации нелинейных повреждений в железобетонных опорах мостов через оценку примерно 50 динамических параметров. Интеграция физических уравнений позволила уменьшить ошибки оценок до 0.4-3.1 % при зашумлённых данных.

Одной из проблем PINNs является дисбаланс градиентов (gradient pathology) – явление, при котором компоненты функции потерь (физические уравнения и данные) генерируют градиенты разного масштаба, нарушая сходимость оптимизации., возникающий из-за конкуренции между членами функции потерь. В работе [10] предложен метод TSS-PINN, масштабирующий переменные в уравнениях и нейросети. Это позволяет снизить жёсткость градиентов на границах, что подтверждено экспериментами на задачах неразрушающего контроля корпусных конструкций. В то же время эксперименты в исследовании [11] выявили, что дисбаланс градиентов обусловлен численной жёсткостью градиентного потока, приводящей к нестабильности обучения. Для её устранения предложены адаптивные стратегии масштабирования скорости обучения и модификации архитектур. Например, алгоритмы, основанные на статистике градиентов, повысили точность предсказаний на порядок.

Основные преимущества данного подхода заключаются в повышенной точности и возможности решения обратных задач. Ограничения включают зависимость от баланса коэффициента λ, вычислительную сложность для систем с большим числом параметров.

Нейронные операторы, такие как нейронный оператор Фурье (FNO), обучают отображения между функциональными пространствами, аппроксимируя решения семейств дифференциальных уравнений. Архитектура FNO включает прямое и обратное преобразования Фурье для параметризации интегральных ядер:

$$v_{t+1}(x) = \sigma\left(\mathrm{W}v_t(x) + \mathcal{F}^{-1}\left(R \cdot \mathcal{F}(v_t)(k)\right)(x)\right), \quad (3)$$

где $v_t(x)$ – скрытое представление на шаге t в точке x; W – обучаемая матрица весов; F и F^{-1} – прямое и обратное преобразования Фурье; R – обучаемый фильтр в пространстве Фурье; σ – функция активации.

В работе [4] FNO применён для решения параметрических уравнений в частных производных, демонстрируя увеличенную скорость вычислений на три порядка выше классических методов. Модификация Geo-FNO из работы [12] расширяет применимость метода на произвольные геометрии путём деформации физического пространства в латентное с равномерной сеткой, сохраняя вычислительную эффективность.

Интеграция линейного внимания в исследовании [13] снижает сложность вычислений с $O(n^2)$ до $O(n)$, улучшая точность моделирования трёхмерной турбулентности. В работе [14] предложен неявный нейронный оператор Фурье (IFNO), который обучается на экспериментальных данных для прогнозирования механических откликов материалов, превосходя классические конститутивные модели по устойчивости к шуму. Однако IFNO требует итеративных процедур, увеличивающих время обучения.

Основные преимущества выражаются в возможности моделирования целых семейств дифференциальных уравнений и снижении вычислительной сложности. Ограничения включают зависимость от объёма обучающих данных и сложность интерпретации многоуровневых преобразований.

Графовые нейронные сети (GNN) Графовые нейронные сети применяются для моделирования физических процессов, где данные представлены в виде графов, таких как микроструктуры материалов или динамические системы. Основу метода составляет схема передачи сообщений, формализуемая как:

$$h_i^{(l+1)} = \sigma\left(W^{(l)} h_i^{(l)} + \sum_{j \in N(i)} \phi\left(h_i^{(l)}, h_i^{(l)}, e_{ij}\right)\right) \quad (4)$$

где $h_i^{(l)}$ – представление узла i на слое l; $W^{(l)}$ – матрица весов на слое l; $N(i)$ – множество соседних узлов для узла i; функция, ϕ – функция генерации сообщений на основе признаков узлов и рёбер e_{ij}, e_{ij} – признаки ребра между узлами i и j; σ – функция активации.

В работе [15] GNN использованы для прогнозирования усталостных повреждений в ферритной стали. Микроструктура представлена графом, где узлы соответствуют зернам (grains), а рёбра – границам между ними. Метод обеспечил точность классификации повреждений на 72 %, превзойдя феноменологические модели и обычное машинное обучение на 68 % и 17 % соответственно. Модель, использованная в работе [16] вводит симметричное кодирование направлений для обеспечения макроскопической эквивариантности, что позволяет декомпозировать нормальные и тангенциальные взаимодействия в динамике твёрдых тел.

Исследование [17] демонстрирует применение GNN для прогнозирования полей перемещений и напряжений в конструкциях при динамических нагрузках. Итеративная схема предсказания сокращает время вычислений на порядок по сравнению с методами SPH, но обобщаемость на новые типы структур требует дополнительной валидации.

В работе [18] GNN использованы для моделирования полей деформаций в композитах и решётчатых метаматериалах. Модель преобразует конечно-элементные сетки в графы,

обучаясь на нескольких сотнях симуляционных данных, и воспроизводит нелинейные явления, такие как пластичность и потеря устойчивости. Время предсказания сокращено до долей секунды против часов для методов конечных элементов (МКЭ). Однако точность зависит от плотности обучающих данных, а обобщаемость на новые граничные условия ограничена.

GNN эффективно моделируют топологические зависимости и сокращают вычислительные затраты. К ограничениям относятся сложности масштабирования на большие графы, зависимость от качества данных.

Обсуждение

Анализ современных методов машинного обучения для моделирования физических процессов выявил ограничения и проблематику. Суррогатное моделирование, как показано в работах [1, 2, 5–7], сокращает вычислительные затраты за счёт аппроксимации ресурсоёмких моделей, но сталкивается с зависимостью от объёма обучающих данных и сложностями интерпретации. Физически информированные нейронные сети (PINNs), интегрирующие дифференциальные уравнения в функцию потерь [3, 8–10], демонстрируют потенциал для решения обратных задач, однако дисбаланс градиентов (gradient pathology) замедляет сходимость. Исследование [11] предлагает адаптивные стратегии масштабирования и модификации архитектур для смягчения этой проблемы.

Нейронные операторы, такие как FNO [4, 12-14], обеспечивают эффективное моделирование семейств уравнений, но требуют значительных объёмов данных и усложняют интерпретацию многоуровневых преобразований. Графовые нейронные сети (GNN), применяемые для анализа микроструктур [15] и динамики материалов [16-18], эффективно работают с дискретными данными, однако их масштабируемость ограничена вычислительными ресурсами и сложностью обработки крупных графов.

Методы суррогатного моделирования, PINNs, FNO и GNN демонстрируют такие преимущества, как снижение вычислительной нагрузки, интеграция физических законов, аппроксимация семейств уравнений и анализ топологических зависимостей. Однако сохраняются проблемы оптимизации обучения, интерпретируемости и устойчивости к изменениям параметров.

Перспективным направлением в данной области является разработка гибридных подходов, объединяющих сильные стороны различных методов. Например, работа [19] предлагает графовые суррогатные модели с трансферным обучением, что снижает потребность в данных и повышает обобщаемость. Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию физических ограничений в архитектуры FNO, применение адаптивного обучения для GNN и оптимизацию баланса между точностью и вычислительной эффективностью. Главной задачей остаётся создание универсальных моделей, способных адаптироваться к многомасштабным и мультифизическим задачам, сохраняя интерпретируемость и устойчивость.

Заключение

Проведенный анализ методов машинного обучения для моделирования физических процессов выявил их потенциал в снижении вычислительных затрат и повышении точности предсказаний. Каждая из рассмотренных методик – суррогатное моделирование, физически информированные нейронные сети (PINNs), нейронные операторы (FNO) и графовые нейронные сети (GNN) – демонстрирует специфические преимущества и ограничения.

Суррогатные модели и PINNs обеспечивают эффективное решение инженерных задач за счет сочетания физических законов с данными наблюдений, в то время как FNO и GNN расширяют возможности моделирования семейств дифференциальных уравнений и сложных структурных систем. Однако сохраняются проблемы, связанные с объемом обучающих данных, вычислительной эффективностью и интерпретируемостью результатов.

Перспективным направлением является разработка гибридных подходов, интегрирующих преимущества различных методов. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на оптимизации архитектур моделей, совершенствовании алгоритмов обучения и повышении интерпретируемости. Что позволит расширить применение методов машинного обучения как в инженерной практике, так и в различных исследованиях.

Список использованных источников

1. Kudela J., Matousek R. Recent advances and applications of surrogate models for finite element method computations: a review // Soft Computing. – 2022. – Vol. 26. – № 24. – P. 13709-13733.
2. Angione C., Silverman E., Yaneske E. Using machine learning as a surrogate model for agent-based simulations // Plos one. – 2022. – Vol. 17. – № 2. – P. e0263150.
3. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations // Journal of Computational physics. – 2019. – Vol. 378. – P. 686-707.
4. Li Z. et al. Fourier neural operator for parametric partial differential equations //arXiv preprint arXiv:2010.08895. – 2020.
5. Vohra M. et al. Fast surrogate modeling using dimensionality reduction in model inputs and field output: Application to additive manufacturing //Reliability engineering & system safety. – 2020. – Vol. 201. – P. 106986.
6. Guo Y. et al. Active learning for adaptive surrogate model improvement in high-dimensional problems // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2024. – Vol. 67. – № 7. – P. 122.
7. Kim J., Yi S., Wang Z. Dimensionality reduction can be used as a surrogate model for high-dimensional forward uncertainty quantification // arXiv preprint arXiv:2402.04582. – 2024.
8. Zhou W., Xu Y. F. Damage identification for plate structures using physics-informed neural networks // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2024. – Vol. 209. – P. 111111.
9. Yamaguchi T., Mizutani T. A Physics‐Informed Neural Network for the Nonlinear Damage Identification in a Reinforced Concrete Bridge Pier Using Seismic Responses //Structural Control and Health Monitoring. – 2024. – Vol. 2024. – № 1. – P. 5532909.
10. Chen X. et al. A two-step scaled physics-informed neural network for non-destructive testing of hull rib damage // Ocean Engineering. – 2025. – Vol. 319. – P. 120260.
11. Wang S., Teng Y., Perdikaris P. Understanding and mitigating gradient flow pathologies in physics-informed neural networks // SIAM Journal on Scientific Computing. – 2021. – Vol. 43. – № 5. – P. A3055-A3081.
12. Li Z. et al. Fourier neural operator with learned deformations for pdes on general geometries // Journal of Machine Learning Research. – 2023. – Vol. 24. – № 388. – P. 1-26.
13. Peng W. et al. Linear attention coupled Fourier neural operator for simulation of three-dimensional turbulence // Physics of Fluids. – 2023. – Vol. 35. – № 1.
14. You H. et al. Learning deep implicit Fourier neural operators (IFNOs) with applications to heterogeneous material modeling // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 2022. – Vol. 398. – P. 115296.
15. Thomas A. et al. Materials fatigue prediction using graph neural networks on microstructure representations // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 12562.
16. Li B. et al. Learning solid dynamics with graph neural network //Information Sciences. – 2024. – Vol. 676. – P. 120791.
17. Li Q. et al. Machine learning prediction of structural dynamic responses using graph neural networks // Computers & Structures. – 2023. – Vol. 289. – P. 107188.
18. Maurizi M., Gao C., Berto F. Predicting stress, strain and deformation fields in materials and structures with graph neural networks // Scientific reports. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 21834.
19. Whalen E. J. Enhancing surrogate models of engineering structures with graph-based and physics-informed learning: Diss. – Massachusetts Institute of Technology, 2021.

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПЕКТРОСКОПИИ

Новоселов И.Е.[1], Бакланова О.Е.[2]
[1]НИ ТГУ, ИПМКН, аспирант, novoselov-ie@yandex.ru
[1]НИ ТГУ, ИПМКН, доцент, канд. физ.-мат. наук, доцент каф. ТОИ

Аннотация

В работе предложен подход к прогнозированию физико-химических свойств почвы на основе данных спектроскопии видимого и ближнего инфракрасного диапазона (Vis-NIR) с использованием алгоритма градиентного бустинга (XGBoost). Проведена предварительная обработка данных, включая нормализацию, удаление выбросов и интерполяцию спектров. Результаты показывают, что предложенная модель превосходит традиционные методы машинного обучения по точности прогнозирования содержания органического углерода, азота и карбонатов кальция.

Ключевые слова: машинное обучение, градиентный бустинг, анализ почвы, точное земледелие.

Введение

Современное сельское хозяйство требует точного и оперативного анализа почвенных свойств для эффективного управления ресурсами. Одним из перспективных методов является спектроскопия в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах (Vis-NIR), которая позволяет быстро оценивать химический состав почвы без длительных лабораторных исследований [1]. Однако анализ спектральных данных осложняется наличием шумов и перекрывающихся полос поглощения, что требует применения современных методов машинного обучения.

Традиционные методы, такие как частичная регрессия наименьших квадратов (PLSR) и метод опорных векторов (SVM), показывают ограниченную эффективность при работе с большими объемами данных [2, 3]. В последние годы градиентный бустинг, в частности алгоритм XGBoost, зарекомендовал себя как мощный инструмент для задач регрессии и классификации благодаря своей способности эффективно обрабатывать сложные зависимости в данных [4].

В данной работе исследуется применение XGBoost для анализа данных LUCAS, включающих спектры более 20 000 почвенных образцов. Проведена предварительная обработка данных: удалены выбросы, применена нормализация (StandardScaler для химических параметров и MinMaxScaler для спектров), а также выполнена интерполяция спектров с целью уменьшения их размерности для адаптации под портативные спектрометры. Оптимизация гиперпараметров модели проводилась с помощью GridSearch. Результаты модели на полной и интерполированной выборке сравнивались по метрикам R^2 и RPD, что позволило оценить влияние снижения размерности спектров на точность предсказаний.

Основная часть

Алгоритм XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) является одним из наиболее эффективных методов машинного обучения для задач регрессии и классификации. Он основан на принципе градиентного бустинга, который заключается в последовательном построении ансамбля деревьев решений, где каждое новое дерево корректирует ошибки предыдущих. Основная идея XGBoost заключается в минимизации функции потерь с использованием градиентного спуска, что позволяет модели эффективно обучаться на сложных данных, таких как спектры видимого и ближнего инфракрасного диапазона (Vis-NIR) [5].

Математическая основа XGBoost:

Формально, цель XGBoost – минимизировать следующую функцию потерь:

$$L(\phi) = \sum_{i=1}^{n} l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_{k=1}^{K} \Omega(f_k), \quad (1)$$

где

y_i – истинное значение целевой переменной для i-го образца,

$\hat{y}_i$ – предсказанное значение,

$l(y_i, \hat{y}_i)$ – функция потерь, измеряющая отклонение предсказания от истинного значения,

$\Omega(f_k)$ – регуляризационный член, который штрафует сложность модели и предотвращает переобучение.

Каждое дерево f_k в ансамбле добавляется последовательно, и на каждом шаге вычисляются градиенты и гессианы функции потерь:

$$g_i = \frac{\partial l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)})}{\partial \hat{y}_i^{(t-1)}}, \; h_i = \frac{\partial^2 l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)})}{\partial (\hat{y}_i^{(t-1)})^2}, \quad (2)$$

где g_i и h_i – градиент и гессиан соответственно. Эти значения используются для построения следующего дерева, которое минимизирует остаточные ошибки.

Преимущества XGBoost:

Высокая скорость обучения: благодаря оптимизации вычислений и параллелизации, XGBoost работает значительно быстрее многих других алгоритмов бустинга.

Регуляризация: Встроенные механизмы регуляризации (L1 и L2) позволяют контролировать сложность модели и предотвращать переобучение.

Работа с пропущенными данными: Алгоритм автоматически обрабатывает пропущенные значения, что делает его удобным для работы с реальными данными.

Гибкость: XGBoost поддерживает различные функции потерь и метрики качества, что позволяет адаптировать его под конкретные задачи.

На рисунке 1 представлена схема работы XGBoost, где каждое новое дерево корректирует ошибки предыдущих. Визуализация деревьев позволяет понять, как модель принимает решения на основе входных данных. Например, для спектроскопических данных, каждое дерево может выделять ключевые спектральные диапазоны, связанные с содержанием органического углерода или азота.

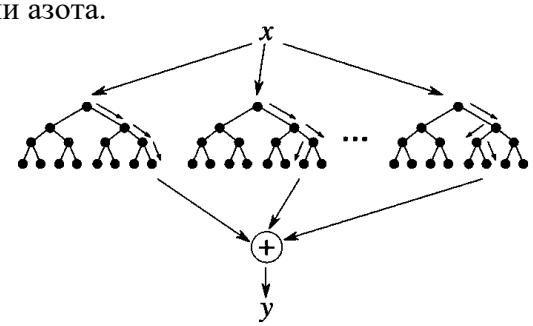


Рис. 1. Схема работы XGBoost: последовательное построение деревьев и корректировка ошибок.

Датасет LUCAS и предварительная обработка данных

Для проведения исследований использовался датасет LUCAS (Land Use/Cover Area Frame Survey), который содержит спектры и физико-химические свойства более 20 000 образцов почвы, собранных по всей территории Европейского Союза [6]. Спектры почвенного покрытия измерены в диапазоне 400–2500 нм с шагом 0.5 нм, что обеспечивает детализированное представление видимого и ближнего инфракрасного диапазона (Vis-NIR). Каждый образец включает данные о содержании органического углерода (OC), азота (N),

карбонатов кальция ($CaCO_3$), а также гранулометрический состав (глина, ил, песок) и кислотность (pH). На рисунке 2 представлены примеры спектров из датасета LUCAS, где видно, что спектры имеют сложную структуру с множеством пиков и провалов, связанных с поглощением света различными химическими компонентами почвы.

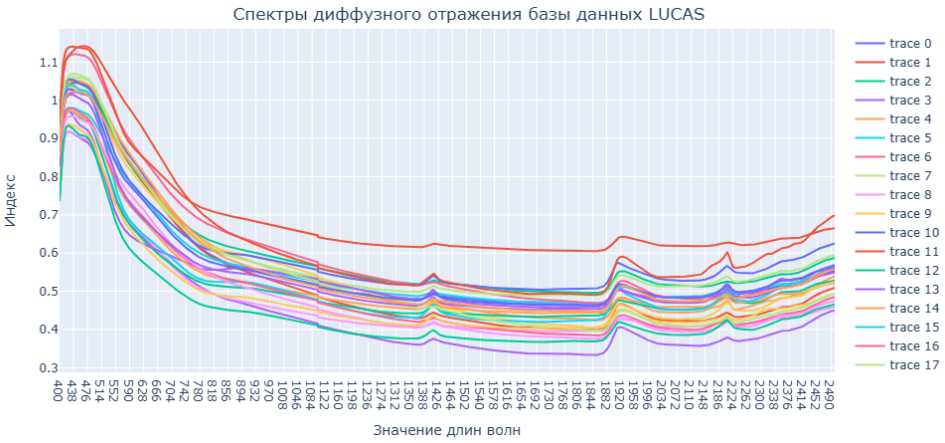


Рис. 2. Примеры спектров из датасета LUCAS

Предварительная обработка данных

Для повышения качества анализа и улучшения производительности модели была проведена предварительная обработка данных, включающая следующие этапы:

1. Удаление выбросов

На начальном этапе были удалены экстремальные значения (выбросы) в данных. Для этого использовался анализ гистограмм распределения химических параметров (рисунок 3). Выбросы могли быть вызваны ошибками измерения или нерепрезентативными образцами. Удаление таких данных позволяет улучшить стабильность модели и повысить точность прогнозирования.

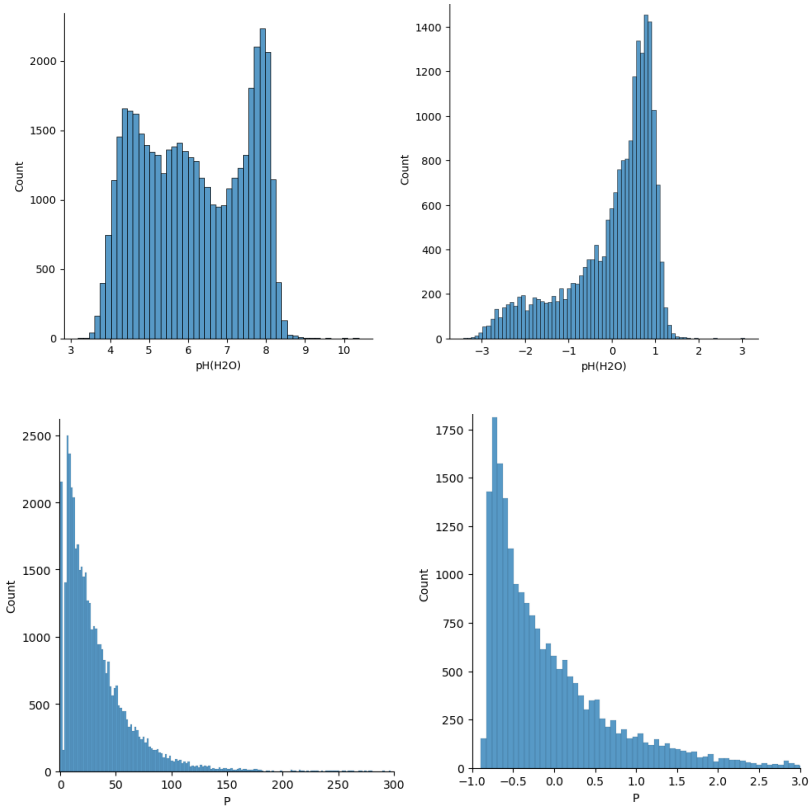


Рис. 3. Гистограммы распределения содержания pH и P почвы до и после удаления выбросов

2. Нормализация и стандартизация данных

Для приведения данных к единому масштабу и улучшения сходимости алгоритма обучения была применена нормализация спектров и стандартизация химических параметров.

• **Нормализация спектров** выполнялась с использованием MinMaxScaler, который преобразует данные в диапазон [0, 1] по формуле:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (3)$$

где X – исходное значение спектра, $Xmin$ и $Xmax$ – минимальное и максимальное значения спектра.

• **Стандартизация химических параметров** проводилась с помощью StandardScaler, который приводит данные к распределению с нулевым средним и единичной дисперсией:

$$X_{norm} = \frac{X - \mu}{\sigma}, \quad (4)$$

где μ – среднее значение, σ – стандартное отклонение.

3. Интерполяция спектров:

Для адаптации модели к портативным спектрометрам, которые имеют ограниченное количество точек измерения, была выполнена интерполяция спектров. Исходные спектры, содержащие 4200 точек, были сокращены до 500 точек с использованием кубической интерполяции. Это позволило уменьшить размерность данных без потери ключевых спектральных особенностей. Интерполяция проводилась по формуле:

$$S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3, \quad (5)$$

где a_i, b_i, c_i, d_i – коэффициенты сплайна, определяемые из условий непрерывности и гладкости.

Интерполяция спектров была выполнена с целью адаптации модели к данным, полученным с помощью портативных спектрометров, которые обычно имеют меньшее количество точек измерения (около 500 точек). Это позволяет использовать модель в полевых условиях для оперативного анализа почвенных свойств.

Поиск параметров с помощью GridSearch

Для подбора оптимальных гиперпараметров модели XGBoost использовался метод GridSearchCV из библиотеки scikit-learn. Этот метод позволяет проводить exhaustive search (полный перебор) по заданной сетке параметров, что обеспечивает нахождение наилучшей комбинации гиперпараметров для минимизации функции потерь [7]. GridSearchCV особенно полезен для задач, где количество параметров велико, а их влияние на результат неочевидно.

Преимущества GridSearch:

• Полный перебор: гарантирует нахождение оптимальных параметров в пределах заданной сетки.

• Кросс-валидация: позволяет оценить устойчивость модели к различным подвыборкам данных.

• Автоматизация: упрощает процесс подбора параметров, особенно для сложных моделей, таких как XGBoost.

Подобранные параметры:

В результате работы GridSearch были найдены следующие оптимальные параметры для модели XGBoost (табл.1):

Таблица 1. Оптимальные параметры модели XGBoost подобранные с помощью GridSearch

Параметры	Значения
lambda	*8.497760459260604*
alpha	*8.929957656606387*
eta	*0.8*
gamma	*20*
learning_rate	*0.018*
colsample_bytree	*1.0*
colsample_bynode	*1.0*
n_estimators	*895*
min_child_weight	*16*
max_depth	*4*
subsample	*0.5*
device	*"cuda"*
objective	*'reg:squarederror'*
eval_metric	*'rmse'*
tree_method	*'hist'*
n_estimators	*5000*

Описание ключевых параметров:

learning_rate (eta): Параметр, контролирующий скорость обучения. Значение 0.018 было выбрано для баланса между скоростью сходимости и точностью модели. Меньшие значения learning_rate требуют большего количества деревьев, но снижают риск переобучения.

max_depth: Максимальная глубина дерева. Значение 4 было выбрано для предотвращения переобучения, так как более глубокие деревья могут захватывать шумы в данных.

subsample: Доля образцов, используемых для обучения каждого дерева. Значение 0.5 позволяет модели быть более устойчивой к выбросам и шумам.

gamma: Минимальное снижение потерь для разделения узла. Высокое значение (20) было выбрано для предотвращения излишнего усложнения модели.

n_estimators: Количество деревьев в ансамбле. Значение 5000 обеспечивает достаточную сложность модели для захвата всех зависимостей в данных.

Обучение на полных данных:

Обучение модели проводилось на графическом процессоре NVIDIA A6000, что позволило значительно ускорить процесс. Время обучения на полных данных (4200 точек спектра) составило около 3 часов. На рисунке 5 представлены деревья, построенные на первых двух эпохах обучения. Видно, что модель начинает захватывать ключевые зависимости в данных уже на ранних этапах.

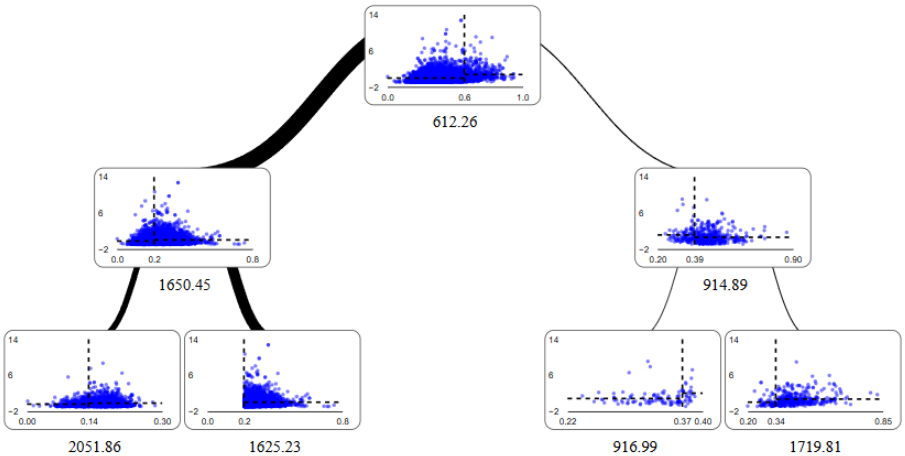


Рис. 5. Деревья, построенные на первых двух эпохах обучения

Обучение на интерполированных данных:

После интерполяции спектров до 500 точек время обучения сократилось до 45 минут. Это связано с уменьшением размерности данных и, как следствие, снижением вычислительной сложности. При этом точность модели не изменилась.

Оценка модели

В этом исследовании в качестве метрик оценки производительности используются коэффициент детерминации (R^2), корень среднеквадратичной ошибки (RMSE) и относительное отклонение прогноза (RPD). R^2 используется для оценки соответствия между прогнозируемыми значениями модели и фактическими наблюдениями, при этом значения, приближающиеся к 1, указывают на большую точность модели. RMSE представляет собой среднее отклонение между прогнозируемыми и фактическими значениями, при этом более низкие значения означают более высокую производительность. RPD, рассчитанный как отношение стандартного отклонения к RMSE, используется для оценки точности модели, где значение больше 2 предполагает расширенные возможности прогнозирования. Их формулы расчета приведены в уравнениях (6)–(8) соответственно:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2}, \tag{6}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}, \tag{7}$$

$$RPD = \frac{SD}{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2} \Big/ \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}, \tag{8}$$

При прогнозной оценке моделей RPD является важным показателем для оценки точности модели. Чем выше значение RPD, тем лучше прогностическая способность модели (табл. 3). В частности, RPD больше 3 указывает на то, что модель является отличной моделью (ранг A); RPD от 2,5 до 3,0 указывает на то, что модель является хорошей моделью (ранг B); RPD от 2,0 до 2,5 указывает на то, что модель является приблизительной моделью (ранг C); в то время как RPD менее 2,0 указывает на то, что модель неудовлетворительна (ранг D)

Таблица 2. Классификационные уровни относительного отклонения прогноза (RPD)

RPD	Значение	Показатель
RPD > 3	Отличная модель	A
2.5 < RPD < 3	Хорошая модель	B
2.0 < RPD < 2.5	Удовлетворительная модель	C
RPD < 2	Неудовлетворительная модель	D

Результаты

В данном исследовании была проведена оценка эффективности модели XGBoost на двух наборах данных: оригинальных спектрах (4200 точек) и интерполированных спектрах (500 точек). Для оценки качества модели использовались метрики R^2 (коэффициент детерминации) и RPD (отношение прогноза к отклонению). Результаты показали, что интерполяция спектров не привела к значительной потере точности модели, что подтверждает возможность использования интерполированных данных для анализа с помощью портативных спектрометров.

На рисунке 6 представлены точечные диаграммы, демонстрирующие корреляцию между измеренными и предсказанными значениями для ключевых параметров почвы: органического углерода (OC), карбонатов кальция ($CaCO_3$), азота (N), фосфора (P) и калия (K). Видно, что

модель демонстрирует высокую точность для OC, $CaCO_3$ и N, с коэффициентами детерминации (R^2) выше 0.9. Для P и K точность ниже (рисунок 7), что может быть связано с меньшей выраженностью их спектральных характеристик.

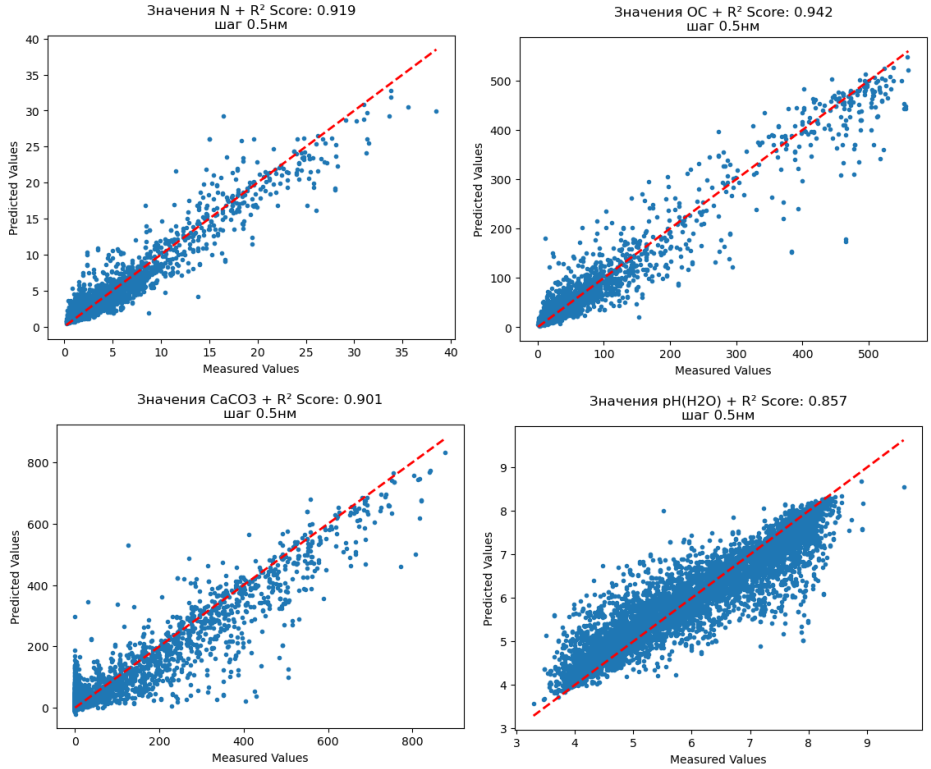


Рис. 6. Точечные диаграммы сравнения измеренных и прогнозируемых значений некоторых свойств почвы с использованием модели XGBoost с отличной производительностью оценки OC, $CaCO_3$, N и pH(H_2O)

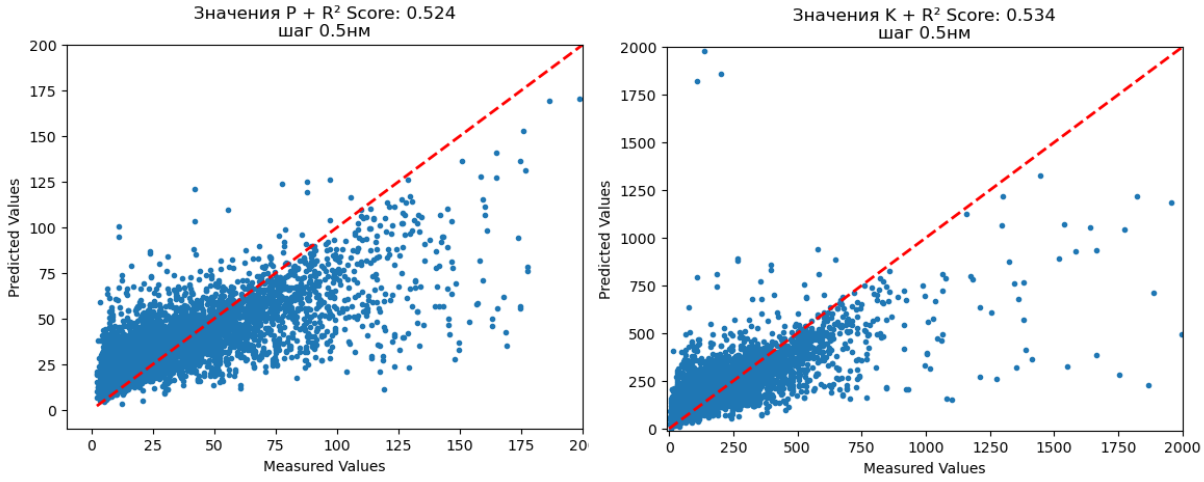


Рис. 4. Точечные диаграммы между измеренными и прогнозируемыми значениями свойств почвы с неудовлетворительной оценочной производительностью

На рисунке 8 представлена полярная диаграмма, сравнивающая результаты модели на оригинальных и интерполированных данных. Верхний график показывает значения R^2, а нижний – значения RPD. Видно, что для OC, $CaCO_3$ и N значения R^2 и RPD остаются высокими как для оригинальных, так и для интерполированных данных. Для P и K наблюдается небольшое снижение точности, что, однако, не критично для практического применения.

Рис. 8. Полярная диаграмма сравнения моделей на оригинальных (слева) и интерполированных (справа) данных.

Сравнение с другими исследованиями

Для оценки предложенной модели были проведены сравнения с результатами других исследований, использующих различные методы машинного обучения и глубокого обучения для прогнозирования химических свойств почвы. В таблице 3 представлены результаты сравнения по ключевым параметрам: OC, $CaCO_3$, N, P, K и pH.

Краткое описание источников:

CNN (Сверточные нейронные сети): В работе Zhong et al. (2021) использовалась глубокая сверточная нейронная сеть (CNN) для прогнозирования свойств почвы на основе данных спектроскопии Vis-NIR. Модель показала высокую точность для OC (R^2 = 0.95) и pH (R^2 = 0.93), но уступала XGBoost по точности для N (R^2 = 0.91) и $CaCO_3$ (R^2 = 0.89) [8].

SVM (Метод опорных векторов): В исследовании Chen et al. (2019) применялся метод SVM для прогнозирования свойств почвы. Модель показала умеренную точность для OC (R^2 = 0.89) и pH (R^2 = 0.83), но уступала XGBoost по точности для N (R^2 = 0.81) и $CaCO_3$ (R^2 = 0.84) [9].

PLSR (Частичная регрессия наименьших квадратов): В работе Santasup et al. (2024) использовался метод PLSR для анализа спектральных данных почвы. Модель показала хорошие результаты для OC (R^2 = 0.89) и $CaCO_3$ (R^2 = 0.86), но уступала XGBoost по точности для N (R^2 = 0.83) и pH (R^2 = 0.86) [10].

RF (Случайный лес): В исследовании Barra et al. (2020) использовался метод случайного леса (RF) для прогнозирования свойств почвы. Модель показала высокую точность для OC (R^2 = 0.93) и $CaCO_3$ (R^2 = 0.92), но уступала XGBoost по точности для N (R^2 = 0.88) и pH (R^2 = 0.85) [11].

Таблица 3. Сравнение результатов модели XGBoost с другими методами машинного обучения и глубокого обучения

Модель / R^2	**N**	**P**	**K**	**OC**	**pH(H_2O)**	**$CaCO_3$**
XGBoost	0.92	0.52	0.53	0.94	0.86	0.90
CNN	0.91	0.37	0.59	0.95	0.93	0.89
SVM	0.81	0.25	0.36	0.89	0.83	0.84
PLSR	0.83	0.22	0.36	0.89	0.86	0.86
RF	0.88	0.23	0.31	0.93	0.85	0.92

Заключение

В данной работе была разработана и оценена модель XGBoost для прогнозирования химических свойств почвы на основе данных спектроскопии видимого и ближнего инфракрасного диапазона (Vis-NIR). Модель продемонстрировала высокую точность для ключевых параметров, таких как органический углерод (OC), карбонаты кальция ($CaCO_3$) и азот (N), с коэффициентами детерминации (R^2) выше 0.9. Для фосфора (P) и калия (K) точность оказалась ниже, что связано с меньшей выраженностью их спектральных характеристик.

Сравнение с другими методами машинного обучения и глубокого обучения показало, что XGBoost превосходит традиционные методы, такие как PLSR и SVM, по точности прогнозирования для большинства параметров. Модель также конкурирует с более сложными архитектурами, такими как CNN, особенно в прогнозировании OC и $CaCO_3$. При этом XGBoost требует меньше вычислительных ресурсов и времени на обучение, что делает его более привлекательным для практического применения в системах точного земледелия.

Интерполяция спектров до 500 точек не привела к значительной потере точности модели, что подтверждает возможность использования интерполированных данных для анализа с помощью портативных спектрометров. Это открывает перспективы для интеграции модели в роботизированные системы агрономического анализа почвы, что позволит оперативно получать данные о состоянии почвы и принимать решения о внесении удобрений и других агротехнических мероприятиях.

Список использованных источников

1. Сироткин В.В., Васюков С.В., Усманов Б.М. Изучение почвенных параметров на основе полевых спектрометрических данных // Вестник удмуртского университета. – 2020. – Т. 30, вып. 1. – С. 71–82. doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-1-71-82.

2. Santasup N., Theanjumpol P., Santasup C. Development of near-infrared spectroscopy (NIRS) for estimating organic matter, total carbon, and total nitrogen in agricultural soil // MethodsX. – 2024. doi.org/10.1016/j.mex.2024.102798.

3. Chen S., Li S., Ma W. и др. Rapid determination of soil classes in soil profiles using vis–NIR spectroscopy and multiple objectives mixed support vector classification // European Journal of Soil Science. – 2019. – Т. 70. – С. 42–53. doi.org/10.1111/ejss.12715.

4. Chen T., Guestrin C. XGBoost: a scalable tree boosting system [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: arxiv.org/abs/1603.02754 (дата обращения: укажите дату).

5. Zeng W., Wang Q. Application of XGBoost algorithm in the detection of SARS-CoV-2 using Raman spectroscopy // Journal of Physics: Conference Series. – 2021.

6. Tóth G., Jones A., Montanarella L. (eds.) LUCAS Topsoil Survey. Methodology, data and results. JRC Technical Reports. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. EUR26102. ISSN 1831-9424 (online); ISBN 978-92-79-32542-7. doi.org/10.2788/97922.

7. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. Scikit-learn: machine learning in Python // Journal of Machine Learning Research. – 2011. doi.org/10.48550/arXiv.1201.0490.

8. Zhong L., Guo X., Xu Z., Ding M. Soil properties: their prediction and feature extraction from the LUCAS spectral library using deep convolutional neural networks // Geoderma. – 2021. – Т. 402. – С. 115366. doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115366.

9. Chen S., Li S., Ma W. и др. Rapid determination of soil classes in soil profiles using vis–NIR spectroscopy and multiple objectives mixed support vector classification // European Journal of Soil Science. – 2019. – Т. 70. – С. 42–53. doi.org/10.1111/ejss.12715.

10. Santasup N., Theanjumpol P., Santasup C. Development of near-infrared spectroscopy (NIRS) for estimating organic matter, total carbon, and total nitrogen in agricultural soil // MethodsX. – 2024. doi.org/10.1016/j.mex.2024.102798.

11. Barra I., Haefele S.M., Sakrabani R., Kebede F. Soil spectroscopy with the use of chemometrics, machine learning and pre-processing techniques in soil diagnosis: recent advances – a review // Trends in Analytical Chemistry. – 2020. – Т. 135. doi.org/10.1016/j.trac.2020.116166.

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЛАКА ТОЧЕК

Будзиаловский П.Б.
Томский политехнический университет, ИШИТР, студент гр. 8В14, e-mail: pbb2@tpu.ru
Научный руководитель: Григорьев Д.С.
Томский политехнический университет, старший преподаватель, e-mail: trygx@tpu.ru

Аннотация

В данной работе представлена реализация модели графовой нейронной сети для решения задачи семантической сегментации облака точек. Проведено сравнение архитектур DGCNN и PointNet на датасете H3D Benchmark. DGCNN показала более устойчивое обобщение, особенно на сложных объектах. Полученные выводы подтверждают перспективность GNN в задачах анализа 3D-сцен и могут быть применимы при разработке систем автономной навигации и картографирования.

Ключевые слова: семантическая сегментация, облако точек, графовые нейронные сети, DGCNN, PointNet.

Введение

Семантическая сегментация трёхмерного облака точек представляет собой важную задачу в анализе пространственных данных. Её актуальность особенно велика в таких передовых направлениях, как робототехнические системы, автономное управление транспортными средствами, геоинформационные технологии и ряд смежных дисциплин. Современные лидары, устанавливаемые на беспилотных летательных аппаратах, обеспечивают детальное сканирование окружающей среды, формируя высокоточные трёхмерные представления объектов. Однако высокая степень плотности и структурной неоднородности подобных данных обуславливает необходимость в использовании более устойчивых и адаптивных алгоритмов обработки. В связи с этим в последние годы заметно возрос интерес [1] к использованию графовых нейросетевых моделей (GNN), обладающих способностью эффективно обрабатывать разреженные и нерегулярные пространственные структуры [2]. Целью исследования является экспериментальное изучение эффективности графовых нейронных сетей в задаче семантической сегментации трёхмерных облаков точек, а также сравнение их производительности с классическими нейросетевыми архитектурами.

1. В рамках поставленной цели были сформулированы следующие задачи:
2. Реализовать модель на основе графовой нейронной сети DGCNN.
3. Реализовать базовую модель PointNet для сравнения результатов.
4. Провести обучение и тестирование обеих моделей.
5. Сравнить модели по качественным и количественным метрикам, включая общую точность и качество предсказания по классам.

Описание датасета

В рамках данного исследования в качестве исходных данных был использован референсный датасет The Hessigheim 3D (H3D) Benchmark [3, 4]. Этот датасет представляет собой коллекцию трёхмерных облаков точек высокой плотности, дополненных текстурированными полигональными сетками, сформированными с применением лидарных сканеров, установленных на беспилотных летательных аппаратах.

Ключевой особенностью исходных облаков точек является разнообразие: охватываюся детализированные сцены сельской местности, включающие как элементы городской инфраструктуры, так и объекты природного ландшафта. Данные представлены в виде четырёх временных срезов (март 2018 года, ноябрь 2018 года, март 2019 года и март 2016 года). На рисунке 1 представлены доступные эпохи облаков точек.

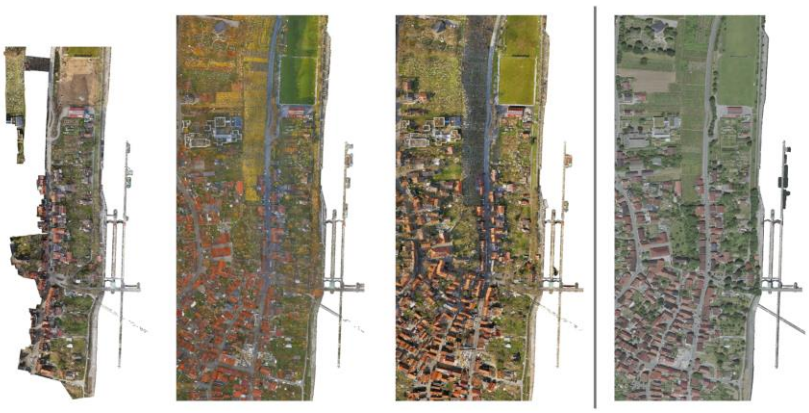


Рис. 1. Доступные эпохи набора данных H3D.
Слева направо: март 2018 года, ноябрь 2018, март 2019 и март 2016

Разработчики датасета выделяют 11 ключевых категорий объектов: низкая растительность, асфальтированные поверхности, транспортные средства, городская инфраструктура (уличные фонари, лавочки, дорожные знаки), крыша, фасад (стены зданий), кустарники, деревья, почва/гравий, вертикальные поверхности (заборы, стены), дымоходы.

В качестве исходных данных для обучения и тестирования была выбрана сцена, относящаяся к эпохе март 2016 года, включающая в себя 2200213 точек, распределенных по классам следующим образом: низкая растительность – 897 950, асфальтированные поверхности – 470 303, транспортные средства – 13 985, городская инфраструктура – 30 189, крыша – 377 328, фасад – 28 858, кустарники – 102 112, деревья – 222 200, почва/гравий – 40 221, вертикальные поверхности – 15 310, дымоходы – 1 757. Основным критерием при выборе послужил сравнительно меньший объём данной подвыборки по сравнению с остальными эпохами. Это позволило существенно сократить время предварительной обработки и обучения моделей, что, в свою очередь, сделало возможным проведение серии сравнительных экспериментов в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Кроме того, несмотря на ограниченный объём, сцена сохраняет репрезентативность: в ней представлены все ключевые классы объектов, предусмотренные аннотацией, что обеспечивает корректность и обоснованность анализа.

Архитектуры моделей

Графовые нейронные сети (Graph Neural Networks, GNN) представляют собой мощный инструмент анализа данных, лишённых регулярной структуры, что делает их особенно востребованными для обработки облаков точек. В отличие от классических свёрточных нейросетей (CNN), ориентированных на упорядоченные входные данные, такие как двумерные изображения или трёхмерные воксельные сетки, GNN эффективно моделируют сложные взаимосвязи между элементами разреженных пространственных представлений.

В данной работе применяется архитектура DGCNN (Dynamic Graph Convolutional Neural Network), являющаяся одной из наиболее распространённых GNN-моделей для анализа облаков точек. Её ключевая особенность – динамическое построение графа в ходе обучения, что позволяет адаптироваться к локальной структуре данных [5]. Основные этапы работы данной сети заключаются в построении графа на основе входного облака точек с использованием алгоритма k-NN [6] и динамическом обновлении графа на каждом слое сверточной сети, позволяя модели лучше учитывать локальный контекст. EdgeConv - ключевая операция, которая обновляет признаки вершин, агрегируя информацию от соседей (1).

$$x_i` = \sum_{j \epsilon N(i)} h_\theta(x_i || x_j - x_i), \quad (1)$$

где x_i – признаки центральной точки, x_j – признаки соседей из множества $N(i)$, h_θ – обучаемая нейросеть (сверточные слои или MLP).

На рисунке 3 представлена архитектура исследуемой модели DGCNN.

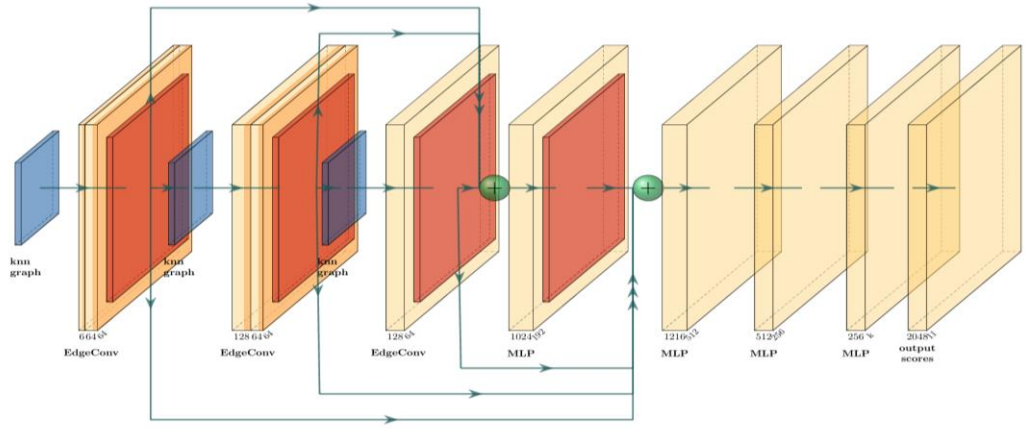


Рис. 2. Архитектура DGCNN

Для сравнения результатов работы графовой нейронной сети использовалась PointNet [7] – классическая нейросетевая архитектура, разработанная для прямой обработки облаков точек с помощью глубокого обучения. В отличие от традиционных подходов, базирующихся на предварительной вокселизации или проекциях на двумерные плоскости, PointNet осуществляет обработку необработанных облаков точек без необходимости их приведения к регулярным структурам.

Основная идея модели заключается в применении симметричных функций (например, max pooling), которые делают её инвариантной к перестановке точек. Архитектура включает несколько слоёв многослойных персептронов (MLP), которые извлекают признаки для каждой точки, а затем выполняет глобальную агрегацию, формируя вектор, описывающий всё облако точек. В задаче семантической сегментации PointNet дополнительно использует локальные признаки, чтобы учитывать пространственные взаимосвязи между точками. На рисунке 3 представлена архитектура классической модели PointNet.

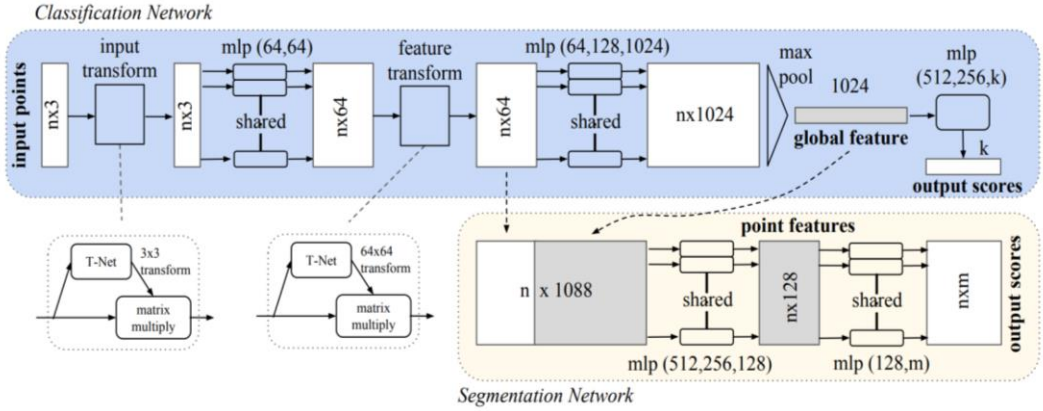


Рис. 3. Архитектура PointNet.

Результаты тестирования

Обучение, валидация и исследование всех моделей производилось с использованием фреймворка PyTorch на облачном сервисе Google Collab. Во всех экспериментах для обеспечения корректного сравнения моделей использовались одинаковые гиперпараметры. В частности, размер батча 16 384 точек, количество эпох 10, в качестве функции потерь использовалась кросс-энтропия, подходящая для текущей задачи.

Для оценки качества сегментации использовались метрики F1-score для каждого отдельного класса и общий F1-score (mean F1), а также Overall Accuracy. Метрики F1-score и OA традиционно используются в задачах классификации и сегментации, так как позволяют

объективно оценить баланс между полнотой и точностью предсказаний [8]. Результаты обучения нейронных сетей по выбранным метрикам представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Обобщённые результаты обучения моделей

Модель	**Метрики**	
	Overall Accuracy	**mF1-score**
DGCNN	0.731	0.414
PointNet	0.831	0.481

Таблица 2. Сравнение качества сегментации по классам на обучающей выборке

Класс	**F1-score**	
	DGCNN	**PointNet**
низкая растительность	0.760	0.875
асфальтированная поверхность	0.668	0.824
транспортные средства	0.033	0.469
городская инфраструктура	0.145	0.174
крыша	0.804	0.900
фасад	0.419	0.066
кустарники	0.373	0.435
деревья	0.752	0.875
почва/гравий	0.014	0.493
вертикальные поверхности	0.199	0.133
дымоходы	0.010	0.027

Для оценки производительности моделей было проведено тестирование на отложенной тестовой выборке. В таблицах 3 и 4 представлены итоговые результаты, включающие общую точность (OA), средний F1-score (mean F1) и F1-score по классам.

Таблица 3. Обобщённые результаты тестирования моделей

Модель	**Метрики**	
	Overall Accuracy	**mF1-score**
DGCNN	0.701	0.404
PointNet	0.167	0.090

Таблица 4. Сравнение качества сегментации по классам на тестовой выборке.

Класс	F1-score	
	DGCNN	**PointNet**
низкая растительность	0.641	0.262
асфальтированная поверхность	0.666	0.003
транспортные средства	0.025	0.019
городская инфраструктура	0.114	0.000
крыша	0.816	0.515
фасад	0.441	0.077
кустарники	0.421	0.023
деревья	0.623	0.063
почва/гравий	0.006	0.002
вертикальные поверхности	0.265	0.013
дымоходы	0.003	0.012

Результаты экспериментов показывают, что на тренировочной выборке модель PointNet демонстрирует более высокие показатели точности по сравнению с DGCNN, однако на тестовой выборке её качество сегментации значительно ниже. Такое поведение свидетельствует о переобучении PointNet: модель хорошо запоминает обучающие данные, но испытывает трудности с обобщением на новые сцены. Это обусловлено архитектурными особенностями: в PointNet отсутствует явный учёт локального контекста. Поэтому без добавления дополнительных признаков (цвет точки, её прозрачность и тд.) снижается способность модели адаптироваться к сложным пространственным структурам.

Анализ результатов по классам показывает, что графовые модели особенно хорошо справляются с сегментацией сложных объектов, таких как фасады зданий, крыши и деревья. Это связано с тем, что в таких классах пространственные взаимосвязи между точками имеют ключевое значение, и модели, работающие с графами, лучше улавливают эти структуры. Однако, несмотря на это, DGCNN плохо справляется с распознаванием дымоходов и транспорта, в связи с малым количеством представленных точек данного класса в датасете, и почвы, так как поверхность состоит из множества мелких, хаотично расположенных частиц, между которыми отсутствуют стабильные пространственные взаимосвязи.

Заключение

В данной работе рассмотрено применение графовых нейронных сетей для задачи семантической сегментации облака точек, полученного с лидара, установленного на БПЛА. Было проведено сравнение DGCNN с классической архитектурой PointNet, и результаты показали, что использование графовых сверток позволяет существенно улучшить качество сегментации. Эксперименты подтвердили, что графовые методы более эффективно извлекают локальные и глобальные признаки, что особенно важно для объектов со сложной структурой.

Таким образом, результаты исследования показывают, что графовые нейронные сети являются перспективным направлением для семантической сегментации облаков точек, и их дальнейшее развитие может привести к еще более точным и эффективным методам обработки данных лидара.

Список использованных источников

1. Khemani B., Patil Sh., Kotecha K., Tanwar S. A review of graph neural networks: concepts, architectures, techniques, challenges, datasets, applications, and future directions [Электронный ресурс]. – URL: journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-023-00876-4 (дата обращения 30.03.2025).

2. Intel Tiber AI Studio – The Essential Guide to GNN (Graph Neural Networks) [Электронный ресурс]. – URL: cnvrg.io/graph-neural-networks/ (дата обращения 30.03.2025).

3. Kölle M., Laupheimer D., Schmohl S., Haala N., Rottensteiner F., Wegner J.D., Ledoux H. The Hessigheim 3D (H3D) Benchmark on Semantic Segmentation of High-Resolution 3D Point Clouds and Textured Meshes from UAV LiDAR and Multi-View-Stereo [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/pdf/2102.05346 (дата обращения 30.03.2025).

4. Institute for Photogrammetry and Geoinformatics – Hessigheim Benchmark [Электронный ресурс]. – URL: ifpwww.ifp.uni-stuttgart.de/benchmark/hessigheim/default.aspx (дата обращения 30.03.2025).

5. Wang Y., Sun Y., Liu Z., Sarma S.E., Bronstein M.M., Solomon J.M. Dynamic Graph CNN for Learning on Point Clouds [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/pdf/1801.07829 (дата обращения 30.03.2025).

6. GeekforGeeks – K-Nearest Neighbor (KNN) Algorithm [Электронный ресурс]. – URL: geeksforgeeks.org/k-nearest-neighbours/ (дата обращения 30.03.2025).

7. Qi C.R., Su H., Mo K., Guibas L.J. PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/pdf/1612.00593 (дата обращения 30.03.2025).

8. Sokolova M., Lapalme G. A systematic analysis of performance measures for classification tasks [Электронный ресурс]. – URL: atour.iro.umontreal.ca/rali/sites/default/files/publis/SokolovaLapalme-JIPM09.pdf (дата обращения 30.03.2025).

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ U-NET В ЗАДАЧАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Денисов В.И.[1], Семенченко Н.Е.[2]
[1] НИ ТПУ, ИШИТР, А2-39, vid3@tpu.ru
[2] НИ ТПУ, ИШИТР, 0В11, nes13@tpu.ru

Аннотация

В работе представлена улучшенная версия U-Net для сегментации и классификации изображений геологических пород. Модификации включают оптимизацию декодера, альтернативные сверточные слои и механизмы обработки пространственных признаков. Эксперименты показывают, что предложенные изменения повышают качество обработки данных в нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: классификация, сегментация, сверточные нейронные сети.

Введение

Автоматизация процессов с помощью машинного обучения активно проникает во многие промышленные области, включая нефтегазовую и геологическую отрасли. Нейронные сети, в частности, используются для анализа визуальных данных горных пород, получаемых при исследовании керна – образцов, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**извлекаемых из с кважин (рис. 1).

Рис. 1. Изображение керна

Анализ керна имеет решающее значение для определения свойств пласта и создания гидродинамических моделей месторождений, что является основой для планирования разработки недр [1].

Также исследование керна служит важным инструментом для прогнозирования строения геологического разреза [2–4]. Обзор существующих работ [5-15] показал, что на данный момент нет систем, которые бы обеспечивали достаточно высокую точность и производительность при автоматизированном анализе керна. Имеющиеся подходы к сегментации и классификации образцов пород сталкиваются с рядом ограничений [5-6], что препятствует их широкому внедрению.

Актуальность данной работы определяется потребностью в создании более точной и производительной нейросетевой модели, способной эффективно работать даже при наличии ограниченных или несбалансированных наборов данных. В качестве основы была выбрана архитектура U-Net, показавшая хорошие начальные результаты, но обладающая недостатками в части выразительности извлекаемых признаков, склонности к переобучению и вычислительной сложности.

Для оценки качества разработанного решения использовались стандартные метрики Dice (мера схожести между предсказанной и истинной маской. Чем ближе к 1, тем лучше совпадение) и IoU (отношение площади пересечения к объединению двух масок. Также ближе к 1 – тем лучше). В работе использовался набор высокоразрешённых изображений керна

размером 4000×4000 пикселей, на основе которых вручную создавались маски для обучения модели.

Цель исследования – разработать модифицированную архитектуру на базе U-Net, которая бы демонстрировала повышенную производительность при обработке изображений образцов пород. Оценка эффективности предложенной модификации проводилась с использованием стандартных метрик Dice и IoU.

Модификации сети U-Net

Функция потерь

Для оптимизации модели была выбрана бинарная кросс-энтропия (BCE) в качестве функции потерь:

$$L_{BCE} = -\frac{1}{N} * \sum_i \left[y_i * \log\left(\sigma\left(x_i\right)\right) + (1 - y_i) * \log\left(1 - \sigma\left(x_i\right)\right) \right],$$

где σ – сигмоида, x_i – логит предсказания, y_i – истинная метка пикселя.

Этот выбор продиктован устойчивостью BCE к дисбалансу классов в данных и ее понятной интерпретацией.

Остаточные блоки

Проблема затухания градиента в глубоких нейронных сетях, усложняющая обучение ранних слоев, решается путем интеграции остаточных связей, как это предложено в архитектуре ResNet. Выход такого блока рассчитывается по формуле:

$$Y = F(X) + X,$$

где X – входные данные блока, F(X) – результат последовательности нелинейных операций (сверток, функций активации, нормализации). Эта техника обеспечивает более свободный проход градиента через сеть, что упрощает обучение и улучшает сходимость. Внедрение остаточных блоков в нашу модель повысило стабильность обучения и качество итоговой сегментации. Прямые «пробросы» внутри блоков предотвращают исчезновение градиента при увеличении глубины сети.

Глубинно-разделимая свёртка

Вместо стандартных 2D-сверток, которые обрабатывают пространственные и канальные измерения одновременно, были использованы глубинно-разделимые свертки. Они разделяют операцию на два этапа:

- *Depthwise Convolution:* Применение отдельных фильтров к каждому входному каналу.
- *Pointwise Convolution (1x1):* Линейное комбинирование выходных каналов предыдущего этапа.

Данный подход значительно уменьшает количество обучаемых параметров и вычислительную сложность модели, практически не влияя на ее точность. Это ускоряет как обучение, так и процесс инференса.

Промежуточные связи между слоями

Для более эффективного объединения признаков с разных уровней иерархии, были добавлены дополнительные промежуточные связи между слоями декодера. Эта модификация, инспирированная архитектурой U-Net++ [16-17], способствует созданию более насыщенных и плавных карт признаков. Такая структура особенно полезна при анализе геологических пород, где необходимо различать тонкие текстурные и структурные особенности разных литотипов, так как улучшается точность сегментации объектов со сложной морфологией.

«Онлайн» аугментация

Аугментация данных – стандартный прием для повышения робастности моделей и предотвращения переобучения путем искусственного расширения датасета. Классический («оффлайн») подход требует предварительной генерации и сохранения большого объема измененных изображений. Это затратно с точки зрения дискового пространства и ограничивает разнообразие трансформаций. В данной работе реализован метод «онлайн» аугментации, выполняемой непосредственно во время обучения. Алгоритм представлен на блок-схеме (рис. 2).

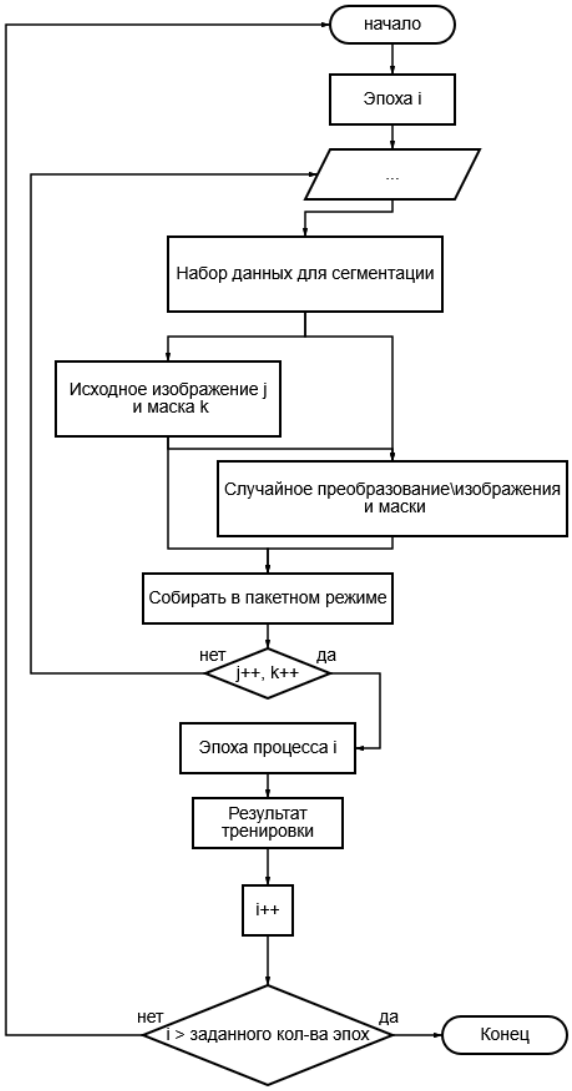


Рис. 2. Блок-схема разработанного алгоритма аугментации

При каждой загрузке батча данных в эпоху обучения, для части изображений генерируются случайные трансформации (например, повороты, сдвиги, изменение яркости). Таким образом, модель на каждой итерации видит немного измененные версии одних и тех же данных, что эквивалентно обучению на значительно большем и более разнообразном датасете без необходимости его физического хранения. Этот подход позволил создать модель, более устойчивую к вариациям входных данных и обладающую лучшей обобщающей способностью.

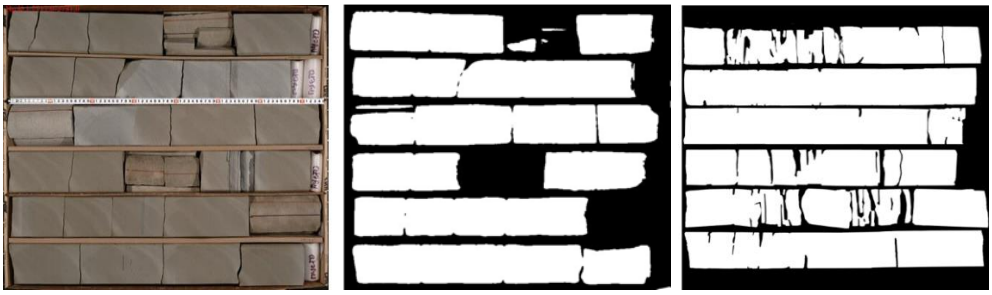
Результаты модификации сети

Для оценки эффективности предложенной усовершенствованной архитектуры U-Net было проведено сравнение с базовой U-Net. Ключевые архитектурные отличия см. в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение ключевых характеристик архитектур

Характеристика	Оригинальная U-Net	Модифицированная U-Net
Блоки сверток	Классические сверточные блоки	Остаточные блоки с пропусками
Тип сверток	Стандартные (2D) свертки	Глубинно-разделяемые свертки
Механизмы внимания	Отсутствуют	AttentionBlock для выделения значимых областей
Декодер	Простая конкатенация и свертки	Декодер с механизмами внимания и остаточными соединениями

Сравнение проводилось на задаче сегментации изображений образцов керна, полученных из лабораторных исследований. Был подготовлен соответствующий датасет изображений и масок. Для валидации и финальной оценки использовалась отложенная тестовая выборка, составляющая 20% от всего набора данных. Сравнение оригинальной и модифицированной нейронной сети показано на рисунке 3.



а) *б)* *в)*

Рис. 3. а) исходное изображение б) пример работы U-Net в) пример работы модифицированной U-Net

Сравнение характеристик архитектур приведено в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика архитектур сетей

Модель	**Train Dice**	**Train IoU**	**Val Dice**	**Val IoU**	**Время обучения (25 эпох)**	**Среднее время обработки 1 изображения**	**Используемая память (ГБ)**
U-Net	0,9220	0,8870	0,9060	0,8540	~2 часа	~0,15 сек	~4,0 ГБ
Модифици-рованная U-Net	0,9807	0,9625	0,9667	0,9361	~1,8 часа	~0,10 сек	~7,0 ГБ

Предложенная модифицированная U-Net продемонстрировала существенное превосходство над стандартной архитектурой U-Net по всем ключевым показателям качества. На валидационной выборке значение метрики Dice возросло на 6.07 % (с 0.9060 до 0.9667), а метрики IoU – на 8.71 % (с 0.8540 до 0.9361). Помимо увеличения точности и качества сегментации, модифицированная архитектура обеспечивает улучшение производительности модели: среднее время обработки одного изображения сократилось на 33 % (с 0.15 сек до 0.10 сек), а время обучения на 25 эпох – на 10 % (с ~2 до ~1,8 часа).

Однако стоит отметить, что модифицированная U-Net++ требует большего объёма оперативной памяти – на 75 % выше (7.0 ГБ против 4.0 ГБ у стандартной U-Net), что является приемлемым компромиссом в контексте значительно улучшенных показателей качества и скорости работы модели.

Внедрение «онлайн»-аугментации в модифицированную модель дополнительно способствовало улучшению её обобщающей способности, снизило вероятность переобучения и повысило стабильность результатов.

Таким образом, модифицированная архитектура U-Net++ с онлайн-аугментацией является оптимальным и эффективным решением для задач сегментации образцов керна, обеспечивая превосходство по точности и производительности над базовой U-Net.

Заключение

В работе предложена усовершенствованная архитектура на базе U-Net, адаптированная для задач классификации и сегментации образцов геологических пород. Основные внесенные изменения включают:

- Использование остаточных блоков (ResidualConvBlock) для улучшения прохождения градиента и стабилизации обучения.
- Применение глубинно-разделимых сверток для уменьшения числа параметров и ускорения вычислений.
- Внедрение промежуточных связей в декодере (по типу U-Net++) для более точной реконструкции деталей и сегментации мелких объектов.
- Интеграция блоков внимания (Attention Blocks) для фокусировки модели на наиболее релевантных участках изображения.

Кроме того, использование “онлайн” аугментации позволило повысить робастность модели и эффективность использования обучающих данных. Экспериментальные результаты подтверждают, что предложенная модель превосходит как классическую U-Net, так и U-Net++ по метрикам качества (Dice, IoU), демонстрируя более быструю сходимость и повышенную точность сегментации, особенно на сложных участках изображений.

Список использованных источников

1. Гурбатова И.П., Плотников В.В., Попов Н.А. Особенности изучения фильтрационных характеристик ориентированного керна сложнопостроенных карбонатных коллекторов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 9. – С. 79-86.
2. Иванченков В.П., Кочегуров А.И., Нгуен С.Х. Фазочастотный алгоритм прослеживания сейсмических сигналов с управляемой протяженностью функции качества // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2014. – № 4. – С. 59-68.
3. Иванченков В.П., Кочегуров А.И., Орлов О.В. Применение методов фазочастотного анализа сейсмических волн для изучения околоскважинного пространства // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 10. – С. 58–63.
4. Кочегуров А.И., Иванченков В.П., Орлов О. В. Прогноз геологического разреза на основе детальной обработки сейсмических материалов в программно-алгоритмическом комплексе «ГЕОСЕЙФ» // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 6. – С. 134-144.
5. Кочегуров А.И., Денисов В.И., Задорожных Е.А. Анализ применения методов машинного обучения в задачах классификации пород на образцах керна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 9. – С. 148-159.
6. Денисов В.И., Задорожных Е.А. Применение средств машинного обучения для исследования образцов керна // Сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МСИТ-2024. – Томск : изд-во ТПУ. – 2024. – С. 155-160.
7. Patel A.K., Snehamoy C. Computer vision-based limestone rock-type classification using probabilistic neural network // Geoscience Frontiers. – 2016. – № 7. – P. 53-60.
8. Gorai A.G. and others. Design and development of a machine vision system using artificial neural network-based algorithm for automated coal characterization // International Journal of Coal Science & Technology. – 2020. – №8. – P. 737-755.
9. Patel A., Snehamoy C., Gorai A.K. Development of online machine vision system using support vector regression (SVR) algorithm for grade prediction of iron ores // Fifteenth IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA). – Nagoya, 2017. – P. 149-152.
10. Ивченко А.В., Барабошкин Е.Е., Исмаилова Л.С. Литологическая интерпретация фотографий керна на основе компьютерного анализа // Международная научная конференция

«IEEE Northwest Russia Conference On Mathematical Methods In Engineering And Technology: MMET NW 2018». – Санкт-Петербург : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. – С. 430-433.

11. Артамонов В.П., Каюров Н.К. Автоматизация алгоритмов предобработки и анализа фотографий керна для целей процесса макро- и литологического описания // III научно-практическая конференция «Интеллектуальный анализ данных в нефтегазовой области». – Новосибирск, 2022. – С. 14-16.

12. Дьячков С.М. Автоматическое определение породы по фотографиям керна современными методами машинного обучения // Вестник Тюменского государственного университета. Серия: Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета. – 2021. – Т. 7, № 4(28). – С. 181-198.

13. Постников А.В., Постникова О.В., Хасанов И.И. Новые методические аспекты литологических исследований пород баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 10. – С. 23-27.

14. Хасанов И.И. Анализ цветности пород по цифровым изображениям керна // Геология нефти и газа. – 2014. – № 5. – С. 33-39.

15. Khasanov I. The use of computer analysis of digital images for the study of core material // Geomodel 2015 - 17th science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development. – 2015. – V. 2015. – P. 1-5.

16. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science. – 2015.

17. Zongwei Zhou, Jianming Liang, Nima Tajbakhsh. UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation // Conference: 4th Deep Learning in Medical Image Analysis (DLMIA) Workshop. – Spain. – 2018.

СИНТЕЗ ДАННЫХ ДЛЯ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА

Загибалов М.А.
Научный руководитель: Брагин А.Д.
Томский политехнический университет, ИШИТР, студент гр.8К43
e-mail: maz22@tpu.ru

Аннотация

В данной работе представлен анализ перечня персональных данных, применяемых в кредитном скоринге. Анализ включает в себя рассмотренные правовые ограничения, ключевые параметры оценки и подход к их синтезу в рамках модели, позволяющий сохранить статистическую ценность данных, сохранив конфиденциальность.

Ключевые слова: персональные данные, кредитный скоринг, модель обучения.

Введение

В ряде задач, решаемых с помощью машинного обучения, персональные данные играют важную роль. Примером такой задачи является кредитный скоринг. Информация о возрасте, доходе, семейном положении и других характеристиках заемщика позволяет строить более точные модели оценки кредитоспособности. Однако использование таких данных сопряжено с рядом правовых и этических ограничений. Законы о защите персональных данных не допускают свободное распространение и использование информации, позволяющей идентифицировать конкретное лицо.

Создание искусственных наборов данных, сохраняющих статистические свойства оригинальных, но не содержащих реальных персональных записей, является одним из способов решения данной проблемы. Такой подход позволяет разрабатывать и тестировать модели машинного обучения без риска нарушения конфиденциальности.

Персональные данные

В Российской Федерации существует определение персональных данных (ПД), которое содержится в Федеральном законе № 152-ФЗ [1]. Согласно статье 3 этого закона, персональными данными считается любая информация, которая прямо или косвенно относится к конкретному физическому лицу. К персональным данным относятся, например, ФИО, дата рождения, адрес проживания или регистрации, семейное положение, образование, профессия, пол, гражданство, сведения о документе, удостоверяющем личность (например, серия и номер паспорта), контактные данные (электронная почта, номер телефона), номера счетов или карт, а также другие финансовые реквизиты [2]. Идентификационные номера, такие как ИНН (идентификационный номер налогоплательщика) и СНИЛС, также считаются персональными данными.

Проблемы использования персональных данных

Обеспечение защиты персональных данных накладывает ряд ограничений в исследованиях в сфере кредитного скоринга. Финансовые организации накапливают большие объёмы информации о своих клиентах, но не могут свободно обмениваться этими данными или использовать их в исследованиях из-за требований законодательства о конфиденциальности. Это ограничивает доступ к реальным данным, необходимым для разработки и тестирования моделей оценки кредитного риска, что замедляет прогресс в этой области.

В соответствии с Федеральным законом №152-ФЗ, регулирующим обработку персональных данных, операторы данных, обрабатывающие информацию о физических лицах, обязаны соблюдать ряд требований. В частности, они должны получить согласие

субъекта на обработку его персональных данных, обеспечить их безопасность, не собирать избыточные данные и хранить их не дольше, чем это необходимо для целей обработки.

Банки обычно получают персональные данные на основании договора с клиентом, например, заявления на кредит. Однако передача персональных данных третьим лицам или их публикация требует отдельного основания. Как правило, публикация реальных данных клиентов, даже в обезличенном виде, запрещена.

Альтернатива реальным данным

Генерация искусственных данных, статистически схожих с исходными, является одним из путей решения данной проблемы. Синтетические данные позволяют обучать модели без использования реальных персональных сведений, что позволяет избежать рисков для приватности и соблюдать требования законодательства о защите данных [3, 4]. Например, вместо использования базы реальных клиентов банка для обучения модели скоринга, можно сгенерировать «выдуманные» записи клиентов, которые сохраняют статистические закономерности оригинала, но не содержат личной информации конкретных людей [5, 6].

Персональные данные в задачах скоринга

Модели кредитного скоринга учитывают широкий спектр характеристик и сведений о пользователе. Данные о заемщике, которые можно считать персональными, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Пример подхода к синтезу персональных данных заемщика

ПД	***Назначение при синтезе***	***Подход к синтезу данных***
ФИО	Используются для идентификации пользователя, не влияет на конечную оценку	Не следует использовать реальные данные. Вместо этого можно применить псевдонимы.
Контакты	Используется для только для связи.	В модели данные не участвуют, в связи с этим их можно опустить.
Паспортные данные	Используются только для верификации.	Нахождение таких данных о реальном человеке в наборе строго запрещено. Следует их исключить.
ИНН и СНИЛС	Используются только для идентификации.	Эти данные не используются в модели скоринга, поэтому следует их исключить.
Пол	Некоторые модели учитывают, но это не всегда важно.	Пол относится к общим ПД, его указание возможно только с согласия. Для модели возможен вариант распределить данные равномерно (50/50) между мужчинами и женщинами.
Семейное положение	Может оказывать влияние на риски.	Распределять заемщиков по группам с выдержанным основным признаком (напр. женат/холост/разведен)
Трудовой стаж, должность	Используется в скоринге, поскольку оказывает влияние на плетежеспособность.	Можно отнести к определенной категории (трудоустроенный, безработный, индивидуальный предприниматель)
Доход	Ключевой показатель при кредитном скоринге.	Доходы являются ПД, поэтому их публикация строго запрещена. В синтетическом наборе можно сгенерировать данные, сохраняющие основную суть оригинала.
Адрес проживания (регистрации)	Может использоваться на уровне города или региона.	Данные сведения стоит обобщить, поскольку использование точных данных раскрывает личность и веса в модели не имеют. Лучше будет обобщить данные, сохранив город или регион.
Возраст	Часто используется для скоринга.	Точная дата рождения раскрывает личность. Допустимо рассчитать возраст заемщика и отнести его к соответствующей возрастной категории.
Кредитная история	Ключевой показатель при кредитном скоринге.	Данные кредитной истории являются приватными, но их агрегированные метрики важны для модели. При синтезе необходимо сохранить корреляции между ними.

Важно понимать, что при публикации обезличенного датасета, сгенерированные данные не должны позволять обратной идентификации личности.

Можно заметить, что часть данных не влияет на расчет кредитного скоринга, поэтому нет смысла включать их в обучающий набор. В данных, используемых для обучения модели, должны быть указаны следующие параметры: возраст, пол, семейное положение, доход, стаж, информация о предыдущих кредитах. При обезличивании данных необходимо синтезировать эти ключевые атрибуты с сохранением статистических закономерностей, чтобы модели, обученные на синтетических данных, давали результаты, близкие к результатам обучения на реальных данных.

Заключение

В рамках данной работы был проведен анализ ключевых аспектов использования персональных данных в задачах кредитного скоринга. Основное внимание было уделено проблеме ограниченного доступа к реальным данным из-за требований конфиденциальности, а также способу ее решения – генерации синтетических данных. Такой метод позволяет сохранить статистические закономерности исходных данных, при этом исключая риски нарушения приватности. Специально для этого был сформирован перечень персональных данных, необходимых для корректной работы модели кредитного скоринга.

Использование синтетических данных открывает новые возможности для разработки и тестирования моделей машинного обучения без нарушения законодательства о защите персональной информации. Это особенно актуально для финансового сектора, где соблюдение конфиденциальности клиентов является критически важным.

Список использованной литературы

1. Федеральный закон РФ от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (ч. 1). – Ст. 3451.

2. Skillfactory. Что такое персональные данные и как с ними работать // Skillfactory: блог. – [Электронный ресурс]. – URL: blog.skillfactory.ru/chto-takoe-personalnye-dannye-i-kak-s-nimi-rabotat/ (дата обращения: 01.04.2025).

3. Skillfactory. Синтетические данные в 2025 // Skillfactory: блог. – [Электронный ресурс]. – URL: blog.skillfactory.ru/sinteticheskie-dannye/ (дата обращения: 01.04.2025).

4. Synthetic data – history and usage in privacy context. // Wikipedia. – [Электронный ресурс]. – URL: en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_data (дата обращения: 01.04.2025).

5. Muñoz-Cancino R., Bravo C., Ríos S.A., Graña M. Assessment of creditworthiness models privacy-preserving training with synthetic data // International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems. – Cham: Springer International Publishing, 2022. – P. 375–384.

6. Financial Conduct Authority. Using Synthetic Data in Financial Services. – [Электронный ресурс]. – URL: fca.org.uk/publications/corporate-documents/report-using-synthetic-data-financial-services (дата обращения: 01.04.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Смирнов А.А.[1]
Научный руководитель: Друки А.А.[2]
[1]*НИ ТПУ, ИШИТР, студент, гр. 8ВМ32, e-mail: aas161@tpu.ru*
[2]*НИ ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОИТ, e-mail: druki@tpu.ru*

Аннотация

В работе представлены результаты разработки и сравнения архитектур сверточных нейронных сетей (СНС) для семантической сегментации объектов земной поверхности на изображениях, полученных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Исследование включает подготовку датасета, реализацию моделей U-Net, U-Net++, SegNet и ENet, их обучение и оценку качества сегментации. Наилучшие результаты показала модель SegNet (F1-мера – 0,93, mIoU – 0,88).

Ключевые слова: Сверточная нейронная сеть, семантическая сегментация, компьютерное зрение, БПЛА, дистанционное зондирование Земли, U-Net.

Введение

Актуальность исследования обусловлена возрастающим объемом высокодетальных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемых с беспилотных летательных аппаратов. Эти данные используются в таких областях, как сельское хозяйство, экологический мониторинг, градостроительство и управление природными ресурсами. Однако ручная обработка изображений требует значительных временных и трудовых затрат, подвержена субъективным ошибкам [1]. Автоматизация процесса дешифрирования объектов земной поверхности с помощью нейросетевых алгоритмов позволяет повысить точность и скорость анализа данных, что делает результаты работы востребованными для практических применений.

Современные методы семантической сегментации, основанные на нейросетевых моделях, демонстрируют высокую эффективность в задачах обработки изображений [2]. Однако большинство существующих исследований сосредоточено на данных с высоким балансом классов, тогда как реальные изображения ДЗЗ часто характеризуются значительным дисбалансом, что усложняет задачу сегментации. Это подчеркивает необходимость разработки адаптированных алгоритмов, способных работать с неравномерно распределенными классами объектов.

Целью данной работы является разработка и сравнение архитектур сверточных нейронных сетей для автоматизированного дешифрирования объектов земной поверхности на изображениях ДЗЗ, учитывающих дисбаланс классов. Новизна исследования заключается в применении и адаптации моделей U-Net, U-Net++, SegNet и ENet для обработки данных с высоким дисбалансом, а также в использовании методов аугментации и взвешенной функции потерь для улучшения качества сегментации.

Набор данных для исследования

В качестве объекта исследования использовались изображения с БПЛА и соответствующие им карты сегментации. Съемка проводилась в высоком пространственном разрешении на севере Красноярского края в видимом диапазоне электромагнитного спектра.

Набор данных состоит из 80 изображений с разрешением 37 000×37 000 пикселей. Пространственным разрешение изображений – 6 см/пиксель. Разметка проводилась специалистами инженерно-изыскательских работ в ручном режиме. Для каждого изображения в наборе есть соответствующая ему маска, где каждый класс объектов окрашен в определенный цвет (рис. 1).

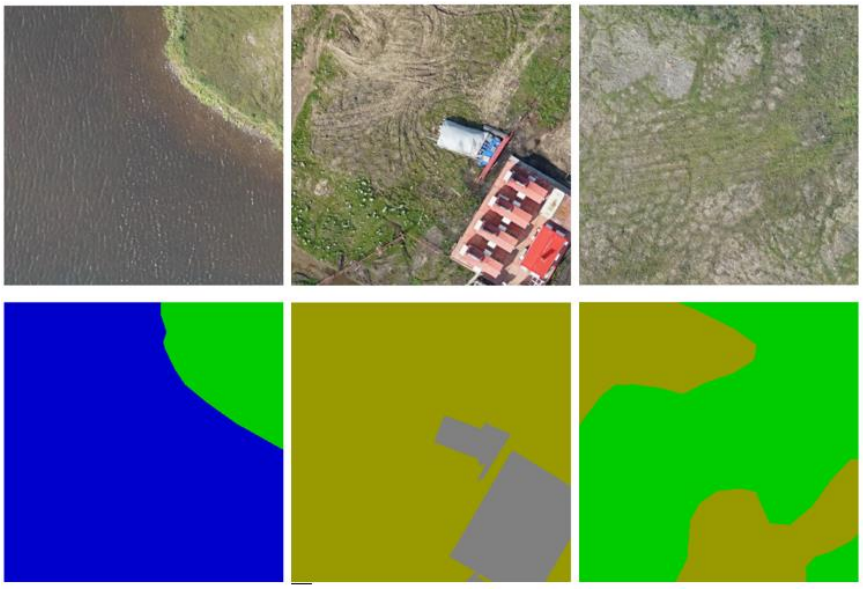


Рис. 1. Примеры изображений и масок из выборки

Набор содержит 5 классов объектов: растительность (зеленый цвет), гидрография (синий цвет), грунт (коричневый цвет), дороги (черный цвет) и антропогенные объекты (серый цвет).

Для формирования датасета исходные изображения были нарезаны на фрагменты размером 512×512 пикселей с перекрытием соседних фрагментов 50 пикселей. В результате было получено 16 200 обучающих и 1 800 тестовых примеров.

Набор данных обладает существенным дисбалансом в пользу растительности – на них приходится 91 % всех пикселей, гидрография – 5 %, дороги – 3 %, грунт – 1 %, антропогенные объекты – около 0,07 %.

Предобработка включала растеризацию векторных масок, создание растровых тайлов, нормализацию и аугментацию изображений. В работе использовалась аугментация данных «на лету» (случайные изменения масштаба, яркости, контраста, отражение по вертикальной и горизонтальной осям, эластические преобразования), расширяющая обучающую выборку синтетическими данными [3]. Цель состоит в том, чтобы на этапе обучения модель никогда не увидела одно и то же изображение дважды. Это поможет модели выявить больше особенностей данных и достичь лучшей степени обобщения.

Архитектуры нейронных сетей

U-Net. Считается одной из стандартных архитектур СНС для задачи сегментации изображений (рис. 2).

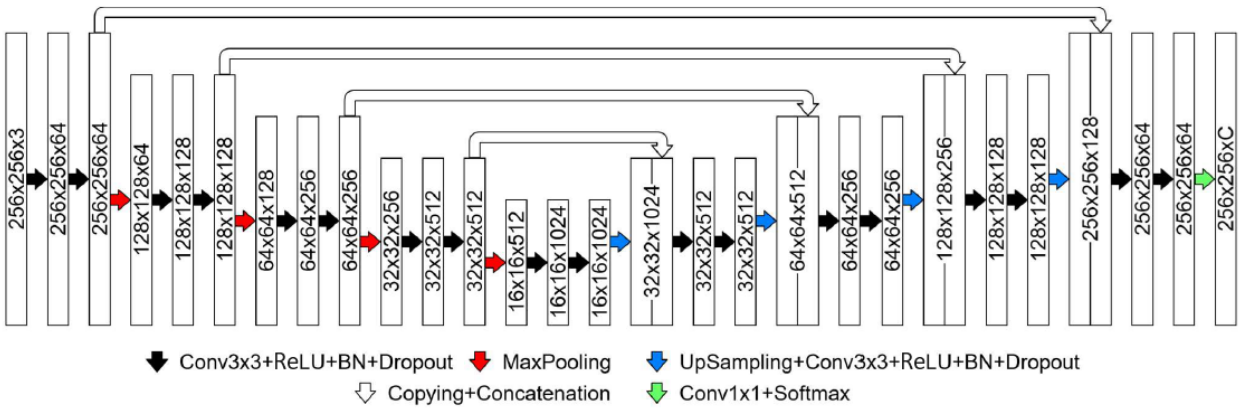


Рис. 2. Архитектура U-Net

Особенностью U-Net является использование сквозных соединений (skip-connections) для объединения деталей из энкодера и контекста из декодера, что особенно полезно для сегментации мелких объектов.

U-Net содержит 23 сверточных слоя, плюс в каждом из них применяются пакетная нормализация и функция активации ReLU, 4 слоя Max pooling, 4 слоя Upsampling, в конце функция активации Softmax. В сумме получается 31 слой [1].

U-Net++. Архитектура U-Net++ является развитием идей U-Net (рис. 3).

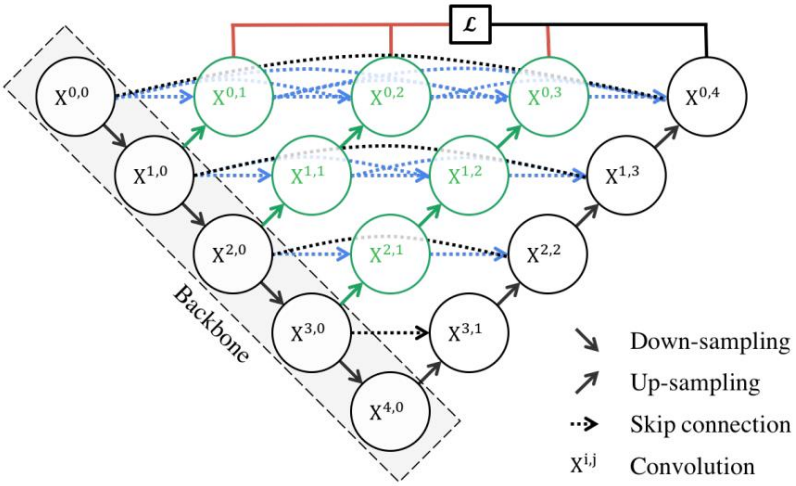


Рис. 3. Архитектура U-Net++

В U-Net++ используется 30 сверточных слоев и несколько уровней пространственных разрешений для более эффективного извлечения признаков. Это позволяет сети лучше адаптироваться к различным размерам объектов на изображениях. В целом, U-Net++ предлагает более сложную архитектуру с дополнительными механизмами для более эффективного извлечения признаков и улучшения качества сегментации изображений.

SegNet. Архитектура SegNet представлена на рис. 4.

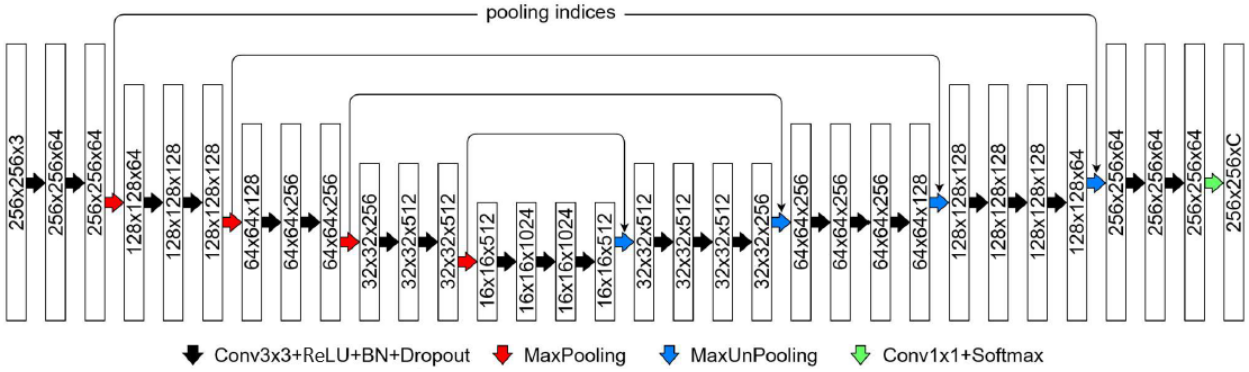


Рис. 4. Архитектура SegNet

Принципиальным отличием архитектуры SegNet от архитектуры U-Net является способ восстановления исходного разрешения карты сегментации в декодере: вместо операций увеличения масштаба и полного копирования карт признаков, SegNet использует операции MaxUnPooling, выполняемые с использованием сохраненных позиций пикселей, выбранных операциями MaxPooling в энкодере [5].

ENet. Разработана для работы в реальном времени, что достигается за счет уменьшения количества параметров (рис. 5). ENet позволяет осуществлять сегментацию изображений в реальном времени, что полезно при использовании на мобильных устройствах или при реализации систем компьютерного зрения на программируемых логических интегральных схемах [6].

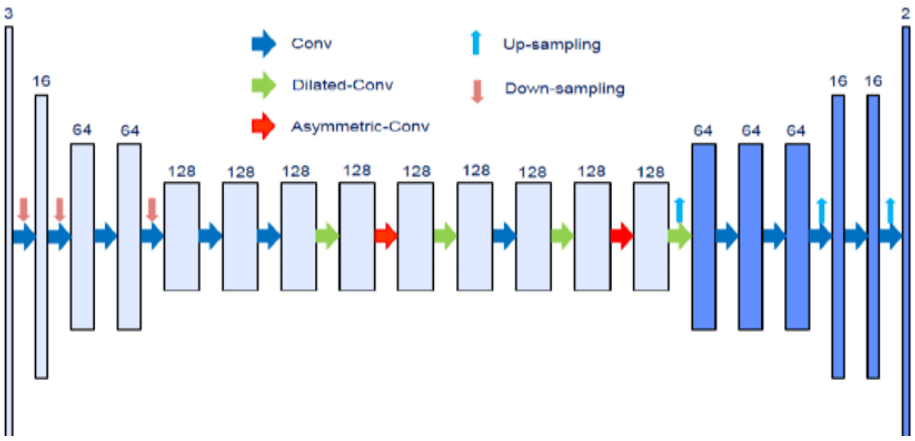


Рис. 5. Архитектура ENet

Гиперпараметры и метрики

В качестве функции потерь была выбрана взвешенная категориальная кросс-энтропия. Функция активации скрытых слоев – ReLU, выходного слоя – Softmax. Размер пакета – 32. Метод оптимизации – Adam со скоростью обучения 0,0005. Обучение проводилось на 100 эпохах с уменьшение скорости обучения в 2 раза после 5 эпох без улучшений потерь.

Для оценки качества сегментации использовались метрики: индекс Жаккара (intersection over union, IoU), точность (precision), полнота (recall) и F1-мера.

Результаты

Были обучены 4 модели СНС: U-Net, U-Net++, SegNet и ENet.

На рис. 6 представлен график зависимости потерь и точности от эпохи для тренировочного и тестового наборов модели ENet. Обе кривые потерь (тренировочная и тестовая) снижаются с увеличением количества эпох, что свидетельствует о корректном обучении модели. Кривые потерь и точности стабилизируются после 20 эпох, что может указывать на достижение предела обучения. Разница между тренировочной и тестовой точностью незначительна после 8 эпох, что говорит об отсутствии явного переобучения. После 17 эпох тестовая точность незначительно отличается от тренировочной (на 0,01–0,04), что может указывать на достижение предела обучения и хорошую обобщающую способность модели. После 26 эпох обучения тестовая точность составила 0,87, что является достаточно высоким показателем для данной задачи сегментации.

Рис. 6. График изменения потерь (слева) и точности (справа) модели ENet

В таблице 1 представлены результаты тестирования полученных моделей на тестовом наборе. Полужирным выделены лучшие модели по каждой метрике, усредненной по всем классам. Как видно, лучшие значения метрик F1 и mIoU показала модель SegNet.

Таблица 1. Метрики качества сегментации изображений

Модель	F1-мера	Precision	Recall	mIoU
U-Net	0,91	0,96	0,88	0,86
U-Net++	0,90	0,96	0,87	0,83
SegNet	**0,93**	0,96	0,90	**0,88**
ENet	0,92	0,96	0,90	0,87

В таблице 2 представлено распределение метрик по пяти классам сегментации. Полужирным выделены лучшие значения метрики F1 для каждого класса.

Все модели показали высокие результаты для растительности (F1 = 0,92–0,95), что ожидаемо для доминирующего класса. Для редких классов (грунт, дороги, антропогенные объекты) метрики значительно ниже (F1 = 0,20–0,58), особенно для антропогенных объектов (наивысший F1 = 0,58 у SegNet). SegNet лидирует по F1 для 3 из 5 классов (растительность, гидрография, антропогенные объекты). ENet лучше всего справилась с грунтом (F1 = 0,43), но показала худший результат на антропогенных объектах (F1 = 0,20). U-Net++ показала лучший результат для дорог (F1 = 0,32), но это всё равно крайне низкое значение. Причиной является малый объем обучающих данных для редких классов и ошибки ручной разметки.

Таблица 2. Распределение метрик по классам сегментации

Класс	U-Net			U-Net++			SegNet			ENet		
	prec	**recall**	**f1**	**prec**	**recall**	**f1**	**prec**	**recall**	**f1**	**prec**	**recall**	**f1**
Растительность	0,99	0,89	0,94	0,99	0,86	0,92	0,99	0,91	**0,95**	0,99	0,90	**0,95**
Грунт	0,23	0,76	0,35	0,20	0,87	0,33	0,28	0,76	0,41	0,31	0,68	**0,43**
Дороги	0,16	0,80	0,26	0,20	0,75	**0,32**	0,15	0,78	0,26	0,14	0,74	0,23
Гидрография	0,87	0,96	0,91	0,73	0,99	0,84	0,90	0,96	**0,93**	0,76	0,97	0,85
Антропогенные	0,28	0,97	0,43	0,26	0,99	0,42	0,43	0,90	**0,58**	0,11	0,97	0,20

На рис. 7 представлены результаты сегментации моделью U-Net++. Видно, что модель довольно точно выделяет крупные объекты (растительность и водоёмы). При этом на мелких и редких объектах (дороги и грунт) модель часто ошибается.

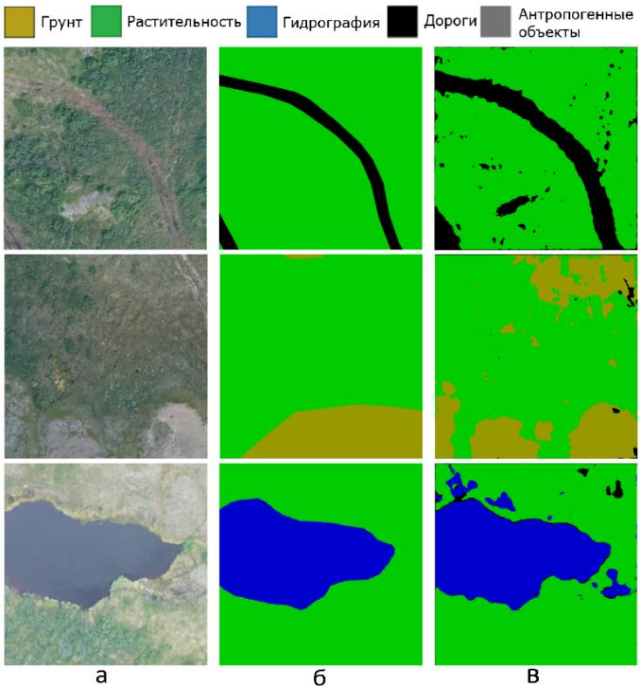


Рис. 7. Результаты сегментации моделью U-Net++: а – исходное изображение, б – эталонная карта сегментации, в – предсказание НС

SegNet продемонстрировала наилучшие результаты по метрикам F1 (0,93) и mIoU (0,88), что свидетельствует о её высокой точности и способности корректно сегментировать объекты даже при дисбалансе классов. U-Net++, несмотря на более сложную архитектуру, оказалась менее эффективной, что может быть связано с переобучением из-за недостаточного количества данных для редких классов [7].

На примере сегментации моделью U-Net++ видно, что сеть корректно выделяет крупные объекты господствующих классов (например, заросли кустарников), но допускает ошибки при разметке мелких объектов, а также на редких классах (дороги, антропогенные объекты) (рис. 7в). Это подтверждает необходимость дополнительной работы с датасетом, что включает увеличение количества обучающих примеров для редких классов и улучшение качества разметки [3]. Полученные результаты согласуются с данными литературы, где SegNet и ENet также отмечаются как эффективные архитектуры для задач сегментации [6]. Однако дисбаланс классов остается серьёзной проблемой, требующей применения методов аугментации, взвешенных функций потерь или синтетических данных. Низкие показатели для редких классов указывают на необходимость дальнейшей оптимизации, например, использования методов oversampling или transfer learning [3].

Заключение

В результате проведенного исследования были реализованы нейросетевые модели автоматизированного дешифрирования объектов земной поверхности на изображениях с БПЛА. Лучшие значения метрик F1 и mIoU получила модель SegNet. Низкие показатели метрик для классов: дороги, грунт и антропогенные объекты можно объяснить малым количеством объектов в обучающем наборе, а также некачественной разметкой. В результате анализа было установлено, что для повышения качества сегментации требуется: увеличение размера датасета для редких классов, использование методов transfer learning и более сложных архитектур, таких как DeepLab или HRNet, а также применение мультиспектральных изображений. Результаты работы могут быть применены в сельском хозяйстве, экологическом мониторинге и градостроительстве для автоматизации анализа изображений ДЗЗ. Это позволит сократить временные затраты и минимизировать субъективные ошибки ручной обработки.

Список использованных источников

1. Друки А.А., Спицын В.Г. Применение нейросетевых алгоритмов для семантической сегментации спутниковых снимков поверхности Земли // Вестник ТГУ. – 2023. – № 63. – С. 62-71.

2. Mo Y., Wu Y., Yang X., Liu F., Liao Y. Review the state-of-the-art technologies of semantic segmentation based on deep learning // Neurocomputing. – 2022. – Vol. 493. – P. 626–646.

3. Yang S., Xiao W., Zhang M., Guo S., Zhao J., Shen F. Image Data Augmentation for Deep Learning: A Survey // arXiv. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/2204.08610 (дата обращения: 25.03.2025).

4. Ronneberger, O., Fischer, P. & Brox, T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI-2015). – 2015. – Vol. 93. – P. 234-241.

5. Vijay Badrinarayanan, Alex Kendall, Roberto Cipolla. SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/1511.00561/ (дата обращения: 25.03.2025).

6. Adam Paszke, Abhishek Chaurasia, Sangpil Kim, Eugenio Culurciello. ENet: A Deep Neural Network Architecture for Real-Time Semantic Segmentation. – [Электронный ресурс]. – URL: arxiv.org/abs/1606.02147 (дата обращения: 25.03.2025).

7. Zhou Z. et al. UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation // IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2018. – Vol. 37, № 5. – P. 1234-1244.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БУДУЩИХ ТЕНДЕНЦИЙ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Солиев И.Б.[1]
[1]*Томский политехнический университет, ИШИТР, аспирант, гр. А1-36, e-mail: ibs2@tpu.ru*

Аннотация

В данной работе проводится прогнозирование научных направлений на период 2025-2029 на основе анализа данных научных публикаций. Основной целью исследования является выявление наиболее перспективных тем, а также прогноз их динамики в ближайшие годы. В ходе работы установлено, что наибольший рост публикационной активности ожидается в темах, связанных с развитием технологий, энергетикой и моделированием сложных систем.

Ключевые слова: прогнозирование научных трендов, машинное обучение, тематическое моделирование, анализ публикаций, анализ данных

Введение

В условиях роста объемов научной информации критически важным становится не только перспективный анализ существующих трендов, но и прогнозирование их динамики. Целью данного исследования является разработка методологии, объединяющей тематическое моделирование и машинное обучение, для прогнозирования перспективных направлений научных исследований.

Предложенный метод, который расширяет существующий конвейер [1], добавляя прогнозирование временных рядов для оценки будущей активности по темам. Это позволит выявить как устоявшиеся, так и возникающие области исследований.

Задачи исследования включают:

1. Анализ текущего состояния научных публикаций и их тематической динамики.
2. Применение методов машинного обучения и статистического анализа для построения прогнозных моделей.
3. Выявление ключевых направлений, которые будут доминировать в науке в ближайшие годы.

Исходные данные для исследования

В качестве исходных данных использована платформа Lens.org [2], предоставляющая доступ к обширной базе научных публикаций, патентов и исследовательских данных. Для анализа были собраны метаданные публикаций за период 2014–2024 г. по средством API Lens.org, которые автоматизирует загрузки метаданных, включая информацию о заголовках, аннотациях, ключевых словах, авторах, годах публикации и цитируемости.

Данные были предварительно обработаны с использованием методов нормализации текста, удаления дубликатов, Удаление стоп-слов, лемматизация с использованием WordNetLemmatizer и устранения нерелевантных записей. Для тематического моделирования и прогнозирования тенденций были отобраны публикации, относящиеся к приоритетным направлениям исследований, таким как искусственный интеллект, энергетика, моделирование сложных систем и межъязыковая лингвистика.

Тематическое моделирование с использованием LDA

Для выявления скрытых тем в научных публикациях применялся алгоритм Latent Dirichlet Allocation (LDA), широко используемый в задачах тематического моделирования. Этот метод основан на предположении, что каждый документ является смесью нескольких тем, а каждая тема характеризуется определенным распределением слов [3]. Алгоритм

позволил классифицировать статьи по тематическим группам и выявить ключевые тенденции, наблюдаемые в научных исследованиях.

Применение LDA включало следующие этапы:

• Предварительная обработка текста: токенизация, лемматизация, удаление стоп-слов, нормализация.

• Векторизация текстов с использованием TF-IDF (Term Frequency - Inverse Document Frequency).

• Обучение модели LDA с подбором оптимального количества тем с помощью метрики перплексии.

• Интерпретация полученных тем и их динамический анализ во временной перспективе.

Прогнозирование с приминением Random Forest

Для построения предсказательной модели, определяющей вероятность роста или снижения интереса к определенным научным темам, использовался алгоритм случайного леса (Random Forest). Данный метод представляет собой ансамблевую модель машинного обучения, основанную на множестве решающих деревьев [4].

Этапы применения Random Forest включали:

• Формирование обучающей выборки, включающей данные о количестве публикаций по темам, авторов, цитируемость и другие библиометрические показатели.

• Обучение модели на исторических данных с разбиением на тренировочную и тестовую выборки.

• Определение значимости признаков (например, количества публикаций в предыдущие годы, средний индекс цитируемости, доля междисциплинарных исследований).

• Построение предсказательной модели для прогнозирования количества публикаций по темам на 2025–2029 гг.

Применение Random Forest позволило минимизировать переобучение, обеспечить высокую точность предсказаний и выявить наиболее значимые факторы, влияющие на развитие научных направлений.

Результаты и обсуждение

Прогноз на период 2025–2029 гг., полученный с использованием модели Random Forest, выявил значительные различия в темпах роста научных направлений (рис. 1).

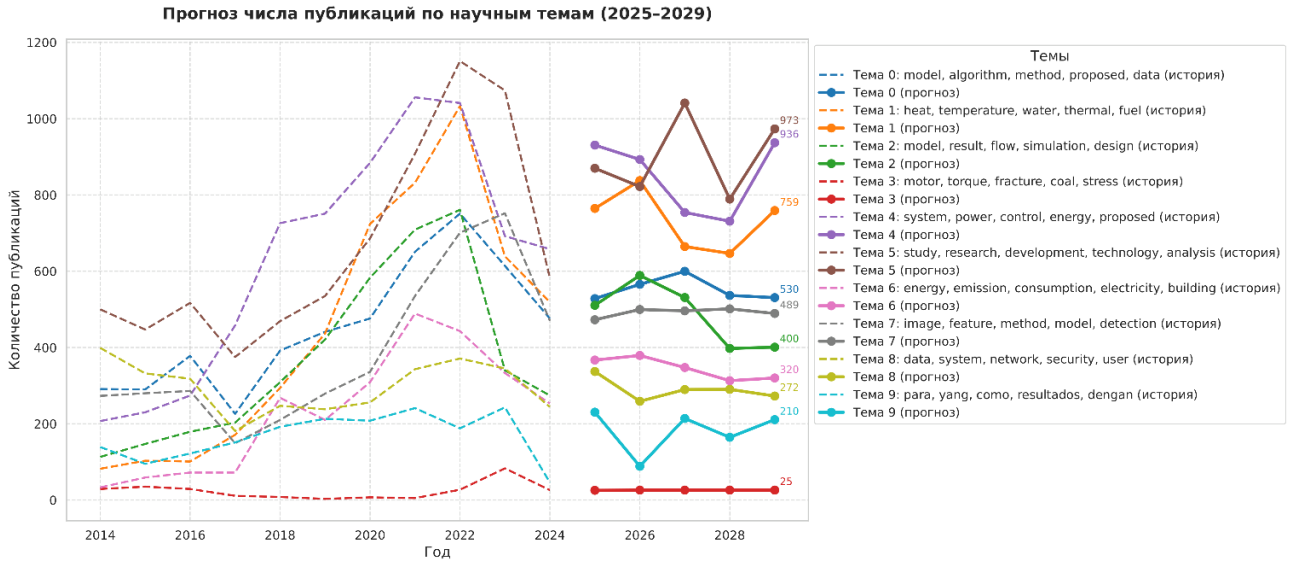


Рис. 1. Прогноз числа публикаций с применением модели Random Forest и кросс-валидации на скользящем окне

Рис. 1 демонстрируют высокую точность прогнозов (MAE = 12.3, RMSE = 15.8, $R^2 = 0.89$), Сравнение с ARIMA (MAE = 15.1, $R^2 = 0.72$) показало превосходство Random Forest на 18 % за счет учета нелинейных зависимостей и взаимодействия факторов. Интеграция тематического моделирования совместно с моделам машинного обучения Random Forest обеспечивает высокоточный прогноз научных трендов [5]. Выявленные междисциплинарные кластеры подчеркивают необходимость коллабораций между domain experts (например, разработчики инженеры и медики). Наиболее выраженный рост демонстрирует Тема 5 с ключевыми словами 'study', 'research', 'development', 'technology', 'analysis', 'system', 'review', 'paper', 'social', 'data' отражает устойчивый интерес к анализу данных и разработке новых технологических решений. Это согласуется с трендом на стандартизацию исследований в условиях роста объема данных и необходимости воспроизводимости результатов. Рост публикаций в этой области может быть связан с развитием Open Science инициатив, требующих детального описания методов. Темы 1 и 2 объединяют исследования в области термодинамики ("heat", "temperature", "flow") и моделирования ("model", "simulation"). Их синхронный рост подчеркивает актуальность энергоэффективности и оптимизации промышленных процессов, особенно в контексте декарбонизации. Например, моделирование тепловых потоков критически важно для проектирования систем возобновляемой энергетики.

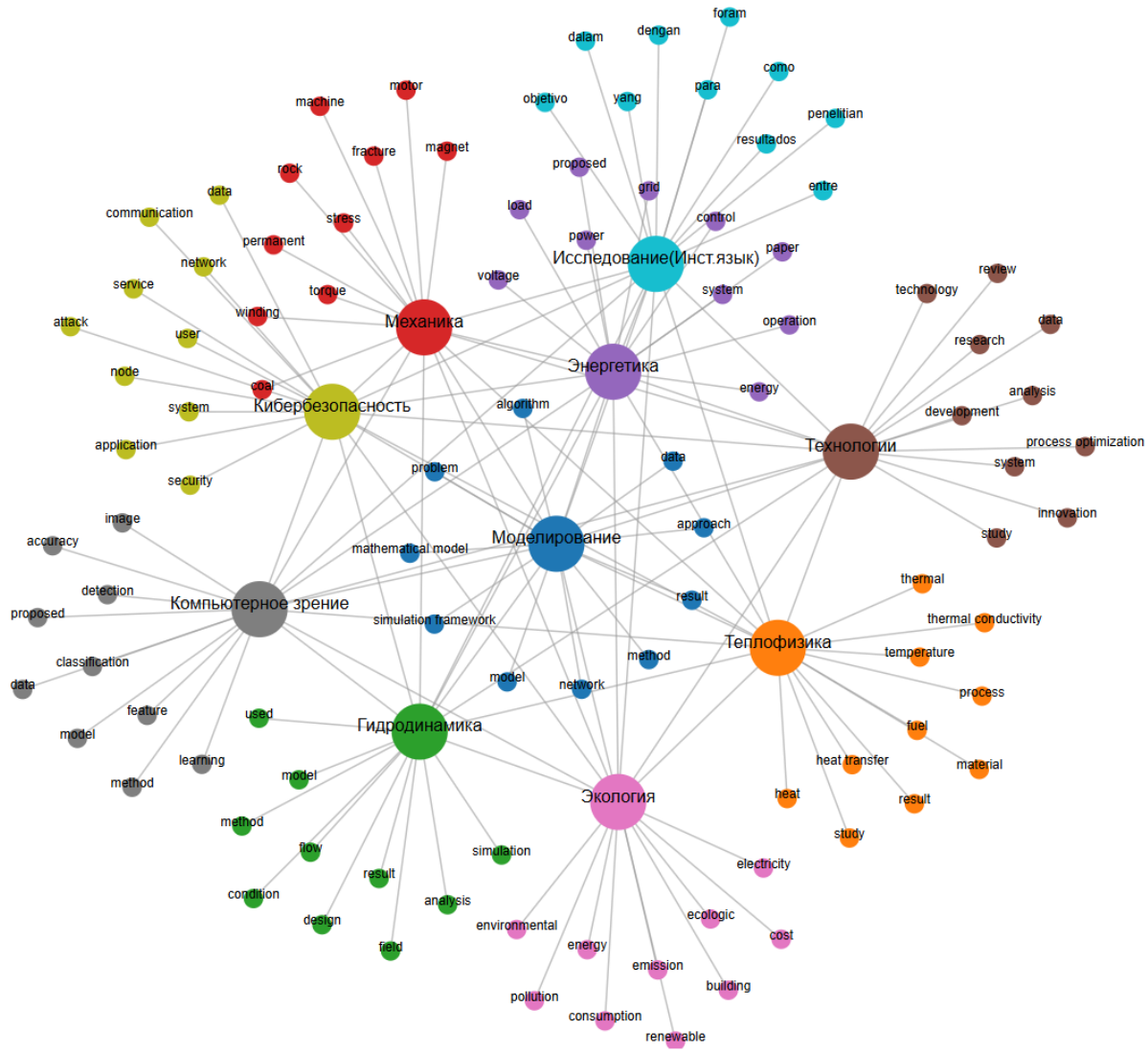


Рис. 2. Граф корреляций между темами

Для изучения связей между различными направлениями исследований применялся графовый анализ. На основе полученных данных и проведённого прогнозирования были построены графовые модели, где узлы отражали темы, подузлы – связанные ключевые слова, а связи между ними – силу научного взаимодействия. Для анализа структуры сетей использовались библиотеки NetworkX и D3.js, что позволило выделить наиболее значимые и взаимосвязанные темы.

Заключение

Применение алгоритма Random Forest совместно с тематическим моделированием LDA для проведения прогнозирования обеспечило более достоверные результаты. Графовый анализ предоставил комплексный подход к исследованию научных тенденций по направлениям, что способствовало не только идентификации ключевых областей исследований, но и уточнению прогнозов их развития на ближайшие годы. Апробация на реальных данных подтвердила высокую точность метода. Перспективами дальнейших исследований является разработка более точных моделей прогнозирования, учитывающих не только количественные, но и качественные параметры научных публикаций, а также исследование влияния междисциплинарных связей на развитие науки.

Список использованной литературы

1. Солиев И.Б. Конвейер обработки данных научных публикаций для выявления приоритетных направлений исследований // Цифровые модели и решения. – 2025. – Т. 4, № 1. – С. 17-34. DOI: 10.29141/2949-477X-2025-4-1-2. EDN: MOWAQR.

2. Iskandar S. Data-Processing-Pipeline-for-Scientific-Publications-to-Identify-Priority-Research-Areas: repository GitHub. 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: github.com/IskandarAs/Data-Processing-Pipeline-for-Scientific-Publications-to-Identify-Priority-Research-Areas (дата обращения: 19.11.2024)

4. Blei D. M., Ng A. Y., Jordan M. I. Latent Dirichlet allocation. Journal of Machine Learning Research. – 2003. – Vol. 7, no. 3. – P. 993-1022. DOI: doi.org/10.1162/jmlr.2003.3.993

5. Zeng Ziming, Wang Jing Research on Microblog Rumor Identification Based on LDA and Random Forest // Journal of the China society for scientific and technical information. – 2019. – Vol. 38, no. 1. – P. 89-96. DOI: doi.org/10.3772/j.issn.1000-0135.2019.01.010

6. Kane, M.J., Price, N., Scotch, M. Comparison of ARIMA and Random Forest time series models for prediction of avian influenza H5N1 outbreaks // BMC Bioinformatics. – 2014. – Vol. 15, no. 1. – P. 111-119. DOI: doi.org/10.1186/1471-2105-15-276

АНАЛИЗ АНКЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЕМЩИКОВ КАК ПРЕДИКТОРОВ ДЕФОЛТА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ КРЕДИТОВ

Губин Е.И.[1], Франсис Н.Дж.[2], Старкова Ю.К.[3]
[1] Томский политехнический университет, к.ф.-м.н., доцент
[2] Томский политехнический университет, ИШИТР, Старший преподаватель, ОИТ ИШИТР
[3] Томский политехнический университет, ИШИТР, студент гр. 8ПМ41, email: yks4@tpu.ru

Аннотация

Кредитный скоринг – один из ключевых инструментов для обеспечения стабильности финансовых учреждений и эффективного управления процессом потребительского кредитования, которое остается востребованным, но сопряжено с высокой вероятностью дефолта. В работе исследуется классификация заемщиков по анкетным данным для повышения точности оценки их кредитоспособности.

Ключевые слова: кредитный риск, градиентный бустинг, алгоритмы искусственного интеллекта.

Введение

Целью данной работы является сравнение моделей классификации, предназначенных для оценки влияния отдельных признаков на вероятность дефолта заемщика по потребительскому кредиту. В исследовании используются современные методы машинного обучения CatBoost и LightGBM. Методология анализа опирается на принципы, изложенные в научных трудах по кредитному скорингу и управлению рисками, таких как «Advances in Financial Machine Learning» (M. Lopez de Prado) [1].

Описание алгоритма

Для решения поставленной задачи были применены алгоритмы машинного обучения. Исходным набором данных служил датасет, содержащий информацию о 3000 заемщиках и 27 признаках, включая возраст, профессию, доходы, количество членов семьи, детей, количество завершенных кредитов, размер запрашиваемой суммы кредита, регион проживания, а также продолжительность трудовой деятельности и времени проживания по месту регистрации. В процессе анализа данных были выявлены выбросы, пропущенные значения, а также признаки, имеющие высокую корреляцию между собой и не оказывающие значимого влияния на модель. Пропущенные значения были заменены на медианы, выбросы обработаны с использованием метода IQR, а высоко коррелирующие признаки были исключены. Также была применена кросс-валидация для повышения надежности модели. Строки с «плохими» заемщиками были помечены как 1, а строки с «хорошими» - как 0.

Перед нами стояла задача классификации заемщиков, для этого были выбраны алгоритмы градиентного бустинга CatBoost из пакета catboost и LightGBM Classifier из пакета lightgbm. Важность признаков для обеих моделей оценивалась с помощью функции feature_importances [3].

CatBoost использует градиентный бустинг для построения модели, где каждое новое дерево исправляет ошибки предыдущего, а важность признаков рассчитывается на основе их вклада в улучшение модели через разбиения дерева. CatBoost автоматически обрабатывает категориальные признаки, что значительно повышает его эффективность. LightGBM, применяя гистограммное разбиение признаков, ускоряет обучение, снижая вычислительные расходы. Важность признаков в LightGBM вычисляется на основе их частоты использования в разбиениях и их вклада в уменьшение ошибки модели.

В Таблице 1 и на Рис.1 показаны признаки из анкетных данных, которые наиболее сильно влияют на дефолт по версии модели CatBoost.

Таблица 1. Важность признаков по версии CatBoost

Признак	Важность (%)
CASH	9.677
TMJOB1	9.511
TMADD	8.476
INCOME	6.8534
PERS_H	6.5367

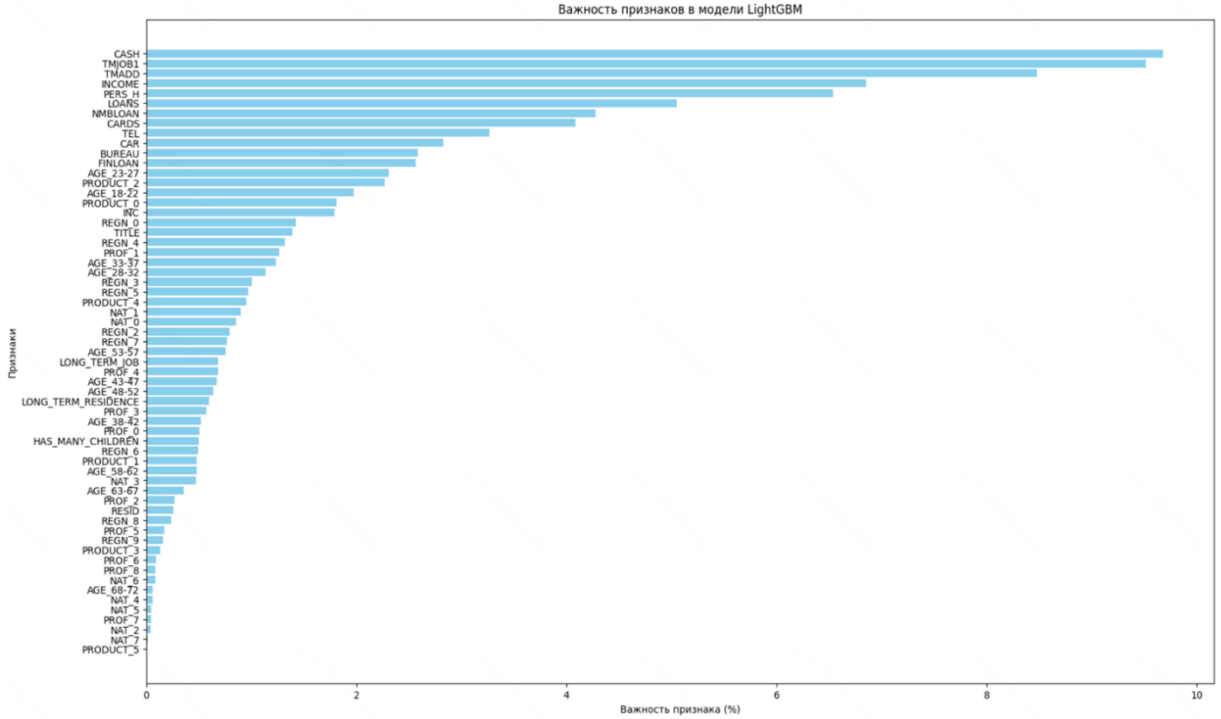


Рис.1. Важность признаков для предсказания дефолта по версии CatBoost

LightGBM выявила аналогичные признаки, которые приведены в таблице 2 и на рис. 2. Однако на первом месте TMJOB1 вместо CASH.

Таблица 2. Важность признаков по версии LightGBM

Признак	Важность (%)
TMJOB1	14.135
CASH	13.4
TMADD	12.198
INCOME	11.243
PERS_H	5.12

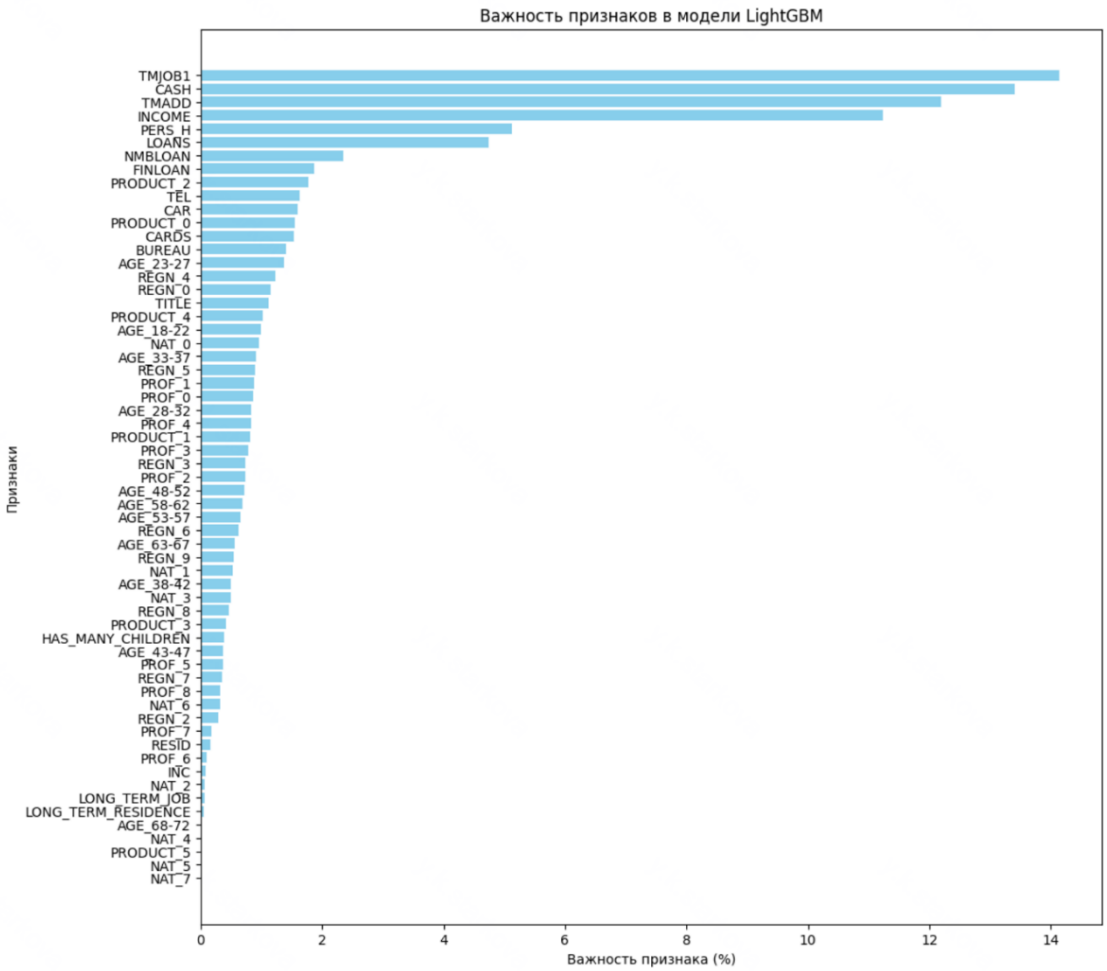


Рис.2. Важность признаков для предсказания дефолта по версии LightGBM

Показатели метрик классификатора [2] приведены в таблице 3. Точность модели для LightGBM составила 0.77 %, в случае CatBoost – 73 %.

Таблица 3. Показатели метрик классификатора

Metric	LightGBM (1)	LightGBM (0)	CatBoost (1)	CatBoost (0)
Precision	0.77	0.73	0.73	0.75
Recall	0.71	0.79	0.66	0.80
F1-score	0.74	0.76	0.695	0.77
Support	2000	1000	2000	1000

Результаты анализа показали, что LightGBM имеет более высокую точность (77 %), что свидетельствует о более стабильной работе модели в общем контексте. В отличие от LightGBM, модель **CatBoost продемонстрировала более высокое значение recall для дефолтных заемщиков,** что указывает на **лучшую способность этой модели выявлять потенциальных неплательщиков**. Однако за счет этого **общая точность модели оказалась ниже,** поскольку увеличилось число ложных срабатываний, то есть случаев, когда добросовестные заемщики ошибочно классифицировались как дефолтные.

LightGBM использует гистограммный метод разбиения, который ускоряет обучение и позволяет находить более точные разбиения на малых данных. Это может давать ему преимущество в условиях ограниченного объема выборки.

CatBoost строит симметричные деревья, что способствует более стабильному обучению. Однако этот подход снижает гибкость модели, из-за чего алгоритм хуже справляется с общей точностью, но лучше определяет заемщиков с высоким риском дефолта.

Заключение

Если основной целью является максимизация точности модели (например, минимизация ложных срабатываний для добросовестных заемщиков), то предпочтительным будет использование LightGBM. Однако если задача заключается в минимизации пропуска дефолтных заемщиков, то CatBoost может быть более эффективным инструментом. В будущем возможны исследования по улучшению моделей, включая размножение данных с помощью генетических алгоритмов, создание новых признаков, а также использование нейронных сетей и эксперименты с методами обработки выбросов и заполнения пропусков.

Список использованных источников

1. López de Prado M. Advances in Financial Machine Learning. Wiley. – 2018.

2. Мюллер А., Гвидо С. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. – М : 2016. – 2017. – 393 с.

3. Документация Scikit-learn. [Электронный ресурс]. – URL: scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html (дата обращения: 21.01.2025)

СРЕДА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АЛГОРИТМОВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНТЕРВАЛОВ АГРЕГИРОВАНИЕМ ПРЕДПОЧТЕНИЙ

Шабрамов В.С.[1], Муравьев С.В.[2]
[1]НИ ТПУ, ИШИТР, аспирант гр. А4-31, vss62@tpu.ru
[2]НИ ТПУ, ИШИТР, д.т.н., профессор, muravyov@tpu.ru

Аннотация

В статье рассматриваются основные принципы построения программной среды для организации экспериментальных исследований алгоритмов развиваемого научным коллективом метода комплексирования интервалов агрегированием предпочтений (IF&PA). Описаны основные требования к разрабатываемому на языке C++ программному обеспечению. Представлена функциональная часть программной среды, позволяющая проводить эксперименты с разными параметрами IF&PA, анализировать результаты исследований и формировать отчёты.

Ключевые слова: программная среда, язык программирования C++, комплексирование интервалов, агрегирование предпочтений.

Введение

Одной из ключевых задач в области обработки данных является нахождение точных и робастных оценок значений, основанных на анализе статистических выборок. Метод комплексирования интервалов агрегированием предпочтений (IF&PA) [1–3] представляет собой мощный инструмент для получения таких оценок. Метод был впервые предложен в 2011 и в настоящее время находится в стадии интенсивного развития с точки зрения как расширения сферы применения, так и совершенствования, и разработки новых алгоритмов. В этом контексте необходимо проведение большого объема экспериментальных исследований входящих в состав IF&PA алгоритмов, что, в свою очередь, требует наличия специализированной вычислительной среды, обеспечивающей удобство процедуры тестирования и анализа экспериментальных данных. Такая среда должна включать в себя модули для генерации входных данных, выполнения алгоритмов, оценивания показателей качества и визуализации полученных результатов. Разработка и оптимизация такой среды позволяет автоматизировать и ускорить процесс экспериментальных исследований алгоритмов и выявить их наиболее эффективные модификации.

Функции программы

Программа представляет собой специализированную среду для проведения экспериментальных исследований алгоритмов, входящих в состав метода IF&PA. Она должна функционировать удаленно и запускаться как веб-приложение, доступное посредством произвольного интернет-браузера. Программа должна предоставлять пользователю следующие функции:

- создание новых экспериментов и управление ими;
- добавление и настройка экспериментов с выбором различных алгоритмов;
- выполнение вычислений с возможностью использования многопоточных и параллельных технологий;
- анализ полученных результатов с созданием таблиц, графиков и других средств визуализации;
- формирование отчётов по экспериментам в заданном формат (Excel, PDF или CSV).

Программа ориентирована на исследователей и специалистов в области математического моделирования, анализа данных и искусственного интеллекта

Требования к программе

Исходя из назначения программы, были сформированы требования к конечной версии разрабатываемого продукта. Пользователю должны быть доступны следующие возможности.

При создании и управлении экспериментами:

- создание нового эксперимента, который открывается в рабочей зоне;
- открытие ранее созданного эксперимента;
- переключение между экспериментами;
- в эксперименте можно выполнять алгоритмы, просматривать их данные и управлять параметрами;
- генерация тестовых данных с выбором типа вероятностного распределения и объема данных;
- настройка эксперимента (например, для расчётов использовать графический процессор).

При добавлении и настройке экспериментов:

- выбор папки и/или конкретного файла с данными для эксперимента;
- выбор алгоритма из имеющейся библиотеки (например, алгоритм агрегирования предпочтений по правилу Кемени или алгоритм взвешенной медианы);
- ввод параметров алгоритмов (например, число *m* интервалов или число *n* альтернатив в алгоритмах агрегирования предпочтений по правилам Кемени и Борда);
- присвоение имени эксперименту;
- выбор способа организации параллельности вычислений.

При анализе результатов и формировании отчётов интерфейс с пользователем должен допускать:

- выбор эксперимента и просмотр его результатов;
- доступ к графикам и диаграммам для построения интервалов, визуализации данных, таблиц, профилей предпочтения, и других аналитических сведений;
- удобное отслеживание хода выполнения расчётов и архивирование полученных результатов с возможностью длительного хранения.
- редактирование формы отчетов и создание отчётов по проведенным экспериментам.

Технические требования

Исходя из поставленных требований к разработке программы, были выдвинуты технические требования. Программная среда должна быть реализована на языке программирования C++ с использованием платформы Qt для создания графического пользовательского интерфейса. Основными используемыми технологическими компонентами являются следующие:

- **CUDA (**Compute Unified Device Architecture) **– программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений на основе графических процессоров фирмы Nvidia** [4] для ускорения вычислений сложных алгоритмов.
- **OpenMP** (Open Multi-Processing) – открытый стандарт многопоточного программирования для ускорения вычислительных задач на центральном процессоре [5].
- **SIMD (Single Instruction, Multiple Data)** – принцип организации вычислений, обеспечивающий параллельную обработку данных [6] и
- **Qt** – **каркас** для разработки кроссплатформенного пользовательского интерфейса [7].

Программа должна поддерживать работу на двух популярных операционных системах и проверять наличие аппаратной поддержки SIMD и CUDA для максимального быстродействия.

Описанные выше требования предъявляются к доступной пользователю внешней части (frontend) разрабатываемого веб-приложения. Внутренняя часть (backend) приложения, функционирующая на сервере и предназначенная для выполнения расчётов с помощью

исследуемых алгоритмов и обработки полученных результатов, представляет собой пополняемую библиотеку модулей. Модули реализуют методы, алгоритмы или процедуры, подлежащие исследованию с различными целями. Примерный список реализованных к настоящему времени модулей имеет следующий вид:

- RandProMatr – генерирует случайные ранжирования для заданных *m* (число ранжирований) и *n* (число альтернатив).
- RandInt – генерирует случайные интервалы для заданных *m* (число интервалов) и *n* (число альтернатив = число дискретных значений).
- Int2Rank – преобразует интервалы в ранжирования.
- ShapeMatr – формирует матрицу профиля из ранжирований.
- RecursAll – находит все ранжирования консенсуса (РК) по правилу Кемени.
- Convolution – находит свертку всех РК, найденных по правилу Кемени.
- Borda – находит РК по правилу Борда.
- IF&PA-B – процедура IF&PA в версии *base* на основе правила Кемени и свертки.
- IF&PA-A – процедура IF&PA в версии advanced на основе правила Кемени, свертки и самоуточнения.
- IF&PA-L – процедура IF&PA в версии *ligh*t на основе правила Борда.
- IF&PA-LA – процедура IF&PA в версии *light advanced* на основе правила Борда и самоуточнения.
- WeightMed – вычисление взвешенной медианы.
- L2NormSim – метод наименьших квадратов для одномерного случая.
- L1NormSim – метод наименьших модулей в форме прямого спуска для одномерного случая.
- IF&PA-SR – простая линейная регрессия на основе IF&PA и т. д.

Все упомянутые выше модули должны поддерживать работу как в многопоточном режиме, так и в однопоточном.

Результаты разработки

В соответствии с описанными выше требованиями была разработана программная среда, которая в настоящее время находится в стадии тестирования и отладки. С целью тестирования в разработанной среде были проведены три эксперимента по сравнению оценок центра вероятностного распределения, найденных алгоритмами WeightMed (взвешенной медианы) и IF&PA-B (на основе правила Кемени и свертки). Для каждого эксперимента были сгенерированы по три набора данных со следующими настройками:

n = 11;
x_{nom} = 5, 10, 15;
$u_{nom} = 0{,}05x_{nom}$;
число индивидуальных задач = 100;
m = 5, 15, 25, 35, ..., 95,

где x_{nom} – номинальное значение центра распределения,
u_{nom} – его неопределенность.

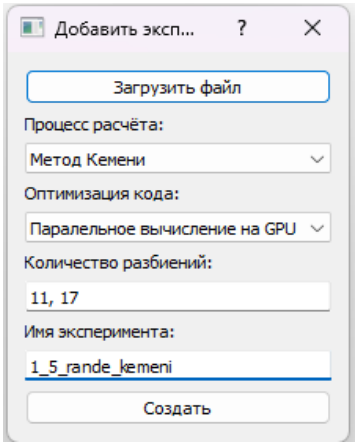


Рис. 1. Пример меню для добавления нового эксперимента

Результаты тестирования показывают, что разработанная программная среда позволяет систематизировать, упростить и ускорить процесс организации и проведения экспериментальных исследований алгоритмов, а также формирования и визуализации их результатов. На рис. 1, 2 и 3 приведены примеры элементов пользовательского интерфейса программы.

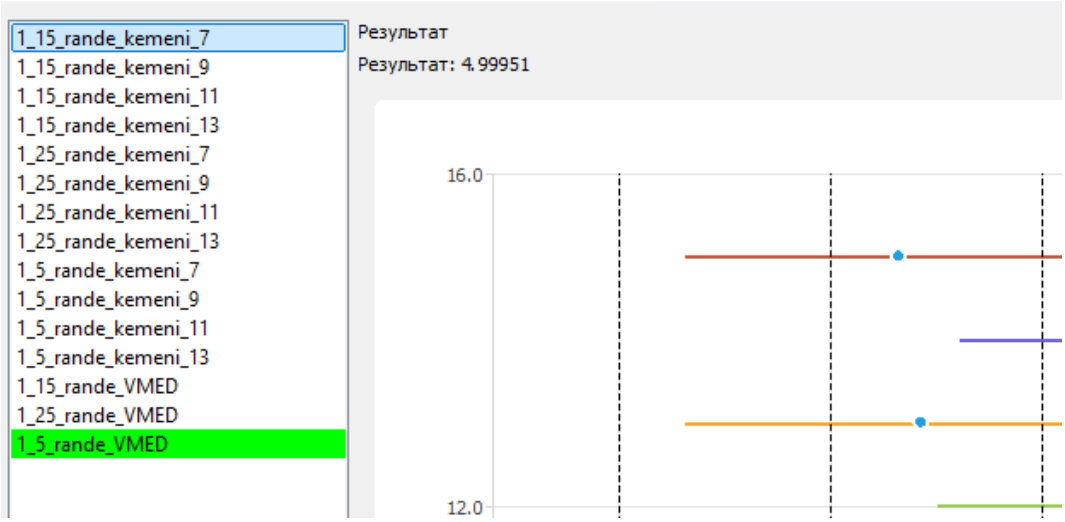


Рис. 2. Пример визуализации исходных данных эксперимента

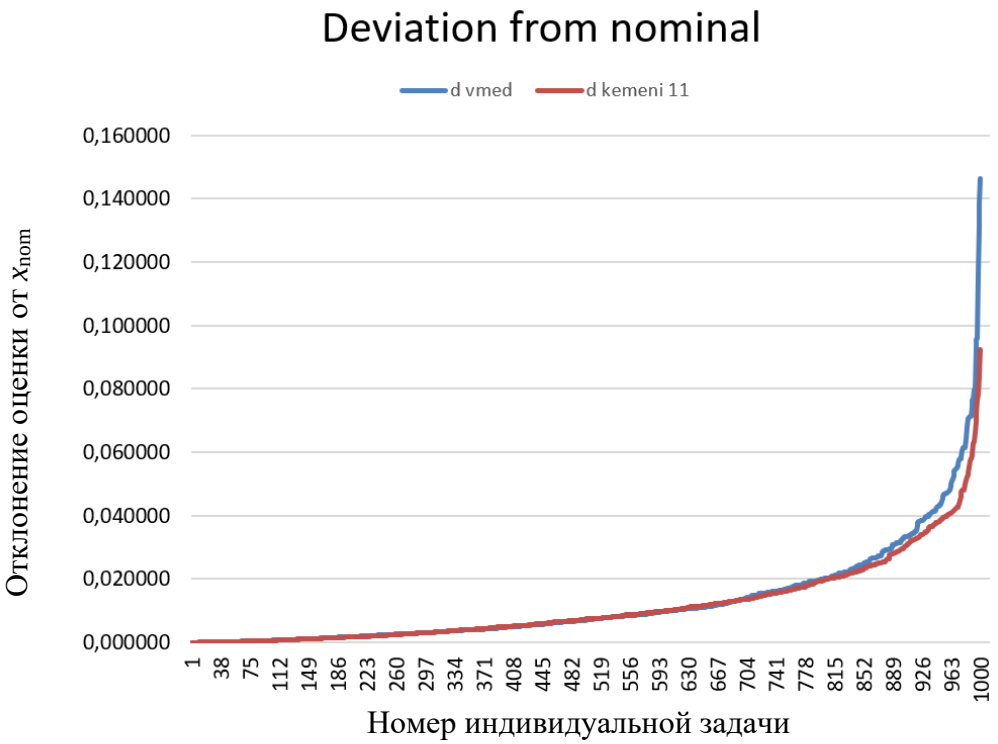


Рис. 3. Пример визуализации выходных данных эксперимента по сравнению оценок центра распределения, найденных алгоритмами WeightMed (кривая dvmed) и IF&PA-B (кривая dkemeny11)

Заключение

Разработана программная среда для организации экспериментальных исследований алгоритмов развиваемого научным коллективом метода комплексирования интервалов агрегированием предпочтений (IF&PA). Программная среда может функционировать удаленно и запускаться как веб-приложение, доступное через сеть интернет. В ходе работы были сформированы требования к frontend- и backend- частям веб-приложения, описаны используемые технологические компоненты. Для тестирования среды были проведены предварительные экспериментальные исследования разработанных алгоритмов, которые позволили выявить направления дальнейшего ее совершенствования. В частности,

предполагается разработка удобных средств обмена как входными, так и итоговыми данными между исследуемыми алгоритмами.

Список использованных источников

1. Muravyov S.V., Marinushkina I.A. Largest consistent subsets in interlaboratory comparisons: Preference aggregation approach // 14th Joint International IMEKO TC1, TC7, TC13 Symposium on Intelligent Quality Measurements - Theory, Education and Training (31 August – 2 September 2011, Ilmenau, Germany). – P. 69-73.

2. Muravyov S.V., Khudonogova L.I., Emelyanova E.Y. Interval data fusion with preference aggregation // Measurement. – 2018. – Vol. 116. – P. 621-630.

3. Muravyov S.V., Khudonogova L.I., Ho M.D., Analysis of heteroscedastic measurement data by the self-refining method of interval fusion with preference aggregation – IF&PA // Measurement. – 2021. – Vol. 183. – P. 109851.

4. CUDA Toolkit // NVIDIA Corporation. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: developer.nvidia.com/cuda-toolkit (дата обращения: 23.11.2024).

5. OpenMP Application Programming Interface. Version 6.0 November 2024 [Электронный ресурс]. – URL: openmp.org/specifications/ (дата обращения: 24.11.2024).

7. Разновидности SIMD // Хабр. – [Электронный ресурс]. – URL: habr.com/ru/articles/441536/ (Дата обращения: 01.02.2024).

8. Qt Group Documentation // The Qt Company. – [Электронный ресурс]. – URL: doc.qt.io/ (Дата обращения: 05.03.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГНОЗА ПАЦИЕНТОВ С КЛЕЩЕВЫМИ ИНФЕКЦИЯМИ

Сафронов В.С.[1], Сафронова Е.В.[2]
Научный руководитель: Аксёнов С.В.[3]
[1] ТГУ ИПМКН, аспирант, e-mail: vasilysafr@gmail.com
[2] ТПУ ИШИТР, аспирант, СибГМУ КМБК, ассистент, e-mail: ev.kashcheeva@mail.ru
[3] ТПУ ИШИТР, ТГУ ИПМКН, СибГМУ КМБК, доцент, e-mail: axoenowsw@tpu.ru

Аннотация

Статья посвящена описанию проведенного кластерного анализа клинических и лабораторных данных пациентов с клещевым энцефалитом, иксодовым клещевым боррелиозом и микст-инфекцией. Приводится сравнение оценки работы различных моделей нечеткой кластеризации по нескольким метрикам качества. Также для отображения результатов кластеризации проведена визуализация данных.

Ключевые слова: кластерный анализ, нечеткая кластеризация, алгоритм Густаффсона-Кесселя, алгоритм С-средних, клещевой энцефалит, иксодовый клещевой боррелиоз, микст-инфекция.

Введение

Большинство субъектов Российской Федерации являются эндемичными по клещевым инфекциям. Широко распространены такие заболевания, как клещевой энцефалит (в 47 субъектах РФ) и иксодовый клещевой боррелиоз, также известный как болезнь Лайма (в 72 субъектах РФ). Последствия заболеваний варьируются от полного выздоровления до нарушений здоровья, приводящих к инвалидности или летальному исходу. Основной целью медицинских учреждений при поступлении пациентов с подозрением на наличие клещевой инфекции является проведение диагностики в кратчайшие сроки, чтобы как можно раньше начать необходимое лечение [1]. Инструменты искусственного интеллекта широко используются в различных сферах деятельности, в том числе и в здравоохранении. Алгоритмы машинного обучения решают задачи прогнозирования, способны в той или иной степени предоставлять рекомендации по принятию решений. Медицинские специалисты, используя инструменты машинного обучения, способны повысить качество, а также сократить время, затрачиваемое на постановку диагноза [2].

Кластерный анализ – это удобный инструмент для выявления скрытых зависимостей. Алгоритмы кластеризации позволяют из большой совокупности данных выявить группы, к которым так или иначе относится тот или иной объект. Помимо жёсткой кластеризации, т. е. отнесения объекта исключительно к одной группе, существует и мягкая, также известная как нечеткая кластеризация, т. е. когда один объект с разной степенью может принадлежать к разным группам [3].

При постановке диагноза медицинские специалисты не редко сталкиваются с такими ситуациями, когда у пациента наблюдается не одно, а несколько заболеваний. Речь идет о микст-инфекциях, т.е. инфекциях, являющихся совокупностью нескольких. В таких случаях состояние пациента (течение заболевания) требует больше внимания, т. к. могут наблюдаться осложнения. Клещи могут быть переносчиками нескольких инфекций одновременно, т. е. организм человека быть поражен микст-инфекцией. Наиболее распространенной является микст-инфекция клещевого энцефалита (КЭ) и иксодового клещевого боррелиоза (ИКБ).

Целью данного исследования является проведение кластерного анализа клинических и лабораторных данных пациентов с заболеваниями, вызванными клещевыми инфекциями.

Основная часть

Сотрудниками кафедры инфекционных болезней и эпидемиологии были предоставлены деперсонализированные данные 204 пациентов, страдающих клещевыми инфекциями. Набор данных включает в себя 53 лабораторных и клинических показателя. Из 53 показателей были выбраны пары и тройка признаков, сочетание которых дает возможность наиболее полно оценить состояние здоровья пациента.

В качестве первой пары были выбраны такие показатели, как нейтрофильно-лимфоцитарный индекс и максимальное значение температуры тела. Нейтрофильно-лимфоцитарный индекс отражает соотношение нейтрофилов и лимфоцитов, что является чувствительным показателем воспалительной реакции на клеточном уровне [4]. Максимальная температура демонстрирует клиническую реакцию организма – наличие или отсутствие лихорадки. Сочетание этих двух признаков позволяет разделить пациентов на группы с выраженной или умеренной воспалительной реакцией, где лабораторная и клиническая информация взаимно дополняют друг друга.

Второй парой были выбраны лейкоцитарный индекс интоксикации (ЛИИ) по В.К. Островскому и пульс. ЛИИ по В.К. Островскому – это комплексный показатель, отражающий изменения в составе лейкоцитарной формулы, что может указывать на системный иммунный ответ. Пульс – это физиологический параметр, который часто увеличивается при стрессе и системном воспалении. В паре эти признаки помогают оценить, насколько выражен общий системный ответ организма на инфекцию или воспалительный процесс, что особенно важно при динамичном клиническом состоянии.

Третьей парой были выбраны скорость оседания эритроцитов (СОЭ) и систолическое давление (СД). СОЭ – традиционный лабораторный маркер воспаления, который может свидетельствовать о наличии острого или хронического воспалительного процесса [5]. Систолическое давление отражает состояние гемодинамики и может изменяться под влиянием воспалительного стресса и общего состояния пациента. Эта пара сочетает лабораторный показатель воспаления с измерением гемодинамических изменений, что позволяет выявить влияние воспалительного процесса на систему кровообращения и, соответственно, оценить тяжесть состояния.

Четвертой группой признаков стали нейтрофильно-лимфоцитарный индекс, максимальное значение температуры тела и пульс.

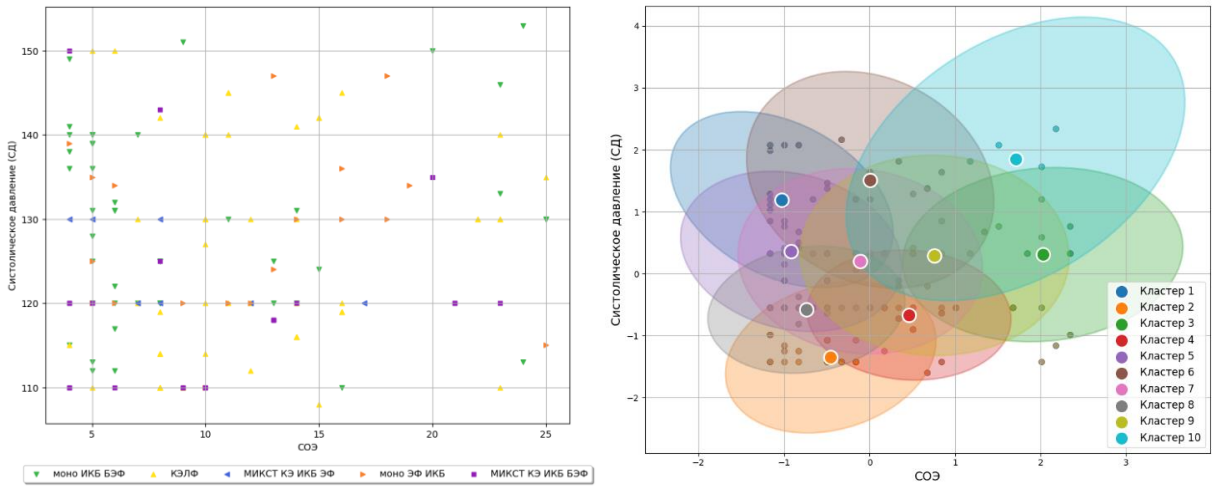
Кластеризация проводилась алгоритмами С-средних и Густаффсона-Кесселя. Эффективность проведенной кластеризации оценивалась следующими индексами: Фукуямо-Сугено, Си-Бени и нечеткого силуэта. Первые две метрики принимают наименьшие значения при наилучшей работе модели, наибольшее значение индекса нечеткого силуэта свидетельствует о более качественной кластеризации [6].

Результаты

Рассмотрим работу моделей в рамках отдельных групп признаков. Далее рядом со значениями метрик качества в круглых скобках будет указано количество кластеров. Для первой группы по индексу нечеткого силуэта наилучший результат – 0,2570 (10) показал алгоритм Густаффсона-Кесселя, по индексам Си-Бени и Фукуямо-Сугено со значениями 0,2137 (10) и 114,1412 (10), соответственно, лучше себя показал алгоритм С-средних. Аналогичные результаты были получены и для остальных групп. Алгоритм Густаффсона-Кесселя показал лучшие результаты по индексу нечеткого силуэта для второй группы – 0,3035 (10), для третьей группы – 0,2414 (10) и для четвертой группы 0,4368 (10). Кластеризация, проведенная алгоритмом С-средних, по индексам Си-Бени и Фукуямо-Сугено также показала лучшие результаты, соответственно, по второй группе – 0.2125 (8) и 118.4780 (10), третьей группе – 0,1896 (10) и 115,4750 (10), четвертой группе – 0,2526 (10) и 90,2721 (10). Видим, что

оптимальное число кластеров 8 и 10, однако в большинстве случаев метрики принимали свои наилучшие значения при числе кластеров равном 10.

На Рис. 1 представлены точечные графики распределения значений систолического давления и СОЭ. На графике (а) форма и цвет точек зависит от диагноза, который был поставлен медицинскими специалистами. На графике (б) кластеры, определенные методом С-средних, представлены в виде эллипсов разных цветов. Центроиды кластеров обозначены крупными разноцветными точками с белыми границами.



(а) *(б)*

Рис. 1. Распределение значений СОЭ и систолического давления с учетом диагноза (а) и кластеризации алгоритмом С-средних (б)

При сопоставлении сведений из двух графиков, можно сделать следующие выводы:

- Безэритемная форма ИКБ (моно ИКБ БЭФ). Три точки, принадлежащие исключительно 10 кластеру; одна - 6 кластеру; одна – выброс; 10 точек – на пересечении 1, 5, 6, 7 кластеров; 4 точки – на пересечении 8 и 2 кластеров.

- Лихорадочная форма клещевого энцефалита (КЭЛФ). 13 точек принадлежат 6 кластеру, 11 точек – 4 кластеру, причем 2 из них на пересечении этих двух кластеров.

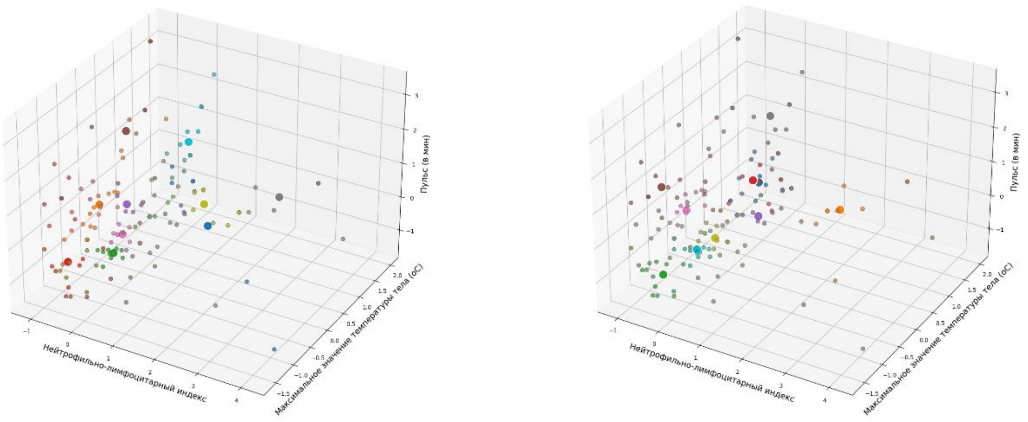
- Эритемная форма микст-инфекции (МИКСТ КЭ ИКБ ЭФ). Все 7 значений входят в 7 кластер, и 6 из них также входят в 8 кластер, четыре точки – в четвертый кластер, четыре точки также принадлежат 9 кластеру.

- Эритемная форма ИКБ (моно ЭФ ИКБ). 11 точек принадлежат 6 кластеру, 5 точек входят в 8 кластер.

- Безэритемная форма микст-инфекции (МИКСТ КЭ ИКБ БЭФ). 11 точек распределились между 1, 3, 4 и 8 кластерами.

Соотношение значений нейтрофильно-лимфоцитарного индекса, максимального значения температуры и пульса по результатам кластеризации алгоритмами Густаффсона-Кесселя и С-средних представлено на рисунке 2 (а) и (б), соответственно. Большей степенью принадлежности к кластеру соответствующего цвета центроида обладают более яркие точки, серые же точки характеризуются принадлежностью к большему числу кластеров.

Визуальное сопоставление результатов кластеризации с фактически поставленными диагнозами в трехмерном пространстве менее наглядно, чем в двумерном.



(а) *(б)*

Рис. 2 – Распределение значений Нейтрофильно-лимфоцитарного индекса, Максимального значения температуры тела и Пульса с результатами кластеризации алгоритмами Густаффсона-Кесселя (а) и С-средних (б)

В целом, явной закономерности принадлежности объектов к тому или иному кластеру в зависимости от фактически поставленного диагноза выявлено не было.

Заключение

На протяжении данного исследования была проведена нечеткая кластеризация клинических и лабораторных признаков пациентов с заболеваниями, передающимися иксодовыми клещами. По результатам проведенной кластеризации также была проведена оценка качества работы используемых моделей нечеткой кластеризации. Более эффективное разделение на кластеры было проведено на группе следующих показателей: пульс, максимальное значение температуры тела и нейтрофильно-лимфоцитарный индекс. Из двух моделей кластеризации выявить наилучшую не удалось, т.к. результаты варьируются в зависимости от различных метрик качества. По визуальному анализу можно сказать, что значения фактически поставленных диагнозов распределены хаотично и сопоставить их с полученными кластерами не удалось.

Список использованной литературы

1. Клещевой энцефалит – острое природно-очаговое инфекционное заболевание // «ДИАВАКС» центр вакцинопрофилактики. – [Электронный ресурс]. – URL: diavax.ru/infections/kleshchevoj-ehncefalit/ (дата обращения: 15.03.2025).

2. Аверьянова О.А., Коршак В.И. Искусственный интеллект в условиях современной медицины // Естественные и математические науки в современном мире. – 2016. – №5(40). [Электронный ресурс]. – URL: cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-usloviyah-sovremennoy-meditsiny (дата обращения: 10.03.2025).

3. Егоров А.В., Куприянова Н.И. Особенности методов кластеризации данных // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 11. [Электронный ресурс]. – URL: cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-metodov-klasterizatsii-dannyh (дата обращения: 4.03.2025).

4. Нейтрофильно-лимфоцитарный коэффициент // Медицинская лаборатория полного цикла «Express Medical Laboratory». [Электронный ресурс]. – URL: e-m-l.ru/lib/biomarker/neytrofilno-limfotsitarnyy-koeffitsient/ (дата обращения: 19.03.2025).

5. Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) // Helix. [Электронный ресурс]. – URL: https://helix.ru/kb/item/02-007 (дата обращения: 9.03.2025).

6. Кудинов Ю.И., Кудинов И.Ю. Нечеткое моделирование и кластеризация // Проблемы управления. – 2008. – № 6. [Электронный ресурс]. – URL: cyberleninka.ru/article/n/nechetkoe-modelirovanie-i-klasterizatsiya (дата обращения: 12.03.2025).

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Шевцова П.Э[1]., Кочегурова Е.А.[2]
[1]НИ ТПУ, ИШИТР, гр.8И21, студент, pes4@tpu.ru
[1]НИ ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент ОИТ

Аннотация

Проведен анализ применения моделей экспоненциального сглаживания для прогнозирования временных рядов в реальном времени. Рассмотрены преимущества и ограничения модели Холта-Винтерса, включая его вычислительную эффективность и адаптивность параметров к изменяющимся характеристикам исходных данных. Анализ влияния адаптивных и статических параметров на точность прогноза подтверждает эффективность метода для краткосрочного прогнозирования при минимальных вычислительных затратах.

Ключевые слова: экспоненциальное сглаживание, прогнозирование временных рядов, модель Холта-Винтерса, адаптивные параметры.

Введение

Прогнозирование параметров объектов и процессов по его ретроспективным значениям представляет собой важную задачу, которая находит применение в самых различных прикладных сферах– от промышленности до медицины.

Особенности современных задач прогнозирования во многом связаны с большими объёмами данных, поступающих от GPS, мобильных устройств, датчиков IoT, фитнес-трекеров и других источников. Такие ВР анализируются как единое целое, что позволяет выявлять динамические изменения и тенденции процессов, лежащие в основе их прогностических свойств.

Краткосрочное прогнозирование, с горизонтом прогноза 1-3 значения, востребовано для предсказания эпидемических вспышек, природных явлений, чрезвычайных ситуаций, финансовых рынков, нагрузок в возобновляемой и традиционной энергетике, трафика в транспортных, социальных и технических сетях и пр [1].

Повышение эффективности прогнозирования в реальном времени требует баланса между увеличением точности и сокращением задержек. Оба параметра зависят от длины временного ряда (глубины предыстории) и выбора математической модели прогнозирования.

Глубина предыстории должна соответствовать динамике процесса, но её увеличение снижает оперативность прогноза. Решением может стать рекуррентное прогнозирование с использованием групп наблюдений, что обеспечивает компромисс между долговременной памятью, быстродействием и актуальной длиной ряда. Такой подход представляет собой важную и актуальную задачу для прогнозирования в реальном времени.

В соответствии с предлагаемым подходом необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор и выбрать методы, удовлетворяющие требованиям реализации в реальном масштабе времени (РМВ).
- провести анализ типов динамических свойств ВР.
- разработать систему показателей эффективности прогноза.
- выполнить вычислительный эксперимент.

О методах прогнозирования

Методы краткосрочного прогнозирования можно классифицировать по различным признакам [2]. Формализованные методы прогнозирования (или модели) делят на статистические и структурные. Другой подход разделяет методы прогнозирования на параметрические (основанные на информации о распределении ВР) и непараметрические

(использующие информацию не статистического характера). А по степени использования предшествующих данных ВР методы разделяются на локальные и глобальные. Локальные опираются на шейплеты (целые образы из прошлого), а глобальные – на рекуррентный математический аппарат, учитывающий предшествующие данные в скрытой форме.

Особый класс моделей прогнозирования – гибридные методы, комбинирующие методы разных классов. И по разным оценкам [3] частота их использование превышает 20 %.

Прежде чем приступать к выбору методов прогнозирования, необходимо выделить ключевые характеристики ВР, отражающие их структуру и динамику. Основными компонентами ВР являются: тренд, сезонность, шум.

Тренд, как ключевая характеристика динамики ВР, отражает долгосрочное направление изменения динамики (рост, спад), или отсутствие тренда, т.е. стабильность. Сезонность характеризуется периодическими колебаниями, связанными с природными, социальными или технологическими факторами. Учёт сезонности особенно критичен для краткосрочного прогнозирования.

Шум – это случайные колебания и вызван шум ошибками измерений или внешними факторами. Для минимизации влияния шума применяются методы сглаживания, которые одновременно помогают выделить основные компоненты ряда (тренд и сезонность).

Выбор методов прогнозирования напрямую зависит от структуры временного ряда и особенностей задачи прогнозирования.

Таким образом, для прогнозирования ВР со сложной динамикой, включающей тренд, сезонность и шум, могут быть использованы такие методы, как экспоненциальное сглаживание Хольта-Винтерса или SARIMA. Однако, несмотря на эффективность и популярность алгоритмов ARIMA/SARIMA, они не имеют рекуррентной реализации, что ограничивает их применение в задачах прогнозирования в РМВ. В то же время, для некоторых экспоненциальных методов (например, Хольта-Винтерса) рекуррентная реализация возможна, что делает их более подходящими для использования в РМВ. Это обстоятельство обусловило выбор экспоненциальных алгоритмов, второго и третьего порядков для прогнозирования сложных динамических временных рядов в режиме реального времени.

Методология

Экспоненциальные методы прогнозирования обладают рядом преимуществ, таких как адаптивность и гибкость настройки, что делает их эффективными для краткосрочного прогнозирования. Но эти достоинства краткосрочного прогнозирования одновременно являются ограничением в долгосрочном прогнозировании и в гибридном прогнозировании в комбинации с другими методами.

Экспоненциальные методы прогнозирования основаны на присвоении различных весов данным, причём более новые наблюдения оказывают большее влияние на прогноз. Модели экспоненциального сглаживания можно разделить на три основных типа [4]:

Простое экспоненциальное сглаживание используется для прогнозирования временных рядов, которые не содержат тренда или сезонности.

$$\begin{aligned} L_t &= \alpha y_t + (1-\alpha)L_{t-1} = L_{t-1} + \alpha(y_t - L_{t-1}), \\ \hat{y}_{t+1} &= L_t \end{aligned} \qquad (1)$$

где

L_t – уровень ВР в момент времени t;

y_t – фактическое значение в момент времени t;

$\hat{y}_t$ – прогноз в момент времени t;

α – параметр сглаживания ($0 \le \alpha \le 1$).

Метод Хольта (двойное экспоненциальное сглаживание) расширяет простое экспоненциальное сглаживание, добавляя компонент тренда, что позволяет прогнозировать данные с тенденцией роста или спада.

$$
\begin{aligned}
&L_t = \alpha y_t + (1-\alpha)\cdot(L_{t-1} + T_{t-1}),\\
&T_t = \beta\cdot(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)\cdot T_{t-1},\\
&\hat{y}_{t+1} = L_{t+1},
\end{aligned}
\tag{2}
$$

где

T_t –оценка тренда на момент времени *t;*

α и β– параметры сглаживания для уровня и тренда соответственно.

Метод Хольта-Винтерса (тройное экспоненциальное сглаживание) дополнительно учитывает сезонные колебания, что делает его подходящим для ВР с выраженной сезонностью.

$$
\begin{aligned}
&L_t = \alpha\cdot(y_t - S_{t-m}) + (1-\alpha)\cdot(L_{t-1} + T_{t-1}),\ L_0 = y_0,\\
&T_t = \beta\cdot(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)\cdot T_{t-1},\\
&S_t = \gamma\cdot(y_t - L_t) + (1-\gamma)\cdot S_{t-m},\\
&\hat{y}_{t+1} = L_t + T_t + S_{t+1-m},
\end{aligned}
\tag{3}
$$

где

S_t – сезонная компонента на момент времени *t.*

m – длина сезонного периода.

α, β, γ – параметры сглаживания для уровня, тренда и сезонности соответственно.

Аддитивная модель (3) предполагает, что сезонность и тренд аддитивно влияют на уровень ВР. Существует также мультипликативная модель Хольта-Винтерса, в которой сезонность и тренд мультипликативно влияют на уровень ряда.

Следующий этап в технике прогнозирования – адаптация параметров сглаживания α, β, γ [5, 6]. При поступлении данных в РМВ целесообразна динамическая настройка параметров модели. В условиях РМВ метод рекуррентных оценок параметров может быть использован, поскольку обновляет параметры модели на каждом новом шаге ВР на основе ошибок прогнозирования на прошлом шаге. Этот подход полезен при поступлении данных последовательно, и модель, при этом, быстро адаптируется к изменениям.

Вычислительный эксперимент

Для оценки эффективности прогнозирования в РМВ выполнены вычислительные эксперименты с имитацией реального времени. Эксперименты предназначены для выявления прогностических свойств экспоненциальных алгоритмов для модельных и реальных ВР. Для этого было необходимо выбрать показатели оценки эффективности и задать ВР.

Метрики эффективности

Для оценки эффективности предсказания используются наиболее популярные показатели точности в процентном представлении [7].

MAPE – средняя абсолютная процентная ошибка

$$
MAPE = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\hat{y}_{t+1} - y_{t+1}\right|. \tag{6}
$$

MSPE – средняя квадратичная процентная ошибка

$$
MSPE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_{t+1} - y_{t+1})^2}\cdot\frac{100}{\left|y_{\max} - y_{\min}\right|}. \tag{7}
$$

Синтетические и реальные временные ряды

В качестве модельных использованы ВР с трендом и ВР комбинации тренда и сезонности.

Трендовый ВР включает 100 точек и задан следующим образом:

$$
y1_t = a_0 + a_1 t + \varepsilon_t
$$

Модельный ВР, включающий тренд и сезонность, определен формулой

$$y2_t = y1_t + A \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right).$$

В качестве реальных ВР были использованы данные фондового рынка, хранящиеся на открытом интернет-ресурсе «Kaggle».

Настройка методов и моделей прогнозирования

Для оценки эффективности экспоненциальных методов были выбраны следующие модели Холта и Холта-Винтерса с адаптивными и постоянными параметрами.

Методы с адаптивными параметрами, реализованные в данной статье, используют рекуррентную адаптацию параметров сглаживания на основе градиентного спуска. Таким образом, параметры сглаживания α, β, γ (для уровня, тренда и сезонности) переопределяются при каждом поступлении отсчета ВР с учетом формул рекуррентного обновления параметров и текущей ошибки прогноза.

Методы с постоянными параметрами, реализованные в данной статье, применяют постоянные значения параметров сглаживания на протяжении всего ВР.

Процесс обучения моделей производится параллельно с процессом прогнозирования, так как модель переопределяет параметры сглаживания после каждого предсказанного значения, обучаясь на ошибке между предсказанным и действительным значениями временного ряда.

Основные метрики прогнозирования приведены в табл. 1 для синтетических и реальных ВР с использованием выбранных методов прогнозирования.

Таблица 1. Метрики для спрогнозированных значений ВР

Метод прогнозирования (Модель)	MSPE	MAPE
Временные ряды синтетические		
Двойное экспоненциальное сглаживание (Модель Холта) с адаптивными параметрами - ВР с трендом	2.6999	2.9543
Тройное экспоненциальное сглаживание (Модель Холта-Винтерса) с адаптивными параметрами - ВР с сезонностью и трендом	4.4295	5.6536
Тройное экспоненциальное сглаживание (Модель Холта-Винтерса) с постоянными параметрами - ВР с сезонностью и трендом	5.2161	5.6374
Временные ряды реальные		
Тройное экспоненциальное сглаживание (Модель Холта-Винтерса) с адаптивными параметрами - ВР «Акции Google»	0.6943	1.8112
Тройное экспоненциальное сглаживание (Модель Холта-Винтерса) с постоянными параметрами - ВР «Акции Google»	0.5182	1.4003
Тройное экспоненциальное сглаживание (Модель Холта-Винтерса) с адаптивными параметрами - ВР «Акции Amazon»	0.9167	2.9470
Тройное экспоненциальное сглаживание (Модель Холта-Винтерса) с постоянными параметрами - ВР «Акции Amazon»	0.7072	4.4450

Визуализация результатов прогнозирования для синтетических ВР приведена на рис. 1.

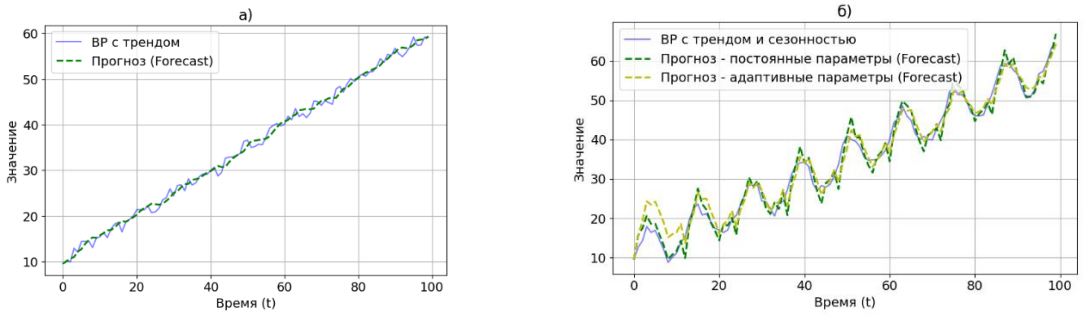


Рис. 1. Результаты прогнозирования:
а) модель Холта с адаптивным параметрами,
б) модель Холта-Винтерса с постоянными и адаптивным параметрами

Обсуждение результатов

Цель исследований с использованием синтетических временных рядов состоит в изучении возможностей и получении предельных характеристик методов прогнозирования. Вычислительные эксперименты показали, что эффективность методов экспоненциального прогнозирования зависит от характера ВР и способа настройки параметров метода.

1. Модель Холта показала достаточно высокие результаты при прогнозировании трендового ВР. Значения метрик MSPE (2.69 %) и MAPE (2.95 %) находятся на приемлемом уровне, что означает хорошую адаптацию метода к трендовым данным. Однако при наличии сезонности результативность модели Холта снижается до 4–5 % при любом способе адаптации параметров модели.

2. Наличие сезонности в исходных данных снижает результативность прогнозирования. Так, результативность для модели Холта-Винтерса с постоянными и адаптивными параметрами снижается до 4–5 %, но тем не менее метрики так же находятся на приемлемом уровне.

Данная модель показывает достойные результаты на реальных данных, рис. 2, рис. 3. Но при этом, в случае адаптивных параметров не требуется изначально задавать оптимальные значения параметров сглаживания. А модель с постоянными параметрами критична к выбору этих значений, что является отдельной сложной задачей и не может быть реализуема в РМВ. На рис. 2 и 3 приведены результаты прогнозирования только для оптимальных значений постоянных параметров.

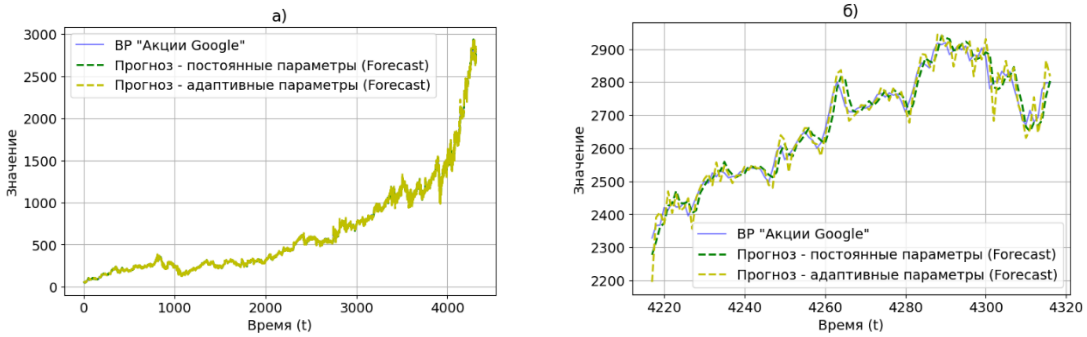


Рис 2. Результаты прогнозирования; модель Холта-Винтерса для ВР акций Google: а) весь период, б) последние 100 значений

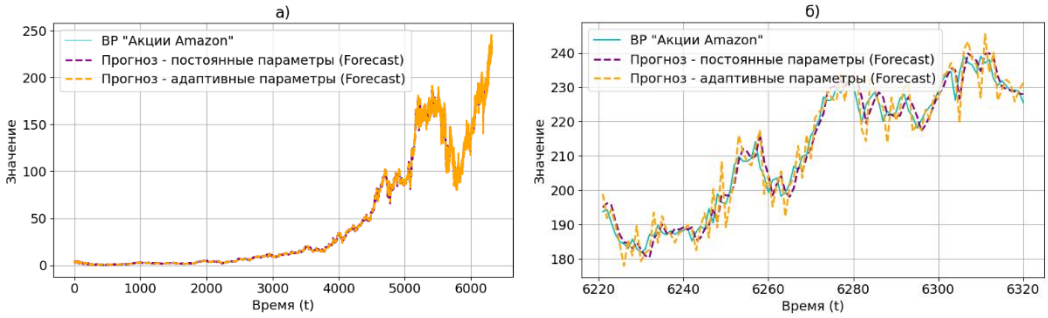


Рис. 3. Результаты прогнозирования; модель Холта-Винтерса для ВР акций Amazon а) весь период, б) последние 100 значений

Заключение

Проведенные исследования показали преимущества и ограничения экспоненциальных моделей для прогнозирования в РМВ.

Основным достоинством экспоненциальных моделей является наличие рекуррентных способов вычисления, что делает возможным их использование для прогнозирования в РМВ. Также к преимуществам этих методов можно отнести хорошую адаптацию к изменениям трендов и сезонных колебаний и малую затратность ресурсов.

Также к достоинствам методов можно отнести хорошую интерпретируемость параметров сглаживания, что повышает эффективность моделей экспоненциального сглаживания. Однако, эти параметры могут отрицательно влиять на точность прогноза из-за чрезмерного реагирования на локальные шумы. Еще одним ограничением модели Холта-Винтерса является отсутствие априорных данных о периоде сезонности.

В целом методы экспоненциального сглаживания позволяют с высокой точностью предсказывать изменения временного ряда при минимальных вычислительных затратах.

Адаптивные модели обеспечивают гибкость и способность реагировать на изменяющиеся характеристики временного ряда, однако в ряде случаев они могут быть подвержены сильному влиянию шума на прогноз, в то время как модели с постоянными параметрами более стабильны, но требуют подбора параметров сглаживания для обеспечения высокой точности прогноза.

Список использованных источников

1. Akhtar S., Shahzad S., Zaheer A. et al. Short-Term Load Forecasting Models: A Review of Challenges, Progress, and the Road Ahead – Energies. – 2023. – № 16 (10). – P. 4060.

2. Запорожцев И.Ф. Краткосрочное прогнозирование пространственно-временной изменчивости океанографических характеристик методами анализа многомерных временных рядов : дис. канд. техн. наук / И.Ф. Запорожцев. – Мурманск, 2016. – 183 с.

3. Parmezan A. Evaluation of statistical and machine learning models for time series prediction: Identifying the state-of-the-art and the best conditions for the use of each model / A. Parmezan, V. Souza, Batistaa G. // Information Sciences. – 2019. – Vol. 484. – P. 302-337.

4. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. : OTexts. – 2021. – 384 p.

5. Svetunkov I. Modern Exponential Smoothing: Innovations and Applications - Journal: International Journal of Forecasting. – 2022. – № 38(1). – P. 204-225.

6. Воевода А.А., Трошина Г.В. Рекуррентный метод оценивания параметра в динамическом объекте // Автоматическое управление и идентификация. – 2016. – 12 с.

7. Кочегурова Е.А. Гибридный подход для краткосрочного прогнозирования временных рядов на основе штрафного P-сплайна и эволюционной оптимизации / Е.А. Кочегурова, Е.Ю. Репина, О.Б. Цехан // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 5. – С. 821-829.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ ПО ЗНАКУ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Богач Е.А.[1], Колосов В.В.[2], Дудоров В.В.[3]
[1] ИОА СО РАН, аспирант, мнс, e-mail: bogach@iao.ru
[2] ИОА СО РАН, советник директора
[3] ИОА СО РАН, заместитель директора по научной работе

Аннотация

В работе впервые показано, что применение нейронных сетей позволяет распознавать противоположные по знаку топологические заряды лазерных пучков в турбулентной атмосфере по мгновенным распределениям интенсивности с точностью более 97 %, продемонстрирована устойчивость обученной нейронной сети к поворотам изображений вокруг центра и отражениям изображений по горизонтали.

Ключевые слова: топологический заряд, орбитальный угловой момент, вихревые пучки, турбулентная атмосфера, нейронная сеть

Введение

Увеличение информационной емкости атмосферно-оптических каналов передачи данных на основе использования традиционных способов амплитудной, фазовой, частотной модуляции практически достигло своего предела [1]. Для дальнейшего увеличения пропускной способности лазерной связи исследуются возможности кодирования информации на основе модуляции распределений интенсивности [2], направлений и распределений поляризации [3], орбитального углового момента (ОУМ) [4]. Лазерные пучки, переносящие ОУМ, также называют вихревыми лазерными пучками или оптическими вихрями. Такие пучки имеют особую спиралевидную форму фазового фронта, который в полярных координатах может быть представлен в виде фазового множителя $\exp(i\theta l)$, где θ – азимутальный угол, l – целое число, называемое топологическим зарядом [5]. В однородной среде величина топологического заряда совпадает с нормированным на мощность значением проекции ОУМ на ось распространения [5, 6].

В атмосферно-оптических каналах связи серьезным ограничением является атмосферная турбулентность, при распространении через которую пучки претерпевают случайные фазовые искажения, что приводит к ошибкам регистрации топологического заряда [7–9]. Для снижения влияния турбулентности применяются методы адаптивной оптики [10], которые, однако, являются дорогостоящими и малопригодны в условиях сильной турбулентности. Активно исследуемым направлением является применение нейронных сетей для определения величины l по изображениям интенсивности в плоскости регистрации [11].

Для пучков с противоположными по знаку, но одинаковыми по модулю значениями топологического заряда в однородной среде формируются тождественные картины распределений интенсивности. Это ограничивает использование знака топологического заряда для кодирования информации. Однако, было обнаружено, что применение нейронных сетей позволяют распознавать противоположные по знаку величины топологического заряда при анализе спекл-структур, полученных при рассеянии вихревых пучков на диффузорах [12].

Целью данной работы является анализ применения нейронных сетей для распознавания противоположных по знаку топологических зарядов вихревых лазерных пучков в турбулентной атмосфере. Работа выполнена на основе численного моделирования распространения пучков Лагерра-Гаусса (ЛГ-пучков) в турбулентной атмосфере и использования полученных с помощью данного метода распределений интенсивности для обучения и тестирования нейронной сети. Под задачей распознавания топологического заряда в рамках этого исследования мы подразумеваем определение с помощью нейронной сети

величины топологического заряда, которая задается для ЛГ-пучка в начальной плоскости, по изображению распределения интенсивности в плоскости регистрации, полученному после распространения этого пучка через турбулентную атмосферу. Данный подход позволяет определить топологический заряд, заданный в начальной плоскости, вместо измерения этой величины в плоскости регистрации, что позволяет снизить влияние турбулентности.

Описание численного эксперимента

Для численного решения задачи распространения лазерных пучков в турбулентной атмосфере мы применяли методы расщепления по физическим факторам и фазовых экранов, подробно описанные в [13]. Схема численного эксперимента приведена на рис. 1. Дистанция распространения при моделировании задавалась равной длине дифракции $l_D = k\omega_0^2/2$, где $k = 2\pi\lambda$– волновое число, ω_0 – размер пучка в начальной плоскости. Размер расчетной сетки составлял 512×512 точек, размер стороны расчетной сетки – $16\omega_0$, внутренний масштаб турбулентности – $l_0 = 0.08\omega_0$, внешний масштаб турбулентности – $L_0 = 12\omega_0$.

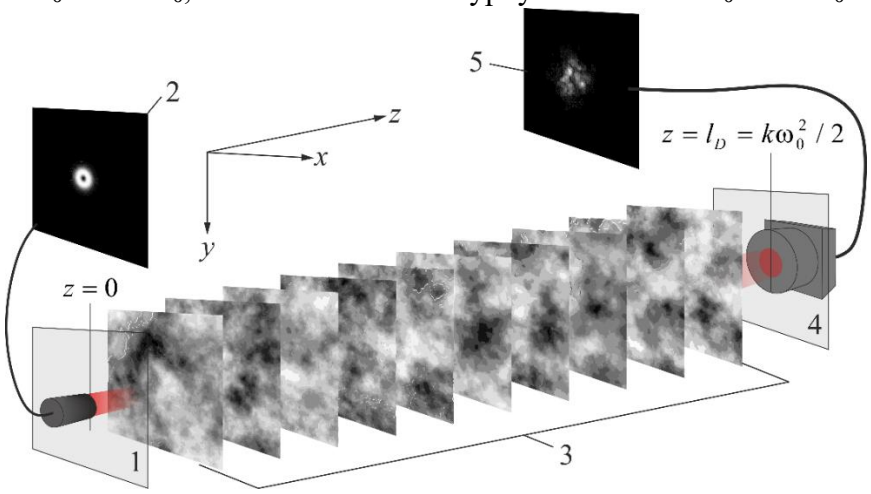


Рис. 1. Схема численного эксперимента:
1 – начальная плоскость (z = 0), 2 – картина распределения интенсивности в начальной плоскости, 3 – турбулентная трасса, моделируемая посредством 10 случайных фазовых экранов, 4 – плоскость регистрации (z = $l_D = k\omega_0^2/2$), 5 – картина распределения интенсивности в плоскости регистрации

В начальной плоскости комплексная амплитуда поля ЛГ-пучка задавалась согласно (1):

$$U_{LG}\left(r',\theta,l,p,z=0\right) = 4Cw_{norm}\left(\sqrt{2}r'\right)L_p^{|l|}\left(2r'^2\right)\exp\left(-r'^2\right)\exp\left(il\theta\right), \quad (1)$$

где r' – нормированный на ω_0 радиус r в полярных координатах ($r^2=x^2+y^2$), $C_{norm} = \sqrt{p!\ /\ \left(p+|l|\right)!}$ - нормировочный множитель; $L_p^{|l|}$ - обобщенный полином Лагерра; θ - азимутальный угол полярных координат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения пучка; l – азимутальный индекс, значение которого тождественно значению топологического заряда и величине нормированной на мощность проекции ОУМ на ось распространения; p – радиальный индекс.

Атмосферная турбулентность моделировалась посредством 10 равноотстоящих друг от друга случайных фазовых экранов. При расчетах использовался нормированный спектр показателя преломления, соответствующий модели Кармана [8]:

$$\Phi'\left(\boldsymbol{\kappa}'_\perp\right) = 2\pi\cdot 2.36\cdot r_0'^{-5/3}\cdot\frac{0.033\exp\left(-\boldsymbol{\kappa}'^2_\perp / \kappa'^2_m\right)}{\left(\boldsymbol{\kappa}'^2_\perp + \kappa'^2_0\right)^{11/6}} \quad (2)$$

где r_0' – нормированный на ω_0 радиус Фрида $r_0 = \left\{0.423k^2C_n^2L\right\}^{-3/5}$, C_n^2 – структурная характеристика показателя преломления, L – дистанция распространения излучения $\kappa_m' = 5.92/l_0'$, $\kappa_0' = 2\pi / L_0'$, а l_0' и L_0' это нормированные внутренний и внешний масштабы турбулентности соответственно.

В данной работе мы ограничились использованием ЛГ-пучков с радиальным индексом $p = 0$ и с топологическими зарядами $l = \pm 1$, распространяющихся в турбулентной атмосфере с $r_0 = 2\omega_0$. Распределения интенсивности таких пучков в однородной среде имеют кольцеобразный вид и являются тождественными, а в турбулентной атмосфере искажаются случайным образом (см. рис. 2). Видно, что усредненные распределения являются практически тождественными. Изображения мгновенных распределений интенсивности сильно различаются, однако не позволяют явно определить, какому значению топологического заряда они соответствуют.

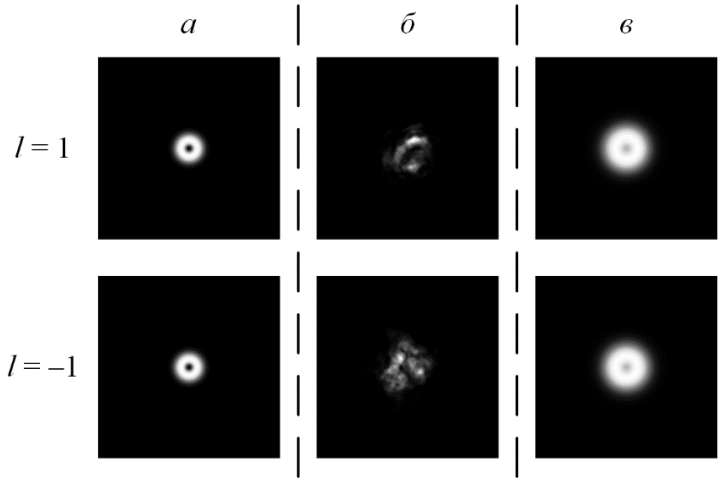


Рис. 2. Примеры изображений распределений интенсивности:
а – изображения распределений интенсивности в начальной плоскости,
б – изображения мгновенных распределений интенсивности в плоскости регистрации,
в – усредненные по 30000 реализациям изображения распределения интенсивности в плоскости регистрации

Для проведения исследования выполнены 100000 расчетов изображений распределений интенсивности в плоскости регистрации, по 50000 для каждого из $l \in \{-1,1\}$. Весь набор изображений был разделен на тренировочную, валидационную и тестовую выборки. Тренировочная выборка состояла из 60 % всего набора изображений, а валидационная и тестовая – по 20 % каждая. Во всех сформированных выборках количество изображений было одинаковым для каждого l.

В исследовании мы применили свёрточную нейронную сеть, архитектуру которой мы разработали согласно зарекомендовавшим себя в подобных задачах подходам [14]. Архитектура нейронной сети представлена на рис. 3. Предварительный слой свёртки с фильтрами 7×7 и шагом 2 (Conv2D) и функции активации (LeakyReLU), а также свёрточные блоки, каждый из которых состоит из последовательно применяемых слоев свёртки, функции активации и субдискретизации (MaxPooling), извлекают сложные признаки из изображений интенсивности. Полносвязные слои (Dense) формируют из извлеченных признаков вероятность соответствия исследуемого изображения каждому значению l. Полученные вероятности затем преобразуются в значение топологического заряда.

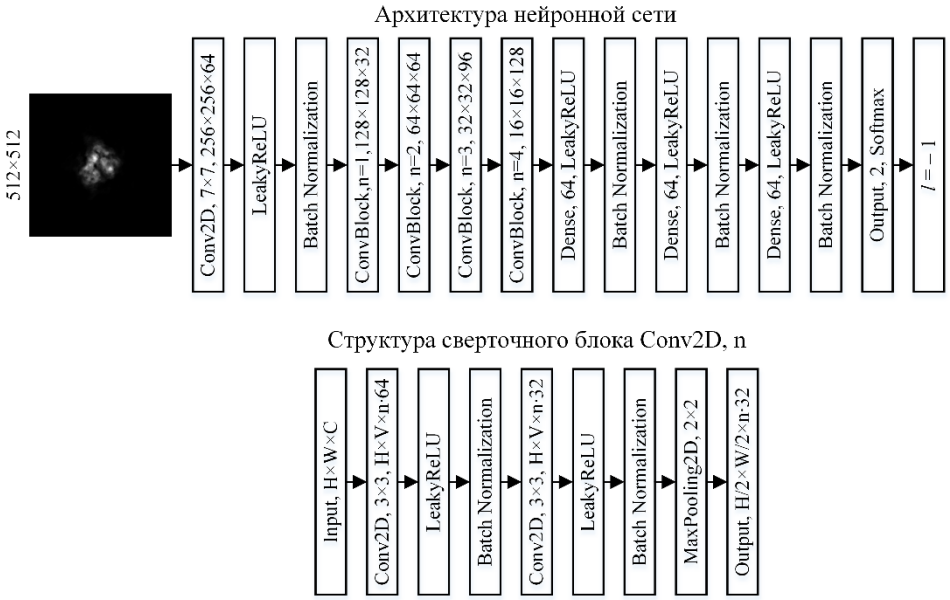


Рис. 3. Архитектура использованной свёрточной нейронной сети и свёрточных блоков

Точность распознавания топологического заряда на выборке P_{sample} в исследовании определялась согласно выражению:

$$P_{sample} = \frac{N_{sample}^{True}}{N_{sample}} \cdot 100\%, \tag{4}$$

где N_{sample}^{True} – количество верно определенных топологических зарядов во всей выборке (для всех значений l); N_{sample} – количество всех изображений выборке.

Нейронная сеть обучалась на тренировочной выборке в течение 30 эпох. Валидационная выборка использовалась для контроля за переобучением модели. На рис. 4 приведены точности на тренировочной и тестовой выборках в зависимости от эпохи обучения.

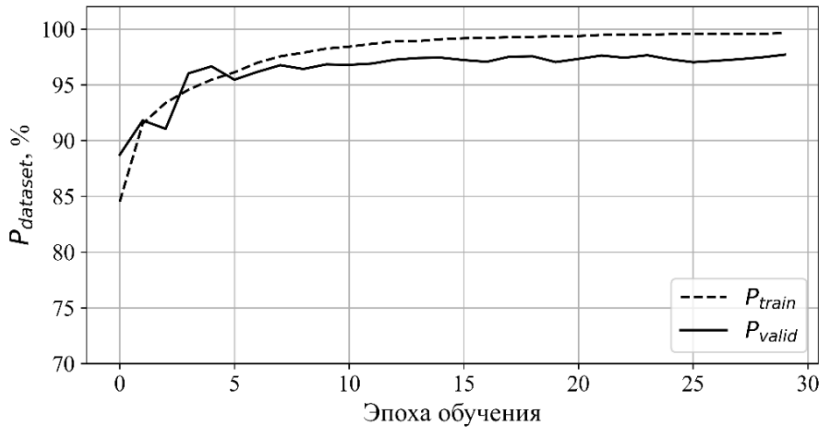


Рис. 4. Точность распознавания топологического заряда на тренировочной P_{train} и на валидационной P_{valid} выборках в зависимости от эпохи обучения

Результаты

Для проверки устойчивости обученная нейронная сеть была применена для анализа исходных изображений тестовой выборки, а также в случае поворота всех изображений тестовой выборки на 45, 90 и 180 градусов вокруг центра и в случае поворота изображений на

180 градусов вокруг горизонтальной оси (оси *x*) – то есть отражения изображения по горизонтали. Повороты тестовой выборки были выполнены с целью анализа влияния численных погрешностей моделирования распространения пучков на распознавание их топологического заряда. Результаты применения обученной нейронной сети для этих случаев приведены в виде матриц ошибок на рис. 5. Поворот вокруг центральной оси *z* не приводит к изменениям топологического заряда. Поворот на 180 градусов вокруг горизонтальной оси *x* соответствует смене направления оси *z* на противоположное (рис. 1), что также приводит к изменению знака топологического заряда на противоположный.

Рис. 5. Матрицы ошибок обученной нейронной сети на тестовой выборке: а – исходные изображения, б – изображения повернуты на 180° вокруг центра, в – изображения повернуты на 180 ° вокруг горизонтальной оси

Точность распознавания значений топологического заряда $l = \pm 1$ составила более 97 % как в случае исходных изображений, так и в случае поворотов вокруг центра и вокруг оси *x*. Мы полагаем, что в основе распознавания противоположных по знаку топологических зарядов с помощью нейронных сетей лежит сложный механизм, связанный с нарушением осевой «симметрии» турбулентных искажений фазового фронта. Несмотря на то, что усредненные по турбулентности распределения интенсивности излучения, как и в однородной среде, тождественны, случайно искаженные распределения интенсивности вихревых пучков с противоположными топологическими зарядами характеризуются некоторым отличительным признаком, который обнаруживает нейронная сеть.

Заключение

В работе впервые показано, что применение нейронных сетей позволяет распознавать противоположные по знаку топологические заряды по изображениями распределений интенсивности ЛГ-пучков, распространяющихся в турбулентной атмосфере. Показано, что обученная нейронная сеть устойчива к поворотам изображений вокруг центра и вокруг горизонтальной оси (отражения изображений). В настоящее время нами не выяснены закономерности и ограничения обнаруженного эффекта. Дальнейшие исследования будут направлены на решения данной задачи.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

Список использованных источников

1. Agrell E., Karlsson M., Chraplyvy A.R., Richardson D.J., Krummrich P.M., Winzer P., Roberts K., Fischer J.K., Savory S.J., Eggleton B.J., Secondini M., Kschischang F.R., Lord A., Prat J., Tomkos I., Bowers J.E., Srinivasan S., Brandt-Pearce M., Gisin N. Roadmap of optical communications // J. Opt. UK. – 2016. – V. 18, N. 6. DOI: doi.org/10.1088/2040-8978/18/6/063002

2. Adamov E. V., Aksenov V. P., Atuchin V. V., Dudorov V. V., Kolosov V. V., Levitsky M. E. Laser beam shaping based on amplitude-phase control of a fiber laser array // OSA Continuum. – 2021. – Vol. 4, is. 1. – P. 182–192. DOI: doi.org/10.1364/osac.413956

3. Adamov E. V., Bogach E. A., Dudorov V. V., Kolosov V. V., Levitskii M. E. Controlling the polarization structure of vector beams synthesized by a fiber laser array // Opt. Commun. – 2024. – V. 559. DOI: doi.org/10.1016/j.optcom.2024.130399

4. Willner A. E., Huang H., Yan Y., Ren Y., Ahmed N., Xie G., Bao C., Li L., Cao Y., Zhao Z., Wang J., Lavery M. P. J., Tur M., Ramachandran S., Molisch A. F., Ashrafi N., Ashrafi S. Optical communications using orbital angular momentum beams // Adv. Opt. Photonics. – 2015. – Vol. 7, Is. 1. – P. 66-106. DOI: doi.org/10.1364/aop.7.000066

5. Allen L., Beijersbergen M.W., Spreeuw R.J.C., Woerdman J.P. Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes // Phys. Rev. Lett. – 1992. – Vol. 45, N. 11. – P. 8185-8189. DOI: doi.org/10.1103/PhysRevA.45.8185

6. Aksenov V.P., Dudorov V.V., Filimonov G.A., Kolosov V.V., Venediktov V.Yu. Vortex beams with zero orbital angular momentum and non-zero topological charge // Opt. Laser Technol. – 2018. – Vol. 104. – P. 159-163. DOI: doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.02.022

7. Gbur G., Tyson R. K. Vortex beam propagation through atmospheric turbulence and topological charge conservation // J. Opt. Soc. Am. A. – 2008. – Vol. 25, is. 1. – P. 225-230. DOI: doi.org/10.1364/JOSAA.25.000225

8. Andrews L., Phillips R. Laser Beam Propagation through Random Media. Belingham, WA: SPIE Opt. Eng. Press. – 2005. – 820 p. DOI: doi.org/10.1117/3.626196

9. Аксенов В.П., Погуца Ч.Е., Абрамова Е.С. Влияние оптического вихря на случайные смещения Лагерра-Гауссова лазерного пучка, распространяющегося в турбулентной атмосфере // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25, №7. – С. 561-565.

10. Konyaev P. A., Lukin V. P. Adaptive Phase Correction of Vortex Laser Beams in Turbulent Atmosphere // B. Lebedev Phys. Inst. – 2023. – Vol. 50. – P. S486–S493. DOI: doi.org/10.3103/S1068335623160066

11. Wang B., Zhang X., Shah S.A.A., Merabet B., Kovalev A.A., Stafeev S.S., Kozlova E.S., Kotlyar V. V., Guo Z. Top three intelligent algorithms for OAM mode recognitions in optical communications // Eng. Res. Express. – 2024. – Vol. 6, N. 3. DOI: doi.org/10.1088/2631-8695/ad61bc

12. Hu J., Guo Z., Fu Y., Gan J. A., Chen P. F., Chen G., Min C., Yuan X., Feng F. How convolutional-neural-network detects optical vortex scattering fields // Opt. Laser Eng. – 2023. – Vol. 160. DOI: doi.org/10.1016/j.optlaseng.2022.107246

13. Konyaev P.A., Lukin V.P. Thermal distortions of focused laser beams in the atmosphere // Appl. Opt. – 1985. – V. 24, N 4. – P. 415-421. DOI: doi.org/10.1364/AO.24.000415

14. Николенко С. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадурин, Е. Архангельская – СПб. : Питер, 2018. – 480 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ СОТРУДНИКОВ ГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ К КОРПОРАТИВНОЙ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКЕ

Тишаева А.Г.[1], Некрасов К.С.[2], Симонов Т.С.[3]
Научный руководитель: Ехлаков Ю.П.[4]
[1] НИ ТГУ, гр. 202340, магистрант, e-mail: tishaevaalina@bk.ru
[2] ТУСУР, гр.464-м, магистрант,
[3] ТУСУР, ассистент каф. АОИ,
[4] ТУСУР, д.т.н, профессор каф. АОИ

Аннотация

В данной работе анализируется отношение сотрудников компании ООО «Газпром трансгаз Томск» к корпоративной психологической поддержке. В ходе исследования был проведен опрос сотрудников, в котором приняли участие 1928 человек. Большинство респондентов уделяют внимание своему психологическому здоровью и положительно относятся к психологическим тестированиям на работе. Также выявлена значимая, но слабая связь между данными параметрами и гендером.

Ключевые слова: корреляционный анализ, корпоративная психологическая поддержка, психологическое тестирование.

Введение

Психологическое здоровье сотрудников давно перестало быть исключительно личным вопросом – сегодня оно напрямую влияет на успех компании. Однако внедрение программ психологической поддержки сталкивается с рядом препятствий: от недостатка осведомленности до культурных стереотипов. Чтобы такие программы были эффективными, важно понимать, как сотрудники относятся к ним, какие ожидания они возлагают и какие барьеры испытывают.

Сотни тысяч российских граждан работают в энергодобывающей сфере, где условия работы могут быть суровыми и опасными. В исследовании [1] подробно рассматриваются особенности психологической адаптации работников Крайнего Севера. Авторы отмечают, что внедрение программ психологической поддержки и благополучия могут минимизировать негативные последствия такой работы.

В другой статье [2] также говорится о важности внедрения психологических программ благополучия в нефтеперерабатывающей компании. Такие программы направлены на укрепление личностных, коммуникативных и психологических характеристик сотрудника. В связи с этим, важно понимать мотивацию сотрудников участвовать в таких программах, уделяя этому свое свободное время.

В исследовании [3] анализируется восприятие программ благополучия работниками, их значимость для повышения лояльности и мотивации, а также факторы, влияющие на успешность внедрения таких инициатив. Авторы выделили следующие мотивы сотрудников для участия в таких программах: улучшение физического и психологического здоровья, снизить уровень стресса, получение бонусов от компании. Среди барьеров, которые мешают работникам принимать участие в программах были выделены: плохая осведомленность и низкая информированность о программах, недоверие к различным инициативам работодателя, нехватка времени или невозможность совмещать участие в программах с рабочими обязанностями.

Данное исследование показало статистически достоверную разницу по гендерному параметру в оценке сотрудниками факторов риска на рабочем месте, таких как стресс и ряд других. Согласно результатам, женщины выше оценивают значимость данных факторов. Это соотносится с результатами опроса ВЦИОМа, проведенного в 2020 году [4]. Среди

респондентов, заявивших о росте доверия к психологам, выше доля женщин (32 % против 20 % среди мужчин) и молодежи от 18 до 24 лет (46 %).

Для поддержания благополучия сотрудников авторы [5] предлагают проведение регулярных опросов для выявления потребностей и проблем сотрудников. В связи с вышесказанным становится важным проведение анализа отношения сотрудников к программам психологического благополучия перед внедрением в компании.

Цель данной работы - провести анализ отношения сотрудников к корпоративным программам благополучия для принятия решения о пилотном исследовании мобильного приложения психологической поддержки. Выдвинем две гипотезы исследования: (1) женщины внимательнее относятся к психологическому здоровью, чем мужчины; (2) уровень заботы о психологическом здоровье имеет обратную связь с возрастом сотрудников.

Описание исследования и результаты

Для проведения исследования был разработан опросник, анализ данных был проведен с помощью Excel и JASP. В опросе приняло участие 2110 сотрудников. После обработки данных остались сведения 1928 сотрудников. 60% респондентов мужчины, что соответствует гендерному распределению в компании. Возраст распределился от 20 до 70 лет, самая массовая группа 36-40 лет.

Только 2 % респондентов ответили, что обращались за психологической помощью в компании, остальные ответили отрицательно. Результаты ответов касательно заботы о своем психологическом здоровье представлены на рис. 1. Из 1928 сотрудников больше половины заботятся о своем психологическом здоровье. При этом 290 человек хотели бы, но не могут на данный момент.

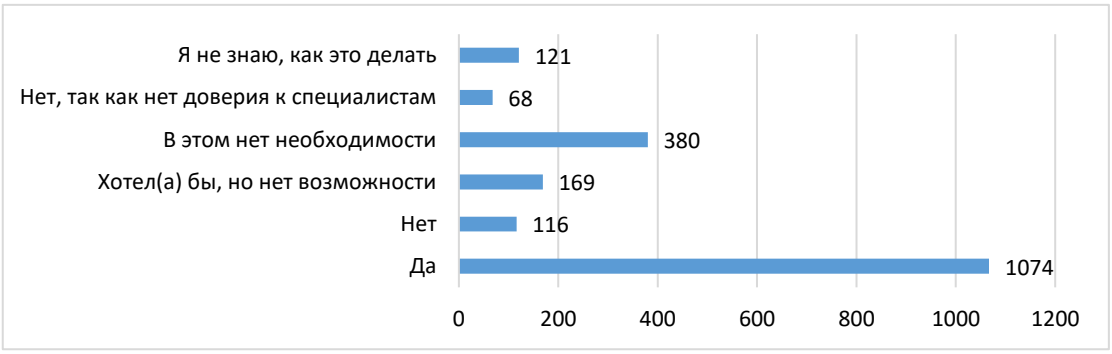


Рис. 1. Ответы на вопрос «Заботитесь ли о своем психологическом здоровье»

В целом, сотрудники (1113) заинтересованы в прохождении тестирования на работе (рис. 2). Только 78 человек сообщили о том, что они опасаются за последствия после такого тестирования.

Рис. 2. Ответы на вопрос «Как вы относитесь к опросам и психологическому тестированию на работе?»

При этом, больше половины (56 %) сотрудников ответили, что не проходили психологическое тестирование в компании (рис. 3). Однако, в основном сотрудники понимают цели проведения опросов. Вариант «Абсолютно понятно» выбрали 230 человек, а вариант «В основном понятно» – 705 человек (рис. 3). Остальные сотрудники не понимают (540 человек) или выбрали вариант «Средне», отвечая о понимании целей проведения таких опросов.

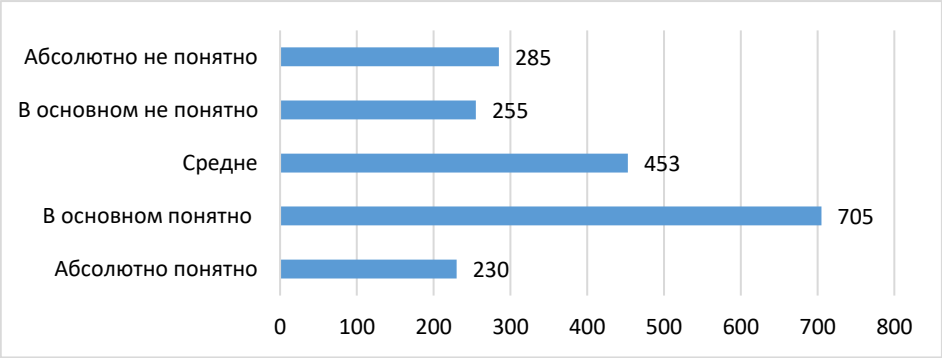


Рис. 3. Ответы на вопрос «Понятны ли вам цели проведения опросов?»

Всего 850 человек отметили, что у них есть опыт прохождения тестирования на работе. Из них 479 человек понимают цели прохождения таких опросов. А 202 человека не понимают цели проведения таких опросов (рис. 4).

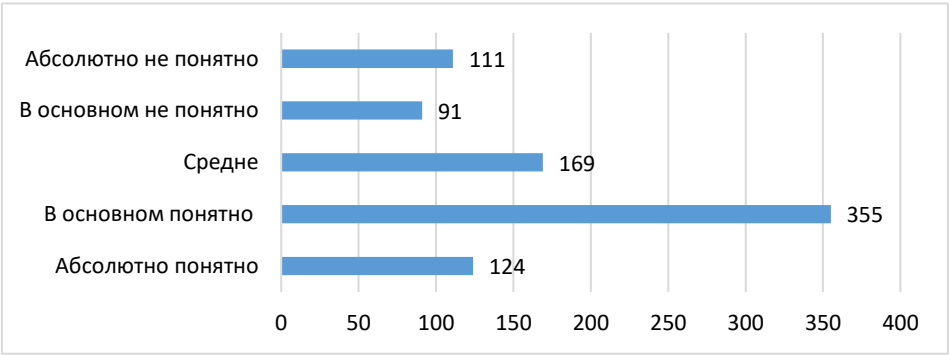


Рис. 4. Ответы проходивших опросы на вопрос «Понятны ли вам цели проведения опросов?»

Хотя опрос проводился через корпоративную платформу «ГИД», более половины респондентов (62 %) ответили, что не имеют такого опыта (рис. 5).

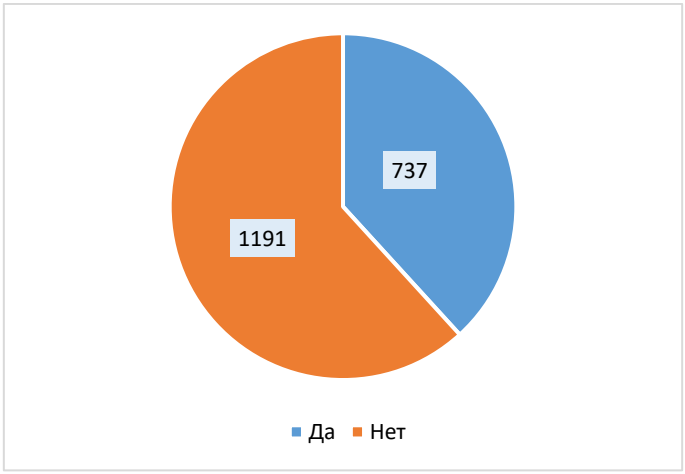


Рис. 5. Ответы на вопрос об опыте использования корпоративных приложений

Для выбора метода корреляционного анализа данные были проверены на нормальность распределения. Ошибка асимметрии = 0,055, а ошибка эксцесса = 0,111. По результатам отношения асимметрии к ошибке асимметрии, а также эксцесса к ошибке эксцесса было определено распределения отклоняющееся от нормального (таблица 1). Об этом также говорят значения критерия Шапиро-Уилка. В таком случае было принято решение использовать корреляционный анализ Спирмена для непараметрических данных.

Таблица 1. Описательные статистики

	Стандартное отклонение	**Асимметрия**	**Эксцесс**	**Критерий Шапиро-Уилка**
Пол	0.491	-0.393	-1.848	0.623
Возраст	8.732	0.165	-0.394	0.993
Размер компании	1.182	0.244	-0.922	0.898
Стаж	8.506	0.913	0.396	0.912
Забота о психологическом здоровье	1.632	0.866	-0.600	0.751
Обращение за помощью в компании	0.150	-6.352	38.392	0.133
Отношение к психологическому тестированию	1.528	0.344	-1.468	0.821
Опыт прохождения тестов	0.496	-0.250	-1.940	0.631
Ясность цели проведения опросов	1.242	0.425	-0.858	0.885
Опыт использования корпоративных приложений	0.486	-0.490	-1.762	0.616

Результаты корреляционного анализа Спирмана представлены визуально на тепловой карте. Знаком «***» отмечены значения коэффициентов, имеющих высокую значимость при $p < 0.001$. На карте параметр «Company» соответствует размеру компании, «Expirience» - стажу, «Resourse» - обращению за помощи в компании.

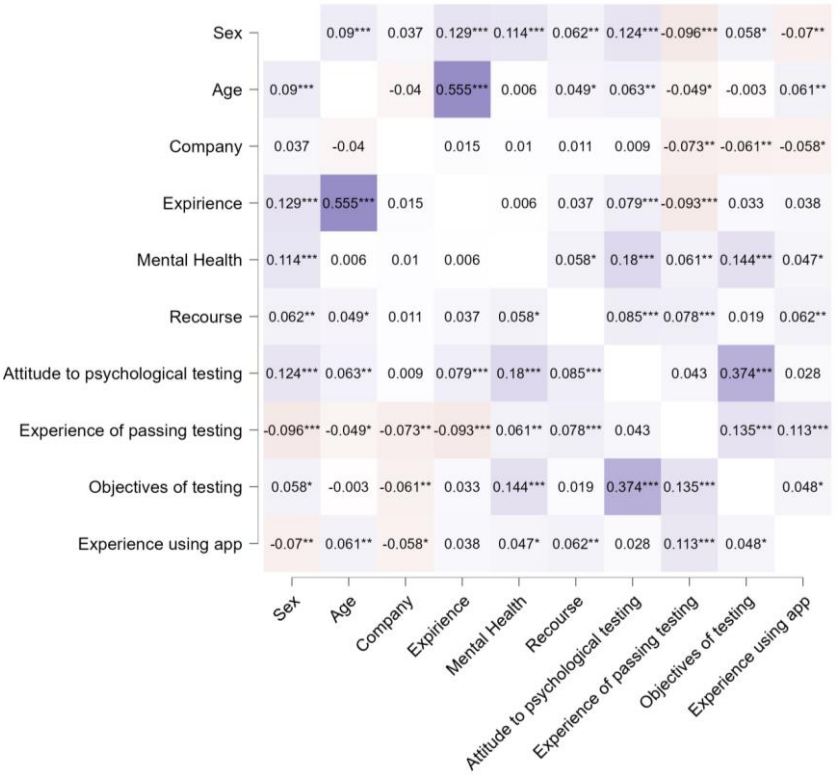


Рис. 6. Тепловая карта корреляции Спирмана

Несмотря на статистическую значимость, можно наблюдать достаточно низкую связь у параметра «Стаж» с другими параметрами, о чем говорит коэффициент < 0,2. Была выявлена умеренная связь между «Отношение к психологическому тестированию» и «Ясность цели проведения опросов». Коэффициент $\rho = 0{,}374$, что говорит об умеренной корреляционной связи.

В текущем исследовании были выявлены аналогичные гендерные различия по параметрам «Забота о психологическом здоровье», «Отношение к прохождению психологических тестов» и «Опыт прохождения тестирования». Уровень значимости корреляции $p < 0{,}001$, однако коэффициент корреляции < 0,2, что говорит о слабой, но значимой связи. При этом, параметр «Опыт прохождения тестирования» имеет обратную гендерную зависимость - больше опыта в прохождении имеют мужчины. Значимой связи возраста с заботой о психологическом здоровье не выявлено, а связь возраста с отношением к психологическому тестированию < 0,1.

Заключение

Исследование показало наличие значимой слабой связи между полом и отношением к заботе о психологическом здоровье и тестировании, что подтверждает первую гипотезу. Однако, вторая гипотеза была опровергнута: значимой связи между заботой о психологическом здоровье и возрастом респондентов не обнаружено, связь между возрастом и отношением к психологическому тестированию прямая, а не обратная. Возможно, слабость связи обусловлена тем, что забота о психологическом здоровье – слишком широкое понятие, требующее уточнения и декомпозиции для респондентов в будущих исследованиях.

Согласно результатам опроса, большинство респондентов заботятся о своем психологическом здоровье или хотели бы заботиться. На основании результатов опроса, руководство компании приняло решение о проведении пилотного исследования мобильного приложения психологической поддержки. Дальнейшие исследования планируется посвятить эффективности данного инструмента в корпоративной среде.

Список использованных источников

1. Корнеева Я.А., Симонова Н.Н. Особенности психологической адаптированности вахтового персонала в условиях Крайнего Севера // Национальный психологический журнал. – 2021. – №. 4 (44). – С. 63-74.

2. Кузьмин А.Ю., Родионова Е.А. Психологические характеристики культуры безопасности работников нефтеперерабатывающей компании // Национальный психологический журнал. – 2023. – №. 1 (49). – С. 126-137.

3. Хорева О.Б., Тарасенко Е.А., Иванова Е.С. Корпоративные программы по укреплению здоровья на рабочем месте как часть корпоративной культуры в представлениях работников российских предприятий // Организационная психология. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – С. 76-97.

4. ВЦИОМ. Новости: В поисках психологической помощи // ВЦИОМ: сайт. – 2020. – [Электронный ресурс]. – URL: wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/v-poiskakh-psikhologicheskoi-pomoshchi (дата обращения: 04.12.2024)

5. Лисовская А.Ю. и др. Основные подходы к пониманию благополучия сотрудника: от теории к практике // Организационная психология. – 2021. – Т. 11. – №. 1. – С. 93-112.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДАННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ ДЛЯ ИХ ОЦЕНКИ

Телеличко Н. Н.[1]
Научный руководитель: Савельев А. О.[2]
[1]*Томский политехнический университет, ИШИТР, гр. 8ПМ41, e-mail: nnt13@tpu.ru*
[2]*Томский политехнический университет, ИШИТР, к.т.н., доцент ОИТ, e-mail: sava@tpu.ru*

Аннотация

Представлен конвейер автоматизированного сбора данных программных проектов для выявления особенностей мышления разработчиков. Сбор осуществлялся через GitHub API, загрузка – в БД Django. В конвейере преодолены ограничения на загрузку и вывод через GitHub API, а также реализовано сохранение большого объема информации с сохранением связи файлов с их репозиториями.

Ключевые слова: GitHub API, мышление разработчиков, конвейер автоматизированного сбора данных, программные проекты.

Введение

Одним из наиболее популярных ресурсов, на котором располагаются различные программные проекты, является платформа GitHub.

Информация о сборе данных с этой платформы упоминается в ряде статей, которые можно условно сгруппировать на 3 основные группы в зависимости от целей:

1. Определение характеристик разработчиков. В таких статьях оцениваются эмоциональные состояния разработчиков [1, 2], взаимоотношения специалистов [3, 4], лидерские качества [5], или выявляется гендер [6].

2. Выявление параметров проектов. Может применяться как для оценки самих проектов (на популярность [7], анализ событий [8]), так и для их классификации [9], использовании в рекомендательных системах [10].

3. Реализация анализа кода. Осуществляется для выявления закономерностей процесса написания кода [11] и оценки его качества [12, 13].

Часто в исследованиях оцениваются тексты pull request-ов, issues или информация о репозиториях, получаемая с помощью API запросов. В ряде случаев могут проверяться файлы с описаниями проектов [10, 7]. Кроме того, некоторые возможности оценки [14] и сбора статистики [15, 16] по проектам в GitHub-репозиториях реализованы в патентах. А также есть, как минимум, 38 репозиториев с открытым кодом, позволяющих производить анализ репозиториев [17].

Исследования, касающиеся оценки самого кода, проводились Н.А. Махачевым и Н.А. Нажимовой (и А.В. Нажимовым) [13], S. Brooke [6], A. Bernstein (и др.) [11]. В первых двух работах проверка кода осуществлялась в рамках репозиториев преподавателей, т.е., по факту, в этих работах не анализировался сбор данных с большого количества репозиториев. Работа A. Bernstein (и др.) включила в себя сбор данных с 470 репозиториев с Jupyter блокнотами, их маркировку по типу выполняемых действий, связанных с Data Science (предобработка, моделирование и т. д.) выявление паттернов и прогнозирование результатов по ячейкам блокнотов. Исследования S. Brooke оказались наиболее близкими к нашим, в части сбора данных. Работа S. Brooke включала в себя следующие этапы: 1) сбор данных с помощью GitHub API (была собрана информация из 1728 репозиториев); 2) сохранение кода из файлов с расширением «.py» и без «__» в названиях; 3) срабатывание модуля по определению гендера на именах пользователей и почтовых ящиках; 4) оценка файлов с помощью линтеров и 5) проведение исследования на основании данных с линтера и модуля по оценке гендера. При этом сам проект ученого имеет 5 файлов с кодом (по 1 на задачу и дополнительный –

с методами оценки файла линтером и включения ожидания при сборе данных с GitHub), а данные сохраняются и в дальнейшем применяются из «.csv» файлов.

Несмотря на общий прогресс в извлечении данных, результаты их анализа не используются для психологической оценки в целом и мышления в частности, что и обуславливает актуальность и цель данного исследования.

Целью исследования является разработка программного обеспечения, реализующего оценку мышления разработчиков по их коду. Понимание особенностей мышления специалистов может помочь им выстроить более эффективную траекторию развития, а компаниям – подобрать более опытных и совместимых с командой профессионалов.

В рамках данной работы будет описан процесс создания ПО, относящийся к автоматизированному сбору данных с GitHub, на основе которых и будет проводится оценка мышления в дальнейшем исследовании.

Сбор данных (скейпинг)

Сбор данных можно реализовать через интерфейс веб-ресурса или с помощью API-запросов. В первом случае могут применяться библиотеки Selenium и BeautifulSoup, во втором – необходимо знать структуру запросов (URL, доступные методы, передаваемые параметры, получаемые ответы), которая находит отражение в документации к ресурсу.

Скрейпинг в обоих случаях имеет свои недостатки и ограничения. Сбор данных через интерфейс выполняется медленнее и, в случае сбора информации о репозиториях GitHub, необходимо предусмотреть 3 отдельных способа скрепинга: по репозиториям, пользователям и pull request-ам (для сбора данных о датах создания и обновления репозиториев). Кроме того, возможна блокировка IP машины, с которой осуществляется сбор данных, при большом количестве запросов к страницам сайта. При использовании API также возможны блокировки, но в случае GitHub API вместо блокировки применяются ограничения по количеству запросов и выводимой информации. GitHub допускает до 900 запросов в минуту [18], при превышении которого появляется ошибка 403 Forbidden с текстом «You have exceeded a secondary rate limit…», также возможна ошибка 422 Unprocessable Entity, которая, в частности, может возникать за счет ограничения количества выводимых репозиториев в 1000 единиц (текст ошибки: «Only the first 1000 search results are available»). Однако есть и преимущества: при сборе данных через API не требуется создавать 3 отдельных метода – одним запросом собирается информация со 103 признаками, характеризующими репозитории, пользователей, а также содержащими даты.

Конвейер сбора данных с GitHub

В целях исследования особенностей мышления разработчиков необходимо было реализовать конвейер сбора данных (кода и информации о репозиториях и авторах) с GitHub. Основные этапы разработки конвейера представлены на рисунке 1.

Процесс разработки сопровождался некоторыми сложностями. Первая проблема была связана с описанными выше ограничениями по количеству запросов и выводимой информацией при сборе данных через GitHub API. Проблема была преодолена при выполнении Процесса 1 за счет добавления ожиданий при возникновении ошибок 403 и 422, а также уменьшения количества выводимых за раз данных за счет конкретизации фильтра с помощью дат. Даты вводились в фильтр с помощью параметра «oauth created», который со значениями имеет следующий вид:

```
q=oauth%20created:{year_num}-{month_num}-01..{year_num}-{month_num}-{month_days_count}
```

При таком подходе итоговый URL запрос за март 2025 будет представлен в виде:

```
https://api.github.com/search/repositories?q=language:python&sort=stars&order=abs&per_page=100q=oauth%20created:2025-03-01..2025-03-31&page=1
```

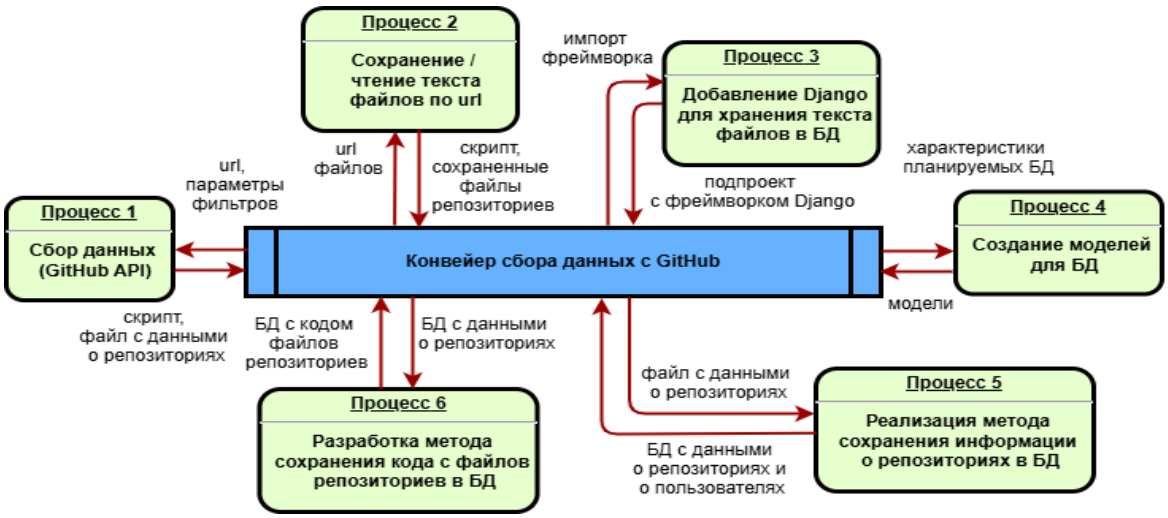


Рис. 1. Конвейер сбора данных с GitHub

Следующей задачей (Процесс 2) стало сохранение файлов с кодом проектов или их содержимого. Код (рисунок 2) включил в себя, как и в предыдущем процессе, использование запросов, которые отличались передаваемыми URL и отсутствием явных ограничений.

```
def github_read_file_content(self, username, repository_name, file_name, github_token=None):
    headers = {}
    if github_token:
        headers['Authorization'] = f"token {github_token}"

    url = f'https://api.github.com/repos/{username}/{repository_name}/contents/{file_name}'

    r = requests.get(url, headers=headers)
    r.raise_for_status()
    data = r.json()
    file_content = data['content']
    file_content_encoding = data.get('encoding')
    if file_content_encoding == 'base64':
        file_content = base64.b64decode(file_content).decode()

    return file_content
```

Рис. 2. Метод для чтения файлов с кодом

Необходимость сохранения большого количества файлов с кодом потребовала применения базы данных, которая была включена в проект вместе с фреймворком Django (Процесс 3). Данный фреймворк позволит также разработать интерфейс создаваемого ПО. Элементы фреймворка были включены в отдельный подпроект. Применяемая во фреймворке база данных потребовала реализации класса с моделями (Процесс 4), поля которых определялись полученной информацией о репозиториях и файлах. По результатам Процессов 1-4 были реализованы базы данных со структурой и взаимосвязями, представленными на рисунке 3. При этом данные, полученные с помощью GitHub API, были частично отфильтрованы. а признаки переименованы.

Последние 2 процесса (Процесс 5 и Процесс 6) включили в себя разработку методов по добавлению данных в БД.

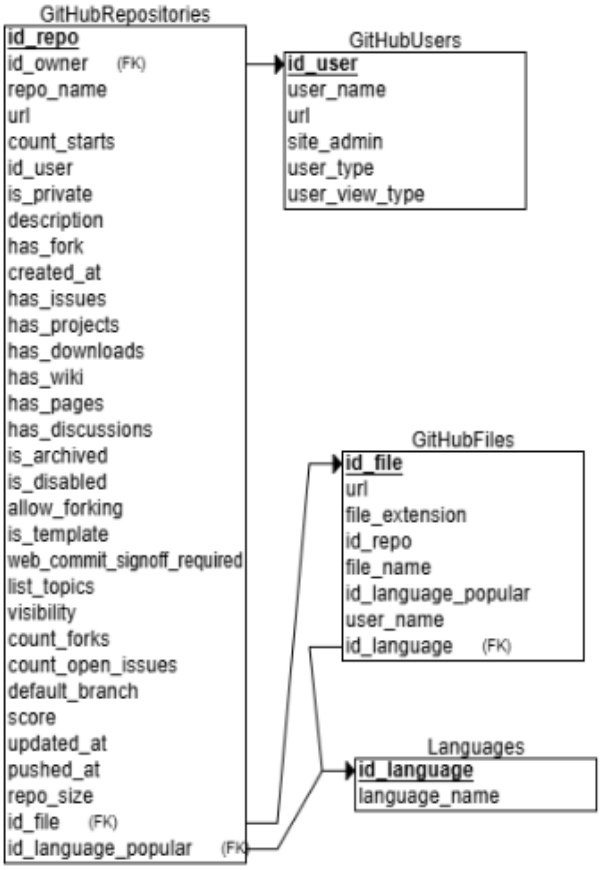


Рис. 3. ER-диаграмма со взаимосвязью GitHub-сущностей

Текущие ограничения конвейера

На данный момент конвейер имеет ряд ограничений:

- сохранение данных о репозиториях в БД реализуется не напрямую из запросов, а через промежуточный файл.
- файлы сохраняются долго, так что требуется добавление многопоточности.
- URL «вшиты» в методы, требуется доработка интерфейса с выводом на него различных параметров, в том числе по URL.

Заключение

Были исследованы возможности сбора данных о программных проектах, представленных в GitHub, и разработан конвейер, реализующий этот сбор. Конвейер учитывает имеющиеся ограничения в API-запросах и сохраняет информацию о репозиториях, пользователях и коде в базы данных.

Подобный конвейер будет использоваться для оценки мышления разработчиков, но также может быть применим для ряда других задач, например, определения различных характеристик программных проектов или их авторов, в том числе с применением методов ИИ.

Список использованных источников

1. Lu, X. Emojis predict dropouts of remote workers: an empirical study of emoji usage on GitHub / X. Lu, W. Ai, Z. Chen, Y. Cao, Q. Mei. // Plos One. – 2022. – Volume 17. – № 1. – P. 1-21. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp?id=54980520 (date of the application: 23.03.2025).

2. Sinha, S. F. Are You Listening?': Sentiment Diffusion in GitHub / S. F. Sinha // Academy of Management Proceedings. – 2022. – Vol. 2022, No. 1. – DOI 10.5465/ambpp.2022.10036abstract. (дата обращения: 23.03.2025).

3. Панов К.А. Методика наблюдения за взаимодействием разработчиков открытого программного обеспечения / К. А. Панов, Ф. Н. Винокуров. // Вестник РГГУ. Серия: Психология. Педагогика. Образование. – 2024. – № 2. – С. 117-130. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp?id=67318762 (дата обращения: 28.03.2025).

4. Shameer SH. Relationship between diversity of collaborative group members' race and ethnicity and the frequency of their collaborative contributions in GitHub / S. Shameer, G. Rodríguez-Pérez, M. Nagappan. // Empirical Software Engineering. – 2023. – Volume 28. – № 4. – P. 1-14. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp?id=63073773 (дата обращения: 28.03.2025).

5. Haim Faridian P. Leading open innovation: the role of strategic entrepreneurial leadership in orchestration of value creation and capture in github open source communities / P. Haim Faridian. // Technovation. – 2023. – Volume 119. – P. 1-41. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp?id=60190756 (дата обращения: 28.03.2025).

6. Brooke S. Programmed differently? Testing for gender differences in python programming style and quality on GitHub / S. Brooke. // Journal of computer-mediated communication. – 2023. – Volume 29. – № 1. – P. 1-13. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp? id=64802525 (дата обращения: 28.03.2025).

7. Wang T. Study the correlation between the readme file of GitHub projects and their popularity / T. Wang, Sh. Wang, Ts. H. P. Chen. // Social Science Research Network. – 2022. – № 4281782 – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp?id=57754968 (дата обращения: 28.03.2025).

8. Воинов Н.В. Система обработки больших данных для анализа событий репозитория GitHub / Н.В. Воинов, К. Родригес Гарсон, И.В. Никифоров, П.Д. Дробинцев. // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2019. – Том 1. – С. 283-286. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp?id=38309155 (дата обращения: 28.03.2025).

9. Sas C. Gitranking: A ranking of GitHub topics for software classification using active sampling / C. Sas, A. Capiluppi, C. Di Sipio, Ju. Di Rocco, D._Di_Ruscio // Social Science Research Network. – 2022. – № 4182105 – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp? id=56612993 (дата обращения: 28.03.2025).

10. Sun X. Personalized project recommendation on GitHub / X. Sun, W. Xu, X. Xia, X. Chen, B. Li. // Science China Information Science. – 2018. – Volume 61. – № 5. – P. 1-14. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp?id=52951341 (дата обращения: 23.03.2025).

11. Bernstein A. Workflow analysis of data science code in public GitHub repositories / A. Bernstein, D. Ramasamy, C. Sarasua, A. Bacchelli. // Empirical Software Engineering. – 2023. – Volume 28. – № 1. – P. 1-47. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp? id=59826226 (дата обращения: 28.03.2025).

12. Махаличев Н.А. Автоматизированная проверка лабораторных работ студентов с использованием GitHub / Н.А. Махаличев. // Наука настоящего и будущего. – 2023. – Том 3. – С. 220-224. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/item.asp?id=54614166 (дата обращения: 23.03.2025).

13. Нажимова Н.А. Автоматизированная система проверки кода для подготовки специалистов в сфере информационных технологий. / Н. А. Нажимова, А. В. Нажимов. // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 6. – С. 37-42. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/ item.asp?id=67917898 (дата обращения: 28.03.2025).

14. Пат. 2023663351 Российская Федерация, Программа для автоматизации проверки лабораторных работ студентов в репозиториях GitHub. / Махаличев Н. А., Шевская Н. В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)». – опубл. 22.06.2023, Бюл. № 7. – 1 с.

15. Пат. 2019614382 Российская Федерация, Программа для хранения, обработки и обновления статистики репозиториев GitHub. / Борисовский Д.Ю., Мелихова П.А., Бачинский М.О., Заславский М.М.; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») (RU). – опубл. 03.04.2019, Бюл. № 4 – 1 с.

16. Пат. 2018617454 Российская Федерация, Построение показателей использования языков программирования пользователями сервиса github. / Курилович М.Е.; заявитель и патентообладатель Курилович Марат Евгениевич. – опубл. 25.06.2018, Бюл. № 7. – 1 с.

17. GH Archive / I. Grigorik // gharchive.org. – [Электронный ресурс]. – URL: gharchive.org/ (дата обращения: 28.03.2025).

18. Rate limits for the REST API // GitHub Docs. – 2022. – [Электронный ресурс]. – URL: docs.github.com/en/rest/using-the-rest-api/rate-limits-for-the-rest-api?apiVersion=2022-11-28 (дата обращения: 28.03.2025).

ТРАНСФОРМЕРЫ VS CNN: СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭМОЦИЙ В ВИДЕОПОТОКАХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Джире. Ю
Томский политехнический университет, ИШИТР, гр. 8ПМ41, e-mail: djire01@tpu.ru
Научный руководитель: Н. Дж. Франсис, ст. преподаватель ОИТ ИШИТР ТПУ,
e-mail: natzinadzhuanita@tpu.ru

Аннотация

В этой работе сравниваются два метода глубокого обучения – CNN и Трансформеры – для распознавания эмоций по лицу в видео в реальном времени. Используя набор данных FER2013, мы оценили модели по точности, скорости и затратам вычислительных ресурсов.

Ключевые слова: распознавание эмоций, CNN, Трансформер, реальное время, FER2013, ViT, TimeSformer.

Введение

Распознавание эмоций человека с помощью компьютерных систем стало важным во многих сферах: голосовые помощники, безопасность, интеллектуальные интерфейсы. Это добавляет эмоциональную составляющую во взаимодействие между человеком и машиной. С развитием глубокого обучения (deep learning) появились два основных подхода к обработке изображений: сверточные нейронные сети (CNN), которые широко используются [1], и трансформеры (Transformers) – более современный метод, способный учитывать общий контекст изображения [2]. В этом докладе сравниваются эти два подхода для задачи распознавания эмоций по лицу в видео в реальном времени. Оценка проводится в единой экспериментальной среде, чтобы выявить точность, преимущества и ограничения каждого метода в реальных условиях.

Методология

Данные

Для этого исследования использовался набор данных FER2013, который широко известен в области распознавания выражений лица [3]. Он содержит более 35 000 черно-белых изображений лиц размером 48×48 пикселей, разделенных на семь классов эмоций: злость, отвращение, страх, радость, грусть, удивление и нейтральное выражение. Изображения были разделены на три части – обучение, проверка и тестирование. Затем данные были увеличены с помощью таких методов, как поворот, масштабирование (zoom) и горизонтальное отражение (flip), чтобы модель могла лучше обобщать информацию.

Архитектура CNN: ResNet50

Для реализации модели CNN мы использовали ResNet50 – глубокую нейронную сеть, состоящую из 50 слоев с остаточными связями. Такая архитектура была разработана для решения проблемы исчезающего градиента в глубоких сетях [4].

Модель обучалась с использованием библиотеки TensorFlow и предварительно обученных весов из базы данных ImageNet. Этот подход называется transfer learning (обучение с переносом знаний). Он помогает ускорить обучение и улучшить результаты модели на конкретных наборах данных.

Для оптимизации была использована функция потерь – перекрестная энтропия (cross-entropy), которая часто применяется в задачах классификации. Она определяется по следующей формуле:

$$L = -\sum y_i \cdot \log(\hat{y}_i) \quad (1)$$

где y_i – это истинное значение (ground truth), а $\hat{y}_i$ – предсказание модели для класса i.

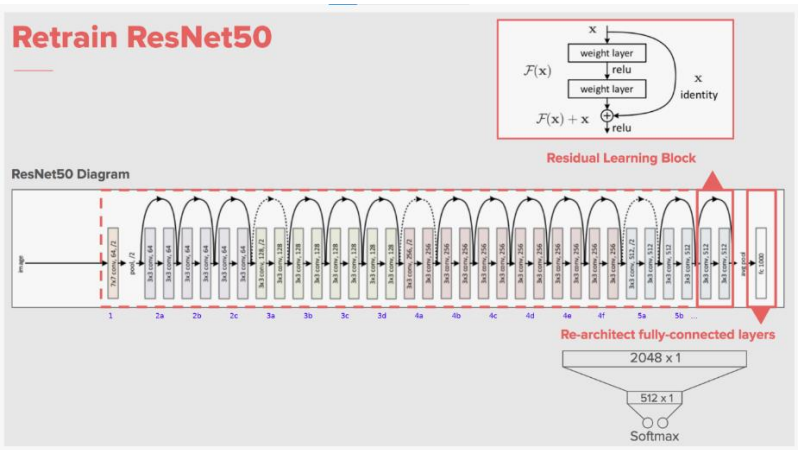


Рис. 1. Схема архитектуры ResNet50, используемой в нашей модели CNN

На рис. 1 показана полная структура ResNet50, включая остаточные блоки, последовательные сверточные слои и идентичные соединения. Также представлено, как были изменены финальные полносвязные (fully-connected) слои для выполнения задачи классификации выражений лиц по эмоциям.

Архитектура Трансформера: ViT

Для реализации модели Трансформера мы выбрали Vision Transformer (ViT), который был адаптирован с помощью библиотеки HuggingFace Transformers. ViT разбивает каждое изображение на небольшие блоки (патчи), которые затем линейно проецируются в пространство признаков перед применением механизма внимания, аналогичного тому, что используется в моделях обработки естественного языка, таких как BERT [5]. Перед обучением изображения были преобразованы в формат RGB и масштабированы до размера 224×224 пикселей в соответствии с требованиями модели ViT. В основе модели лежит механизм многоголового внимания, описываемый следующей формулой:

$$\text{Attention}(Q,K,V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^{\top}}{\sqrt{d_k}}\right)V \tag{2}$$

где:

- Q, K, V – это соответственно матрицы запросов (query), ключей (key) и значений (value), полученные из патчей изображения;
- d_k – это размерность ключей.
- произведение QK^T позволяет оценить степень сходства между патчами.
- функция softmax нормализует полученные значения, превращая их в веса внимания.

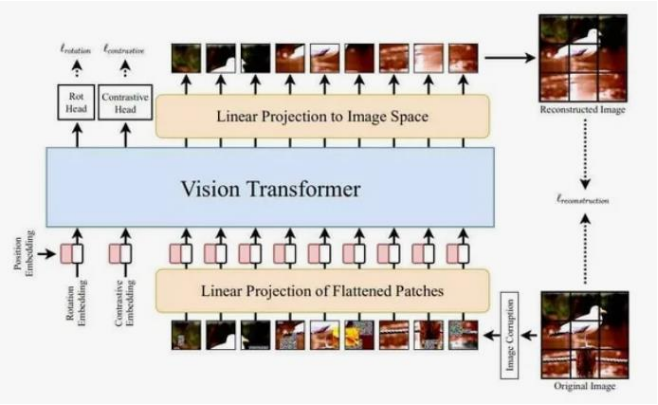


Рис. 2. Работа модели ViT (Vision Transformer)

На рис. 2 показано, как работает ViT. Сначала изображение делится на небольшие фрагменты (patches). Каждый фрагмент преобразуется в вектор с помощью линейного слоя. Затем к этим векторам добавляется позиционное кодирование (position embedding), после чего они обрабатываются основным блоком Transformer. Благодаря этому изображение анализируется целиком – каждый фрагмент учитывает общий контекст. Такая архитектура также позволяет восстанавливать изображение и использовать разные «головы» (например, contrastive или rotation heads), чтобы улучшить обучение без учителя (self-supervised learning).

Результаты и их обсуждение

Таблица 1. Точность моделей

Модель	Точность (%)
CNN (ResNet50)	57,7 %
ViT	≈ 42 %

Transformer чувствителен к качеству входных данных и требует больше примеров для хорошей генерализации.

Таблица 2. Время инференса

Модель	Фреймворк	Время инференса (мс/изображение)
CNN (ResNet50)	TensorFlow	~136,33 мс
ViT	PyTorch	~11,48 мс

ViT работает быстрее благодаря GPU-оптимизации PyTorch. CNN более стабилен при ограниченных ресурсах, но требует больше времени на обработку.

Визуальный анализ

Были подготовлены два типа визуализаций:

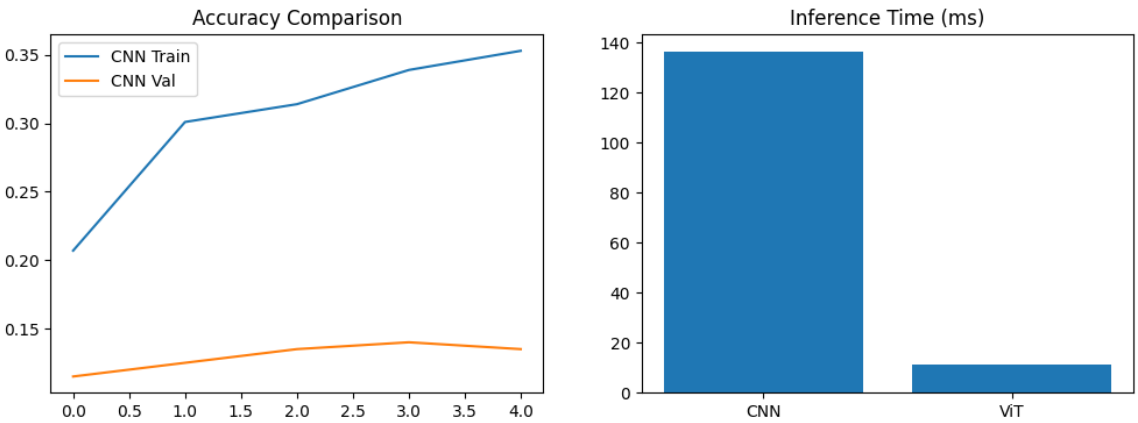


Рис. 3. График точности модели CNN (ResNet50) по эпохам и Столбчатая диаграмма, сравнивающая время инференса моделей

Визуальные результаты (Рис. 3.) для анализа эффективности моделей. График отображает изменение точности модели CNN (ResNet50) по эпохам, а столбчатая диаграмма показывает сравнение времени инференса между моделями CNN и ViT. Эти визуализации позволяют лучше понять различия в производительности моделей в реальных условиях.

Заключение

Это исследование подчеркивает сильные и слабые стороны двух популярных подходов для распознавания эмоций в реальном времени. CNN-модели работают быстро, занимают

немного памяти и хорошо подходят для встроенных систем. Модели Transformer лучше справляются с обработкой сложных визуальных данных, но требуют больше ресурсов. В будущем стоит изучить **гибридные модели**, которые будут сочетать скорость CNN и точность Transformer. Также было бы интересно протестировать такие архитектуры на видео из реальных условий, например, видеозвонков или онлайн-взаимодействий.

Список использованной литературы

1. Howard A.G., Zhu M., Chen B. и др. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications: preprint. – URL: arxiv.org/abs/1704.04861 (дата обращения: 10.04.2025).

2. Dosovitskiy A., Beyer L., Kolesnikov A. и др. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale: preprint. – URL: arxiv.org/abs/2010.11929 (дата обращения: 10.04.2025).

3. Mollahosseini A., Hasani B., Mahoor M.H. AffectNet: A Database for Facial Expression, Valence, and Arousal Computing in the Wild // IEEE Transactions on Affective Computing. – 2017. – Vol. 10, № 1. – P. 18-31.

4. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – P. 770–778.

5. Bertasius G., Wang H., Torresani L. Is Space-Time Attention All You Need for Video Understanding? // Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML). – 2021. – P. 813–824.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ

Шталина Е.С.[1], Клишин А.П.[2]
Научный руководитель: Клишин А.П.[2]
[1] ТГПУ, ФМФ, магистрант, гр. 444М, e-mail: shtalina03@gmail.com
[2] ТГПУ, к.ф.-м.н., доцент каф. информатики

Аннотация

В данной работе исследуется использование нейронных сетей для поддержки принятия решений в учебном процессе вуза с применением когнитивной модели обучения. Модель нейронной сети была обучена на предварительно подготовленных данных о студентах (когнитивная модель обучения), которые были получены с использованием специально разработанного психодиагностического комплекса.

Ключевые слова: управление учебным процессом, нейронная сеть, когнитивный подход, поддержка принятия решений, цифровой профиль.

Введение

Развитие высшего образования требует инновационных методов поддержки принятия управленческих решений и интегрированных систем автоматизации. Цифровая среда становится все более сложной и динамичной, тем самым требуя адаптивного подхода к управлению [1, 2]. Одним из эффективных способов организации подсистемы управления образовательным процессом в вузе является применение когнитивного подхода., который необходим в условиях управления, когда принимаются решения в слабо структурированных динамических ситуациях, где решения принимаются на основе качественных показателей [3].

Использование нейронных сетей способствует оптимизации образовательного процесса и управления, позволяя анализировать большие объемы данных, выявлять закономерности и прогнозировать результаты. В образовательных системах нейросети могут применяться для прогнозирования, классификации и рекомендаций [4, 5]. Для задач классификации, в том числе для формирования рекомендаций, решено использовать алгоритмы глубокого обучения, основанные на нейронных сетях. В связи с этим, в данной работе рассматривается разработка нейронной сети для поддержки принятия решений в учебном процессе вуза на основе когнитивной модели обучения.

Когнитивная модель обучающегося

Когнитивная модель обучающегося для цифрового профиля описывает индивидуально-психологические и социально-психологические характеристики личности, такие как: сформированность профессиональных компетенций, способность к рефлексии, учебные достижения, способность использовать различные информационно-технологические и инструментальные образовательные средства.

Когнитивный подход к управлению слабоструктурированных систем направлен на разработку формальных моделей и методов, поддерживающих интеллектуальный процесс решения проблем благодаря учету в этих моделях и методах когнитивных возможностей (восприятие, представление, познание, понимание, объяснение) субъектов управления при решении управленческих задач [6].

Представленные в когнитивной модели студента компоненты взаимосвязаны между собой, образуют динамическую систему характеристик, формирующихся в процессе обучения в образовательной среде высшего учебного заведения. С целью определения основных параметров когнитивной деятельности обучающихся, был разработан и реализован электронный психодиагностический комплекс M-CSP-test (табл. 1) [7].

Таблица 1. Психодиагностический комплекс для формирования когнитивной модели обучения

№	Когнитивные признаки	Параметр	Шкала измерений, балл	Время (*t*), мин.
1.	Внимание	*V*	1–43	4
2.	Мышление	*IQ*	1–60	25
3.	Восприятие	*T*	1–9	2
4.	Память	*A*	1–9	2
5.	Креативное мышление	*B*	1–20	2
6.	Вербально-коммуникативные способности	*G*	1–20	4
7.	Устойчивость внимания	*U*	1–36	4
8.	Образная память	*M*	1–16	2

Исследование свойств нейронной сети для поддержки принятия решений

В качестве архитектуры нейронной сети была выбрана полносвязная нейронная сеть (англ. FCNN). Для реализации нейронной сети был выбран язык Python и библиотека глубокого обучения Keras. При работе с сетью также использовались библиотеки: для построения графиков matplotlib, pandas и numpy для работы с массивами данных.

Модель нейронной сети была обучена на предварительно подготовленном датасете, который был составлен в результате тестирования студентов на двух факультетах ТГПУ, в количестве n=256. Полученные данные были нормализованы с помощью метода логарифмической нормализации. Сформированный датасет 9×512 содержит 8 столбцов отведено для значений когнитивных параметров студента, а 9-ый столбец содержит соответствующую к ним рекомендацию.

В ходе исследования свойств нейронной сети было проведено сравнение оптимизаторов, варьирование количества нейронов в скрытых слоях, а также влияние параметра скорости обучения (lr). В работе рассматривались следующие оптимизаторы: Adam, RMSprop, Adamax, SGD поскольку в задачах классификации они демонстрируют лучшие результаты [6]. На рисунке 1 представлены расчетные значения параметра точности для вышеуказанных оптимизаторов. В результате сравнения был выбран оптимизатор Adam.

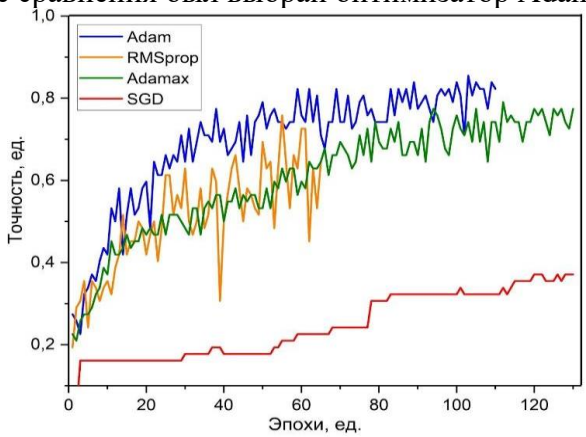
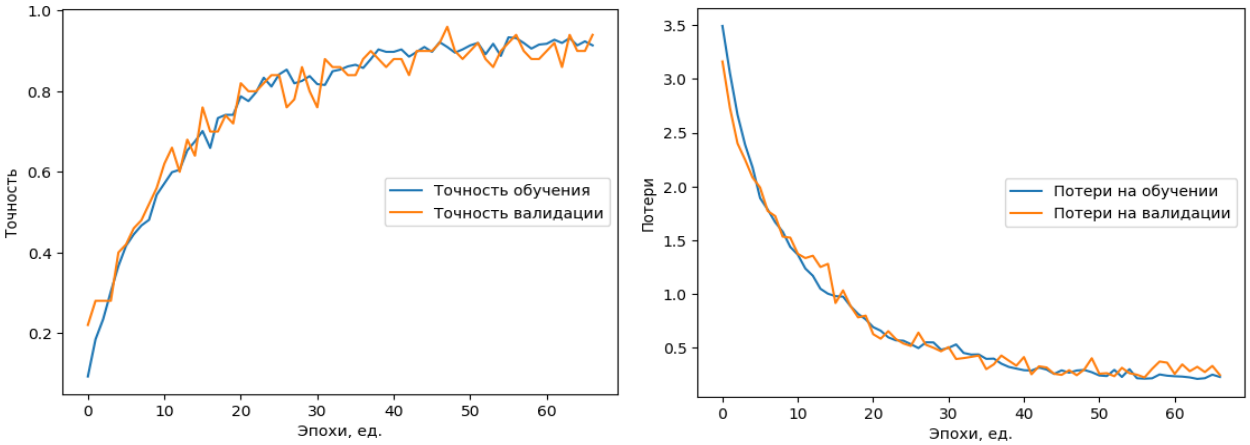


Рис. 1. Расчетные значения параметра точности при сравнении четырех оптимизаторов: Adam, RMSprop, Adamax, SGD

На рисунке 2 показаны графики параметров точности обучения и валидации (*а*), а также графики параметров потерь обучения и валидации (*б*), при режиме обучения нейронной сети со скоростью *lr*=0,01.



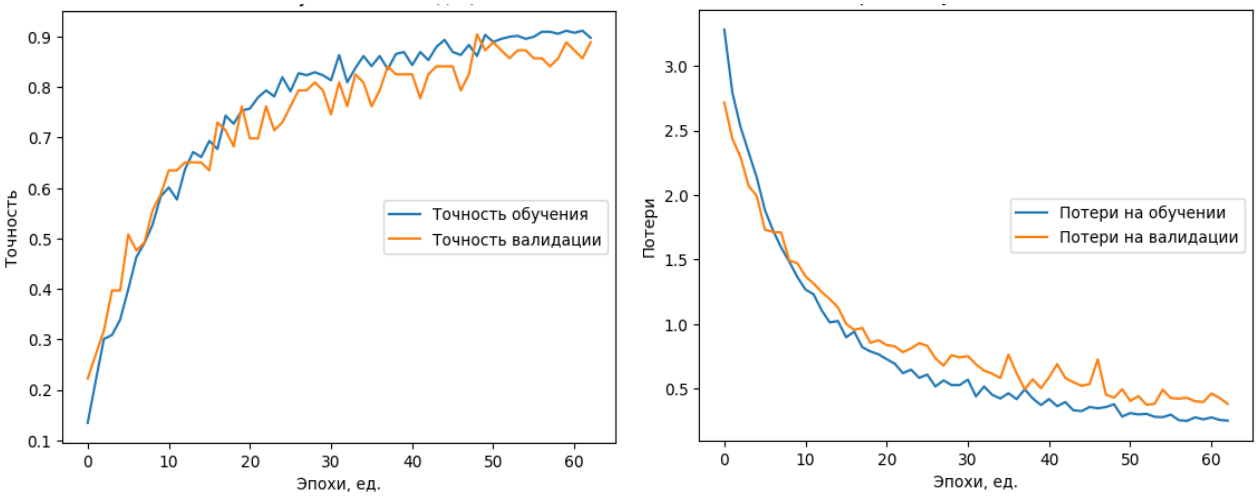
а) *б)*

Рис. 2. Расчетные значения параметров:
а) точности обучения нейронной сети и валидации, график параметров:
б) потерь обучения и валидации (n_1 = 256, n_2 = 128, lr = 0,01)

Топология сети содержит два скрытых слоя, которые обозначены как: n_1 = 256 и n_2 = 128 нейронов соответственно. В целом построенные кривые обладают хорошей сходимостью, небольшой волатильностью, что говорит о устойчивых показателях нейронной сети.

Можно отметить закономерность на рисунке 2, которая показывает, что по мере увеличения числа временных циклов (эпох), параметры точность обучения и валидации возрастают умеренно, с логарифмическим ростом функции и стремятся к 1(100%), а потери в свою очередь к 0.

Далее исследовалась работа нейронной сети при различных параметрах n_1 и n_2 в скрытом слое. Пример рассчитанных значений параметров точности и потерь для нейронной сети с $n_1 = n_2 = 128$ представлены на рисунке 3.



а) *б)*

Рис. 3. Расчетные значения параметров:
а) точности обучения нейронной сети и валидация тестовых данных, график параметров:
б) потерь обучения нейронной сети и валидации (n_1 = 128, n_2 = 128, lr = 0,01)

Уменьшив количество нейронов в первом слое до n_1 = 128, получим увеличение расхождения значений параметров между точностью обучения и валидацией, а также для потерь на обучение и валидацию (рис. 3), в сравнении с рисунком 2. Такая ситуация указывает

на то, что нейронная сеть с такими параметрам обобщает данные несколько хуже, чем с параметрами на рисунке 2.

Проведенное исследование позволило реализовать формирование рекомендаций по улучшению образовательного процесса в веб-приложении цифрового профиля обучающегося (ЦПО), была определена структура нейронной сети и её следующие параметры: оптимизатор Adam, 2 скрытых слоя n_1=256 и n_2=128, lr=0,01, функция активации в скрытых слоях ReLU, в выходном – softmax и для функции потерь выбрана разреженная категориальная кросс-энтропия. Для определения параметра точности предсказаний модели была выбрана метрика *accuracy*. Чтобы избежать переобучения нейронной сети, использовался метод регуляризации, остановка обучения (EarlyStopping), где обучение прекращалось, если происходило 10 эпох без улучшений.

В таблице 3 представлен результат работы нейронной сети, где приведен вывод трех рекомендаций для улучшения образовательного процесса. Вероятности полученных рекомендаций нормируются в программе с использованием *softmax.*

Таблица 3. Пример рекомендаций ЦПО, сформированных с использованием нейронной сети

№	Рекомендация	Вероятность
1.	Применять различные стратегии запоминания информации, основанные на индивидуальных особенностях памяти.	0.989
2.	Искать дополнительные образовательные ресурсы, такие как онлайн-курсы или литературу, для более глубокого изучения интересующих тем.	0.006
3.	Регулярно проводить самооценку своих знаний и навыков, чтобы выявлять слабые места и работать над их улучшением.	0.013

На рисунке 4 показан вывод когнитивной модели обучающегося и рекомендаций нейронной сети в веб-приложении.

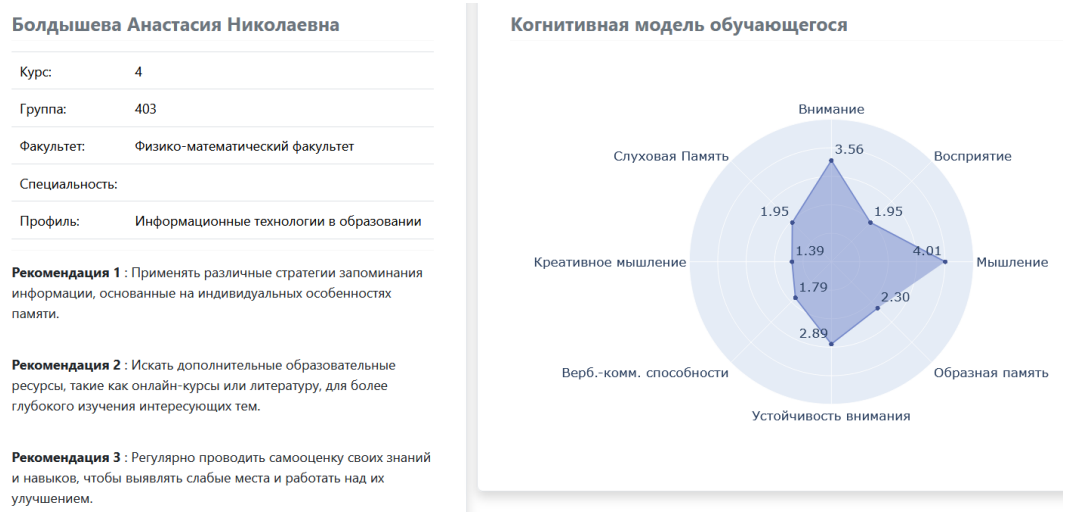


Рис. 4. Вывод когнитивной модели и рекомендаций нейронной сети в веб-приложении

Заключение

В ходе исследования свойств нейронной сети было проведено сравнение оптимизаторов (Adam, RMSprop, Adamax, SGD), варьирование количества нейронов в скрытых слоях, а также оценка влияния параметра скорости обучения. Проведенное исследование позволило реализовать формирование рекомендаций по улучшению образовательного процесса, была определена структура нейронной сети и конфигурационные параметры: оптимизатор Adam,

топология слоев, режим обучения сети. Разработанное программное решение (ЦПО) с использованием нейронной сети позволит сократить время принятия управленческих решений в части организации различных конкурсов (по научной, общественной и др. деятельностей), ускорить организацию временных творческих коллективов обучающихся при выполнении проектов, а также повысит уровень персонализированного обучения.

Список использованных источников

1. Малкова Т.В. Цифровая трансформация как средство модернизации образовательного процесса и достижения качественных изменений в различных аспектах образовательной деятельности // Современная наука. – 2023. – № 1. – С. 46-48.

2. Клишин А.П., Мытник А.А. Автоматизация деятельности учебного подразделения вуза // Всероссийская научно-практическая конференция. Инновации в государственном и муниципальном управлении: опыт решения социальных и экономических проблем. (г.Томск, 23 апреля 2014). – Томск : Изд-во : ТГУ, 2014. – С. 38-43.

3. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимов В.И. Когнитивный подход в управлении // Проблемы управления. – 2007. – № 3. – С. 2-8.

4. Luo Q., Yang J. The Artificial Intelligence and Neural Network in Teaching // Computational intelligence and neuroscience. – 2022. 1778562. DOI: 10.1155/2022/1778562.

5. Морозевич Е.С., Коротких В.С., Кузнецова Е.А. Разработка модели формирования индивидуальных образовательных траекторий с использованием методов машинного обучения // Бизнес-информатика. – 2022. – Т. 16, № 2. – С. 21-35. DOI: 10.17323/2587-814X.2022.2.21.35.

6. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимов В.И. Когнитивный подход в управлении // Проблемы управления. – 2007. – № 3. – С. 2–8.

7. Клишин А.П., Шталина Е.С., Пираков Ф.Д., Ахметова Л.В., Ерёмина Н.Л. Поддержка принятия решений в учебном процессе вуза на основе когнитивной модели обучения с использованием нейронной сети // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2024. – Т.22, № 4. – С. 33-48.

RESEARCH ON LUNG TUMOR IMAGE SEGMENTATION ALGORITHM BASED ON U-NET

Ван Юйцянь[1], Ли Цилун[2]
Научный руководитель: Аксёнов С.В.[3]
[1] TPU, ISHITR, Gr. A3-36, e-mail: yuycyan1@tpu.ru
[2] TSU, HAPS, Gr. 032413（1）, e-mail: qilun@bk.ru
[3] TPU, ISHITR, PhD Engineering., Associate Professor, e-mail: axyonov@tpu.ru

Abstract

Aiming at the problem of complex and variable tumor regions and fuzzy boundaries in lung CT images, an improved U-Net network is proposed by introducing the attention mechanism and optimizing the loss function. Training is performed on a clinical multimodal medical dataset to verify the effectiveness of the algorithm.

Keywords: U-Net, Lung tumor, Image segmentation algorithm.

Introduction

In the process of lung cancer diagnosis, accurate segmentation of lung tumor images is the basis for evaluating key information such as tumor size, morphology and location [1]. In recent years, with the rapid development of deep learning technology, the convolutional neural network (CNN), especially the U-Net architecture, has shown great potential in the field of medical image segmentation [2].We focus on the application effect of U-Net model in lung tumour image segmentation, aiming to improve the segmentation accuracy through model optimization and innovation, and provide technical support for accurate diagnosis of lung cancer. Through in-depth research and experimental validation, it is expected to contribute new ideas and methods to the field of lung tumour image segmentation, and promote the further development of lung cancer early diagnosis and treatment technology.

Based on the classical U-Net architecture, an enhanced deep learning model for lung tumor image segmentation is constructed by introducing the attention mechanism and optimizing the loss function, as shown in Fig. 1. The U-Net is used as the baseline model [3], which consists of two symmetrical parts: the encoder and the decoder. The feature maps of each layer of the encoder are fused with those of the corresponding layer of the decoder through hopping connections, so as to achieve the feature reuse and detail information retention. reuse and detail information retention.

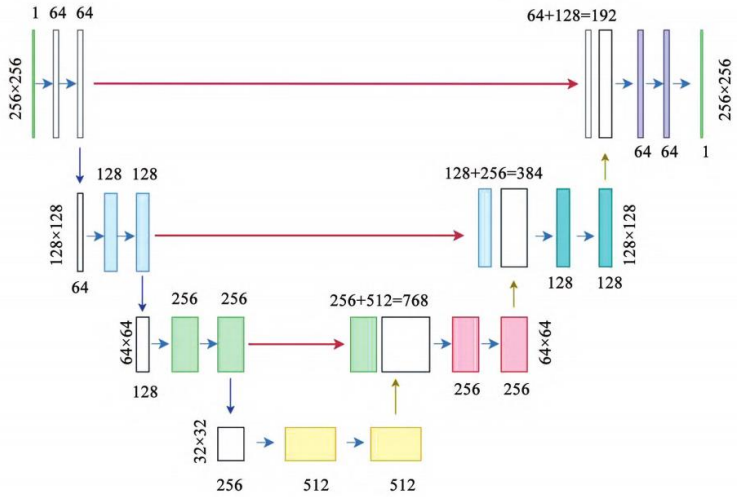


Fig. 1. U-Net model structure

To enhance the accuracy of segmentation, we optimized the model's loss function. Traditional segmentation techniques typically employ Cross-Entropy Loss, which often proves inadequate in addressing class imbalance issues. In the context of lung tumor segmentation, the tumor region constitutes a small portion of the entire image, resulting in a significant imbalance between positive and negative samples. To address this challenge, we utilized a weighted combination of Dice Loss and Cross-Entropy Loss as the final loss function. Dice Loss directly optimizes the overlap between the predicted and true segmentations, demonstrating particular effectiveness in small target segmentation scenarios. By adjusting the weights of these two loss components, we achieved improved segmentation accuracy while ensuring model stability.

$$DiceLoss = 1 - Dice = 1 - \frac{2|X \cap Y|}{|X| + |Y|}$$

Results

The U-net-based lung image segmentation algorithm, which is derived from the COVID-19 dataset, contains the CT scan images of the patient's lungs and the corresponding annotation information, which provides rich imaging information for the diagnosis of lung diseases, treatment planning and efficacy assessment, as shown in Fig. 2.

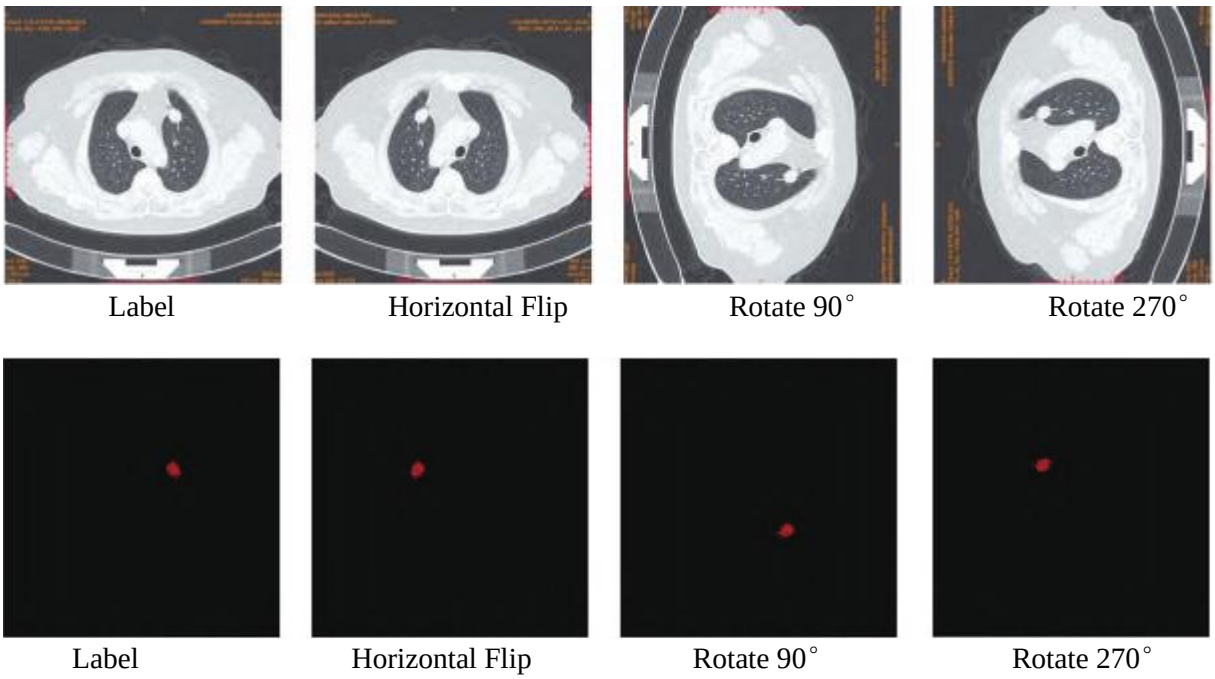


Fig. 2. Date enhancement effect

After successfully introducing the attention mechanism and optimizing the loss function, a comprehensive experimental evaluation of the improved U-Net model is conducted. Through comparative experiments, it is found that the model with the introduction of the attention mechanism outperforms the traditional U-Net model in several evaluation indexes. As shown in Table 1, the Dice coefficient, which is the key index of segmentation accuracy, is found to be better than the traditional U-Net model in several evaluation indexes. The average improvement of the improved model was approximately 5%, indicating a significant improvement in the ability of the model to identify tumour regions. The Jaccard index (also known as the intersection and integration ratio IOU) of the model also achieved an improvement of about 4%, and the PPV and sensitivity of the model in predicting the correct results achieved the optimal values of 0.952 and 0.983, respectively, which further verified its advantage in segmentation accuracy.

Table 1. Comparison of quantitative results of two models on test datasets

Model	Dice	IOU	PPV	Sensitivity
Traditional U-Net model	0.908	0.877	0.886	0.947
Improved U-Net model	0.952	0.918	0.952	0.983

The optimized loss function effectively alleviates the model bias problem caused by data imbalance during the training process. By combining the weighted combination of Dice loss and cross-entropy loss, the improved model focuses more on the fine segmentation of the tumor region while maintaining the ability to learn the overall image features, thus improving the accuracy and robustness of the segmentation results, see Fig. 3. Through the visual analysis and prediction, it can be observed intuitively that the improved model is smoother and more continuous when segmenting the boundary of the tumor, and the cases of erroneous and missed segmentation are reduced. It can be observed that the improved model is smoother and more continuous in segmenting the tumor boundary, reducing mis-segmentation and omission. It shows that the attention mechanism not only enhances the model's attention to the tumor region, but also improves its generalization ability when dealing with complex image structures.

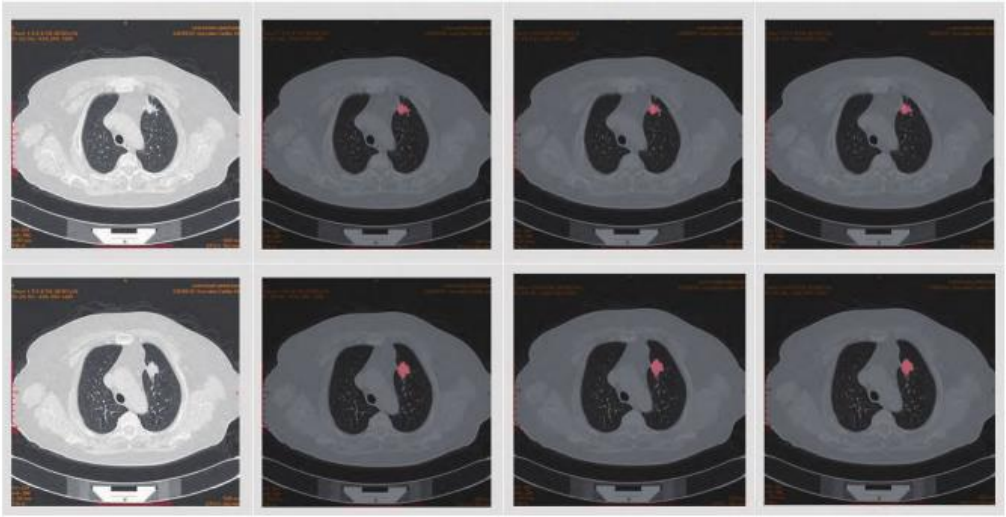


Fig. 3. Segmentation and prediction results of several models

Conclusion

For the lung tumour image segmentation technique, the classical U-Net model is improved by introducing the attention mechanism and optimising the loss function. Experimental results demonstrate that these improvements significantly enhance the segmentation performance of the model, thereby providing robust support for the early diagnosis and treatment of lung tumors. The introduction of the attention mechanism plays a key role in improving the segmentation accuracy of the model.

Min Wang et al [4]. found that the attention mechanism is particularly significant for improving the performance of the model on boundary segmentation. The boundaries in lung tumour images are often fuzzy and irregular, and traditional segmentation methods are prone to mis-segmentation or missed segmentation at the boundaries. With the introduction of the attention mechanism, the model is able to identify and segment the boundary of the tumour more accurately, which is attributed to the fact that the attention mechanism strengthens the features of the tumour region and at the same time suppresses the interference of non-tumour regions, and this enhancement of the ability is of great significance in improving the accuracy of lung tumour diagnosis.

Regarding the optimisation of the loss function, we adopt a weighted combination of Dice loss and cross-entropy loss, which retains the advantages of cross-entropy loss in classification problems

and exploits the characteristics of Dice loss in dealing with unbalanced data. The experimental results show that the optimized loss function is more stable during the training process and can guide the model to learn the characteristics of the tumor region more effectively. By adjusting the weights of the two types of losses to find a balance point, the model maintains the overall segmentation performance while paying more attention to the fine segmentation of the tumor region, and this optimization strategy of the loss function not only improves the segmentation accuracy of the model, but also strengthens the model's robustness and generalisation ability.

The improved model shows good performance in dealing with lung tumours of different morphology, size and location, which proves that the model learns the rich expression of tumour features as well as the joint effect of the attention mechanism and the optimized loss function during the training process, and these improvements make the model more adaptable to the complex medical image environment, which provides a reliable guarantee for the practical clinical application [5].

Although some remarkable results have been achieved in this study, there are still some problems that deserve further exploration. For example, how to further optimise the structure and parameter settings of the attention mechanism to further improve the segmentation performance of the model, how to incorporate more advanced knowledge and contextual information to guide the training process of the model, and how to apply the model to a wider range of medical image segmentation tasks.

In this study, by introducing the attention mechanism and optimizing the loss function, we successfully improved the performance of the U-Net model in the lung tumor image segmentation task, which not only improved the segmentation accuracy and robustness of the model, but also provided theoretical support for the early diagnosis and treatment of the related diseases.

References

1. Zhang X., Wang J., Kong H., Wen Y.T., Liu W., Wang B. CT Image Lung Tumor Segmentation Based on Random Walk Algorithm // Journal of Hebei University (Natural Science Edition). – 2019. – 39(03). – P. 311. – URL: xbzrb.hbu.edu.cn/CN/Y2019/V39/I3/311.

2. Zhu Y.J., Han Z., He S.H., Hu X.R., Chen P.D. Remote Sensing Image Tidal Channel Extraction Method Based on Maximum Inter-Class Variance and Mathematical Morphology // Journal of Shanghai Ocean University. – 2017. – 26(01). – pp. 146–153. – [Электронный ресурс]. – URL: aquaticjournal.com/data/article/shhydxxb/preview/pdf/20160701818.pdf (date of access: 19.02.2025).

3. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical image computing and computer-assisted intervention–MICCAI 2015: 18th international conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III 18. Springer international publishing. – 2015. – P. 234-241. – URL: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-24574-4_28.

4. Wang M., Wang P.G., Wang N., Zong X.P. Image Segmentation Algorithm Based on GVF Snake Model // Electronics World. – 2017(14). – P. 11-12. – [Электронный ресурс]. – URL: d.wanfangdata.com.cn/periodical/dzsj201714013 (date of access: 19.02.2025).

5. Liu Y.X., Zhong J.J., Sun Y.X., Peng H.C. Research on Lung Tumor Image Segmentation Based on Deep Learning // Computer Products and Circulation. – 2020(07). – P. 79-80. – [Электронный ресурс]. – URL: d.wanfangdata.com.cn/thesis/Y4151855 (date of access: 19.02.2025).

RESEARCH ON NEURAL NETWORK ANALYSIS OF MRI IMAGES OF THE BRAIN FOR THE DIAGNOSIS OF BRAIN DISEASES

Tekere Richard [1], Spitsyn V.G [2]
[1] TPU, SCSR, Gr. 8VM02, e-mail: tekere@tpu.ru
[2] TPU, SCSR, Doctor of Technical Sciences
Professor., e-mail: spvg@tpu.ru

Abstract

This study presents a deep learning-based approach for MRI brain disease diagnosis using TransUNet, integrating CNNs, Vision Transformers, and Explainable AI techniques. The proposed system enhances segmentation accuracy and interpretability, bridging the gap between AI research and clinical application.

Keywords: Brain Tumor Segmentation, MRI Analysis, Deep Learning, Vision Transformers, Explainable AI, TransUNet.

Introduction

Brain diseases, including tumors and neurodegenerative disorders, remain a major challenge in modern medicine, requiring early and precise diagnosis for effective treatment. Traditional manual analysis of MRI scans by radiologists is time-consuming, prone to human error, and lacks consistency. The application of neural networks in medical imaging has shown promising results in improving diagnostic accuracy and efficiency [1]. However, the lack of transparency in deep learning models often limits their adoption in clinical practice. Therefore, developing an interpretable neural network-based diagnostic tool is crucial for integrating AI into healthcare.

Recent research efforts have demonstrated the effectiveness of Convolutional Neural Networks (CNNs) and Vision Transformers (ViTs) in medical imaging [4]. CNN-based models excel at capturing local spatial features, while ViTs excel in processing global dependencies across an image. The combination of these architectures in TransUNet has shown promising results in brain tumor segmentation tasks, outperforming traditional CNN-based models [1]. Despite these advancements, the black-box nature of deep learning models presents a significant barrier to clinical adoption.

To address this issue, Explainable AI (XAI) techniques, such as Grad-CAM and SHAP, have been introduced to improve the transparency of neural network decisions [2]. By integrating XAI methods, we can generate visual explanations for segmentation results, providing clinicians with greater trust in AI-assisted diagnosis. This paper explores the integration of TransUNet and XAI techniques into an interactive tool for MRI-based brain tumor segmentation [3].

This study aims to develop a neural network-based diagnostic system that integrates CNNs, Vision Transformers, and Explainable AI for the analysis of MRI images of the brain for disease diagnosis. The system will provide automated disease detection and interpretability features, enabling radiologists to make informed clinical decisions. We focus on the BraTS 2021 Task 1 dataset, a benchmark dataset for brain tumor segmentation, to evaluate the proposed methodology. The system is deployed as a web-based application, allowing radiologists to upload MRI scans, perform automated segmentation, visualize explainability heatmaps, and export results. The goal is to provide a clinically useful tool that combines high accuracy with interpretability, thereby bridging the gap between AI research and practical medical applications.

Proposed Methodology

The proposed methodology for MRI-based brain tumor segmentation using TransUNet is illustrated in Fig.1.The proposed transUnet will be built using Pytorch. It consists of multiple stages, including preprocessing, feature extraction, segmentation, and explainability.

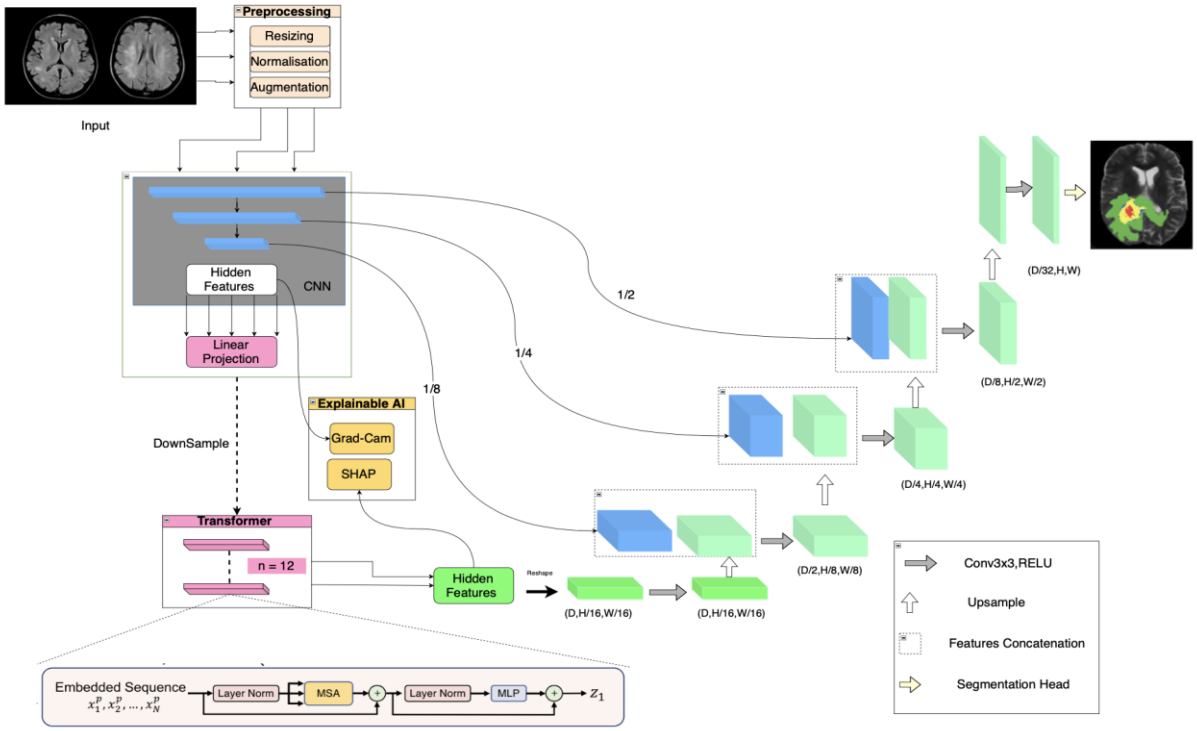


Fig. 1. Schematic representation of the proposed TransUNet architecture for diagnosis MRI brain diseases

Preprocessing

The input MRI scans undergo preprocessing steps, including:

1. Resizing: Standardizing all images to a fixed dimension to match the model's input requirements.

2. Normalization: Adjusting pixel intensity values to a uniform range to improve model performance.

3. Augmentation: Applying transformations such as rotation and contrast adjustments to enhance generalization.

Feature Extraction (CNN Encoder & Transformer Encoder)

1. CNN Encoder: Extracts local spatial features from the MRI scan. Feature maps are extracted using convolutional layers, which apply filters to input images. The transformation at each layer is given by:

$$F_{l+1} = f(W_l \star F_l + b_l), \tag{1}$$

where F_l is the feature map, W_l and b_l are weights and biases, f is the activation function (ReLU) and $\star$ represents the convolution operation, which slides the filter over the input to extract spatial patterns.

2. Transformer Encoder: Captures global dependencies in the image, processing features as embedded sequences. The Transformer encoder captures global dependencies by computing multi-head self-attention (MSA) across image patches The self-attention mechanism is formulated as:

$$MSA(Q,K,V) = softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V, \tag{2}$$

where Q, K, V are query, key, and value matrices derived from input features, and d_k is the dimension of the key vectors. This mechanism enables the model to focus on important image regions by assigning higher attention weights.

After applying Multi-Head Self-Attention (MSA) using eq. (2), the Transformer encoder processes features using a Multilayer Perceptron (MLP) block, which consists of two fully connected layers with a nonlinear activation function:

$$MLP(X) = \sigma\big(W_2\big(\mathrm{ReLU}(W_1X + b_1)\big) + b_2\big) \quad (3)$$

where X is the input feature representation, W_1,W_2 are weight matrices, b_1,b_2 are biases, and σ is an activation function such as Softmax or RELU. Each Transformer layer updates the input features using the following sequence:

$$z_l' = MSA\big(LN(z_{l-1})\big) + z_{l-1} \quad (4)$$

$$z_l = MLP\big(LN(z_l')\big) + z_l' \quad (5)$$

where LN (·) represents Layer Normalization, MSA (·) applies self-attention across image patches, and MLP (·) is a two-layer feedforward network that refines feature representations. The MSA block learns contextual relationships between different image regions, while the MLP block enhances learned embeddings before passing them to the next Transformer layer.

3. Feature Concatenation: The extracted CNN and Transformer features are merged before being passed to the decoder.

Segmentation (CNN Decoder & Segmentation Head)

1. CNN Decoder: Reconstructs the segmentation mask by progressively upsampling features.

2. Segmentation Head: The final layer applies a 1×1 convolution to generate a pixel-wise classification map.

Explainability Module (Grad-CAM & SHAP)

1. Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping): Applied to the last layer of the CNN encoder to generate heatmaps showing important regions for segmentation. To interpret the CNN encoder's decisions, Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) generates heatmaps highlighting important image regions. The activation map is computed as:

$$L^c_{Grad-CAM} = ReLU(\textstyle\sum_k \alpha_k^c A^k), \quad (6)$$

where α_k^c represents the importance weights, computed as:

$$\alpha_k^c = \frac{1}{Z}\textstyle\sum_i \sum_j \frac{\partial y_c}{\partial A_{ij}^k}, \quad (7)$$

Where, A^k represents feature maps, and $\frac{\partial y_c}{\partial A_{ij}^k}$ denotes the gradient of the class score with respect to feature activations.

2. SHAP (Shapley Additive Explanations): Applied to the Transformer Encoder output, identifying which feature patches contributed most to the segmentation decision. To further interpret the Transformer encoder's contribution to segmentation, we apply Shapley Additive Explanations (SHAP) to quantify feature importance. The Shapley value for each feature is calculated as:

$$\phi_i = \textstyle\sum_{s \subseteq F/\{i\}} \frac{|s|!(|F|-|s|-1)!}{|F|!}[f(S \cup \{i\}) - f(S)], \quad (8)$$

where ϕ_i represents the contribution of feature i to the prediction, and f(S) is the model output for a given subset of features S. SHAP helps identify the most influential image regions for segmentation.

Web-Based Interactive Tool

A Django-based web application will be developed to provide:

1. MRI Upload Interface – Users can upload MRI scans in DICOM/NIfTI format.
2. Automated Analysis – The uploaded image is processed using the deep learning model.
3. Explainability Module – AI-generated explanations help interpret results.
4. User Visualization – Disease markers and heatmaps are overlaid on MRI scans.
5. Export Functionality – Results can be saved in PNG/PDF format for further review.

This methodology ensures accurate segmentation while enhancing interpretability, allowing radiologists to visualize tumor locations and understand the model's decision-making process.

Results

Since the model is under development, the model is expected to achieve a Dice Similarity Coefficient (DSC) above 0.85, ensuring precise tumor segmentation. Performance will be evaluated on the BraTS 2021 Task 1 dataset using standard metrics. Regarding explainability, Grad-CAM heatmaps will highlight crucial regions in MRI scans that influence segmentation outcomes, providing intuitive visual feedback for radiologists. SHAP values will quantify the importance of different patches within the Transformer encoder, offering additional interpretability regarding how various MRI features contribute to tumor identification. These insights will help build trust in AI-assisted medical diagnosis and facilitate the clinical adoption of deep learning-based segmentation models.

If preliminary experiments are conducted before submission, initial classification and segmentation results will be presented.

Conclusion

This study proposes a deep learning-based MRI analysis system that integrates CNNs, Transformers, and Explainable AI techniques for brain disease diagnosis. The system is designed to improve the accuracy and efficiency of MRI-based disease detection while enhancing model interpretability through the use of SHAP and Grad-CAM. Furthermore, it provides a web-based interactive tool that enables radiologists to perform automated segmentation, analyze explainability visualizations, and export results for further assessment.

Future work will focus on extending the dataset to include more diverse brain disease cases to improve generalization. Additionally, optimizing the deep learning model for faster inference will be prioritized to ensure real-time usability in clinical settings. Finally, conducting clinical trials will be essential to evaluate the system’s effectiveness in real-world medical environments.

This study bridges the gap between cutting-edge AI research and clinical applications, ensuring that deep learning-driven medical diagnostics remain both accurate and explainable.

References

1. Chen J., Lu Y., Yu Q., Luo X., Adeli E., Wang Y., Chang E.I.C., Xu Y. TransUNet: Transformers Make Strong Encoders for Medical Image Segmentation. In: Medical Image Analysis. – 2021.

2. Selvaraju R. R., Cogswell M., Das A., Vedantam R., Parikh D., Batra D. Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks. In: IEEE International Conference on Computer Vision. – 2017.

3. Bakas S., Reyes M., Jakab A., Bauer S., Rempfler M., Crimi A., Shinohara R. T., Berger C., Ha S. M., Rozycki M., Kirschke J. Identifying the Best Machine Learning Algorithms for Brain Tumor Segmentation, Progression Assessment, and Overall Survival Prediction in the BRATS Challenge. In: IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2018.

4. Dosovitskiy A., Beyer L., Kolesnikov A., Weissenborn D., Zhai X., Unterthiner T., Dehghani M., Minderer M., Heigold G., Gelly S., Uszkoreit J., Houlsby N. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. In: arXiv preprint arXiv:2010.11929. – 2020.

5. Rafii M.S., Walsh S.J., Little B.C., Fogel A.L., Thompson P.M., Schwartz J.B. Artificial intelligence in brain MRI analysis of Alzheimer's disease over the past 12 years: A systematic review. Ageing Research Reviews. – 2022. DOI: 10.1016/j.arr.2022.101614.

6. Moradi E., Pepe A., Gaser C., Huttunen H., Tohka J. A parameter-efficient deep learning approach to predict conversion from mild cognitive impairment to Alzheimer's disease. NeuroImage. – 2019. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.01.031.

Секция 7. Цифровой дизайн

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СЕМЕЙНОГО ОБУЧЕНИЯ

Бурнышева Е.С. [1], *Вехтер Е.В.* [2]
[1]*ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8ИМ42, e-mail: esb32@tpu.ru*
[2]*ТПУ ИШИТР ОАР, доцент, e-mail: vehter@tpu.ru*

Аннотация

В статье рассматриваются особенности применения принципов эргономики и инструментов дизайна для создания цифровой образовательной среды для семейного образования. В публикации проанализированы наиболее известные образовательные платформы, описано проведение качественных исследований пользовательского опыта, а также предложено проектное решение образовательной платформы «Альфа», lo-fi и hi-fi прототипы для неё.

Ключевые слова: дизайн, эргономика образования, цифровая среда, образовательная среда, онлайн-школа, семейное образование, пользовательский опыт, интерфейс, прототип.

Введение

Сегодня стремительно развиваются цифровые технологии, которые внедряются и в образовательную среду, расширяются возможности получить образование через Интернет, не выходя из дома. По статистике число детей, которые находятся на домашнем или семейном обучении и изучают общеобразовательную программу без посещения школы, в последние годы стабильно увеличивается. По данным Министерства просвещения, в 2022 учебном году количество детей на домашнем обучении в России выросло на 30%. А в 2019 году международная образовательная организация EdCrunch подсчитала, что число российских семей, выбирающих альтернативные виды школьного обучения, ежегодно растет на 100% и более [1].

Таким образом, актуальной проблемой современной образовательной среды является поиск эффективных технологий, обладающих дидактическим потенциалом для организации качественного мультисенсорного обучения.

Теоретические аспекты эргономики цифровой образовательной среды

В связи с развитием цифровых технологий, совершенствуется и подход к созданию образовательного контента, необходимый прежде всего для качественного и эффективного взаимодействия «человек – образовательная среда». Для этого применяют эргономический подход, ориентированный на человека, цель которого – максимизация производительности учебного труда, достижение максимально возможной продуктивности работы мозга учащихся в процессе учебно-познавательной деятельности [2]. Можно выделить следующие важные эргономические проблемы в организации образовательного пространства:

- Разные каналы восприятия [3].
- Разные стили обучения по модели VARK [4].
- Информационная перегрузка.
- Ограниченность когнитивных ресурсов.
- Проектирование интерфейсов.
- Влияние эмоционального состояния человека на когнитивные способности.
- Индивидуальные психологические особенности человека.

На сегодняшний день актуальны такие тенденции в дизайне цифровых платформ, как минимализм и упрощение процесса восприятия, трёхмерная графика и анимация, крупные шрифты, градиенты, глассморфизм, тёмная тема. Акцент в разработке платформы был сделан

на минимализме, шрифтах и использовании градиентов для создания актуальной и современной образовательной платформы, которая привлечёт внимание пользователя.

В ходе исследования рассмотрено несколько существующих образовательных платформ с точки зрения цифрового дизайна. В результате были выделены преобладающие приёмы в дизайне и основные недостатки. К первым относятся минималистичный стиль с использованием ярких цветовых акцентов, выразительные гротескные шрифты, наличие иерархии и структуры и наличие маскота, к последним – слишком крупные элементы и текстовые блоки, использование неудобочитаемого шрифта, неграмотный подбор иллюстративного материала.

Пути решения выявленных проблем

Для решения выявленных проблем возможно применение следующих способов: создание интерфейса в соответствии с 10 Эвристиками Якоба Нильсена, которые помогают выявить основные проблемы, с которыми пользователи могут столкнуться, и предотвратить их [5]; грамотный подбор шрифтов для дизайна интерфейса, потому как правильный выбор шрифта способствует улучшению читаемости текста, помогает передать необходимое настроение и стиль; наличие обратной связи, при которой пользователь получает полную и точную информацию о результате проделанных им действий [6]; грамотный подбор иллюстративного материала, к которому относятся различные изобразительные материалы: фотографии, иллюстрации, иконки; выстраивание иерархичной и структурированной композиции элементов, разделение главного и второстепенного, наличие «воздуха» в композиции; использование подсказок для пользователя и соблюдение некоторых принципов эргономичного дизайна, к которым относятся наглядность, хорошее соответствие и ясная концептуальная модель.

Проведение качественных исследований пользовательского опыта

Так как пользователи цифровой образовательной среды – это не только взрослые, но и дети и подростки, необходимо разработать дизайн платформы, учитывая особенности восприятия информации детьми. Так как онлайн-школы предлагают программы обучения как для дошкольников, так и для старшеклассников, необходимо адаптирование интерфейса под несколько возрастных групп: например, 5–8 лет, 9–13 лет и 14–18 лет. Важно помнить, что детям иногда не хватает терпения, поэтому, если у образовательной платформы насыщенный дизайн, он медленно грузится или имеет любую другую досаждающую проблему, то вероятно, что дети не будут тратить на это много времени. Также взрослым удобнее использовать более темные оттенки, в то время как дети предпочитают яркие и смелые цветовые палитры. Кроме того, у каждой возрастной группы немного разные вкусы. Если дети в возрасте 5–8 лет предпочитают более яркие образы, иллюстрации, интерактив, насыщенные цвета, небольшие и простые тексты, то подростки 14–18 лет посчитают такой дизайн слишком «детским» и им будет труднее воспринимать такую информацию.

Целевая аудитория проектируемой образовательной платформы – дети от 6 до 18 лет, родители, учителя и модераторы платформы. Для понимания пользователей, мотивов их поведения, целей, потребностей и трудностей, которые могут возникнуть, были созданы карточки потенциальных пользователей, прописаны ключевые истории пользователей, составлена карта пользовательских историй по принципам проведения качественных исследований пользовательской аудитории [7].

Исследование проводилось для таких потенциальных пользователей платформы, как учащийся, родитель и учитель. В карточках пользователей указаны имя, возраст, место проживания, мотивация, характеристики личности, цели, задачи, потребности и привычки. В ключевых историях пользователей отражена одна цель для каждого пользователя и определены несколько действий, которые пользователь будет выполнять в системе и как

выполнение этих действий поможет пользователю при выполнении его задач. Карты пользовательских историй показывают несколько основных действий пользователя, для каждого из которых прописана некая последовательность действий в виде задач. На рис. 1 представлен пример карты для учащегося. Картирование пути клиента важно для лучшего понимания клиентов. Визуализируя их действия, мысли, эмоции и проблемы при взаимодействии с продуктом, можно вносить изменения, чтобы улучшить их опыт.

Рис. 1. Карта пользовательских историй для учащегося

Эскизная проработка проектируемого объекта

В ходе исследования были получены данные, которые позволяют перейти к созданию lo-fi прототипов главной страницы сайта и личного кабинета (рис. 2). На них можно видеть обозначение блоков текста, заголовков, иллюстраций и кнопок в очень упрощённой форме. Эффективное использование прототипов с низким качеством может помочь быстро собирать релевантные отзывы пользователей и снизить риски при разработке продукта за счет решения проблем пользовательского интерфейса на ранних этапах проектирования и разработки.

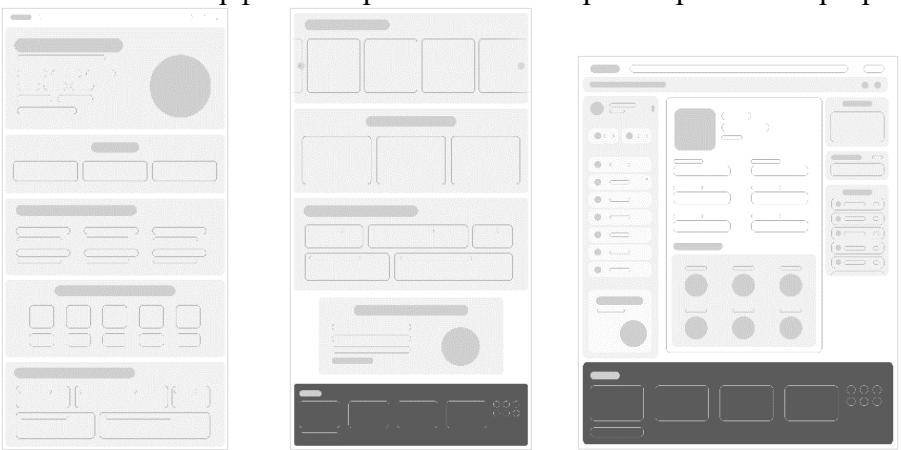


Рис. 2. Lo-fi прототипы

Главная страница платформы представляет собой информацию о школе, которая наиболее важна для потенциальных пользователей платформы. Целью в данном случае является привлечение внимания и доступное и понятное преподнесение информации. Было

принято решение разделить информацию на смысловые блоки, последовательно идущие друг за другом.

Личный кабинет учащегося имеет отличную от главной страницы структуру. В данном случае целью является создание эргономичной и комфортной образовательной среды, понятность и доступность информации, интуитивно понятный интерфейс для быстрого взаимодействия со средой, обеспечение максимальной концентрации на образовательном процессе. Интерфейс условно был разделён на три части – боковую панель с меню, центральную часть с основными элементами взаимодействия и основной информацией и блок в правой части экрана с несколькими статичными элементами. Подразумевается также возможность свернуть левую боковую панель, тем самым расширив основное пространство экрана.

Обоснование проектного решения

Проектируемая образовательная платформа получила название «Альфа», первая буква греческого алфавита, и слоган «образование для будущего». А также для платформы был разработан персонаж. Его роль в данной образовательной среде – сопровождать учащихся на протяжении обучения, давать подсказки, полезные советы, подбадривать и мотивировать. Для поддержания созданной стилистики и ценностей, транслируемых школой, он был создан в виде стилизованной академической шапки и получил имя Кси, что также является буквой греческого алфавита.

Выбор общей стилистики был основан на тенденции минимализма и лаконичности, но с добавлением цветовых акцентов для выделения важной информации. Для этого была подобрана цветовая гамма, состоящая из оттенков зелёного, жёлтого и оранжевого. Все элементы в дизайне имеют закруглённые углы для упрощения процесса восприятия [8].

Разработка концепта образовательной среды

На основе проведённого исследования был создан hi-fi прототип образовательной платформы, отражающий внешний вид и ощущения от использования конечного продукта. На рис. 3 представлена визуализация главной страницы, которая включает в себя информацию о школе, возможностях, которые она предоставляет, программах обучения, отзывы.

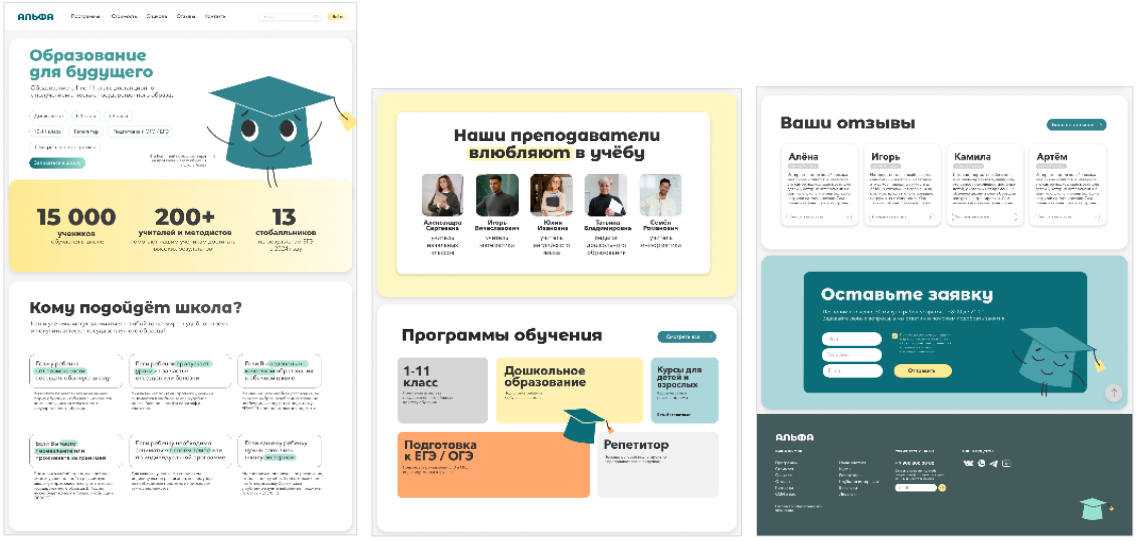


Рис. 3. Hi-fi прототип главной страницы

Были также созданы прототипы личного кабинета для учащегося и учителя (рис. 4). В целом, они имеют схожий интерфейс, но всё же имеют свои отличия. Слева находится блок меню с выбором раздела, справа – календарь, ближайшее занятие и список с дедлайнами домашних заданий. В дизайне личного кабинета ученика были продемонстрированы раздел «Мои предметы» и форма выполнения теста (рисунок 17). В дизайне личного кабинета

учителя был продемонстрирован раздел «Журнал» на этапе выбора предмета и нужного класса и на этапе непосредственно заполнения журнала.

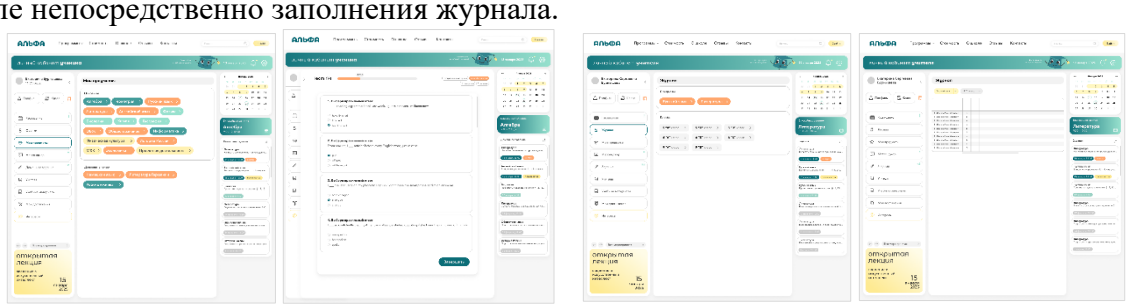


Рис. 4. Hi-fi прототипы личного кабинета

В разработанных прототипах также представлены фразы Кси для учащегося – «Пожалуйста, не забывай отдыхать!» и для учителя – «Вы проводите интересные уроки!» (рис. 5).

Рис. 5. Маскот

В качестве визуализации дизайнерского решения был создан UI-kit проектируемой образовательной платформы, содержащий набор готовых решений пользовательского интерфейса – все те элементы, что помогают пользователям взаимодействовать с сайтом или приложением. В рамках проекта были подобраны иконки и шрифты, а также созданы кнопки в различных состояниях, переключатели, выбор варианта ответа, окна уведомлений, окно диалога и календарь (рис. 6).

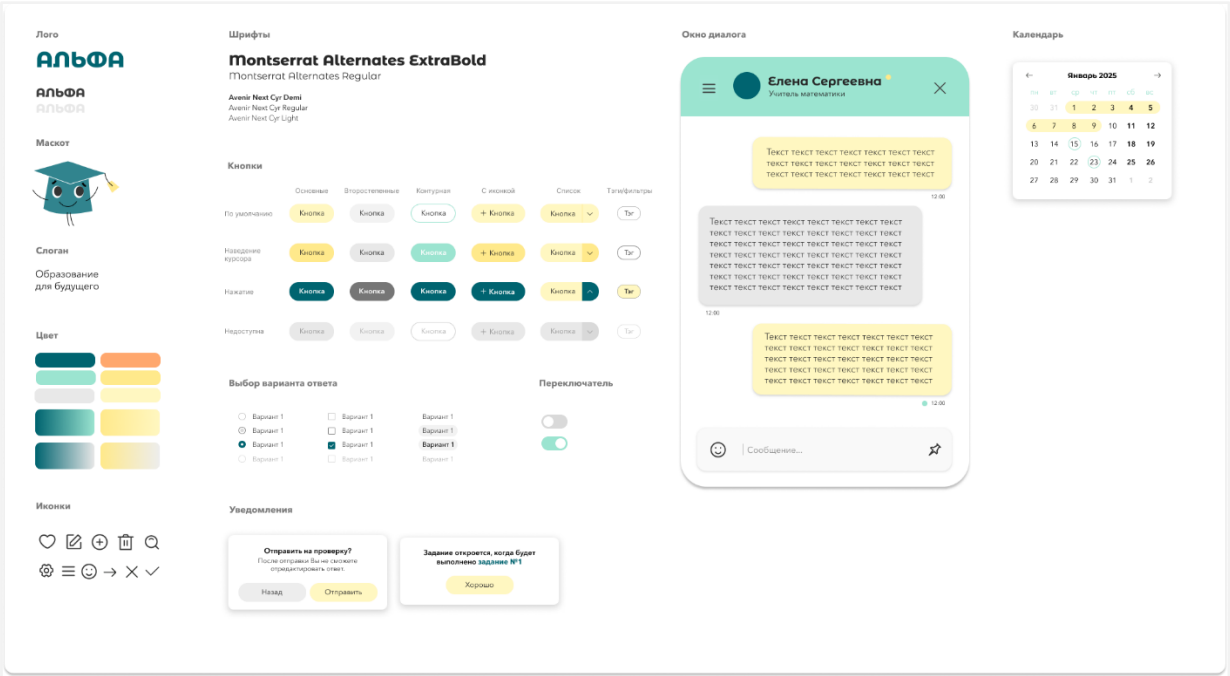


Рис. 6. UI-kit

Заключение

Проектирование образовательной платформы для онлайн-школы с учетом эргономики и особенностей восприятия детей является важной задачей, требующей комплексного подхода.

Учитывая психологические и физиологические характеристики детской аудитории, необходимо создавать интерфейсы, которые будут не только визуально привлекательными, но и интуитивно понятными. Эффективное использование цветовой палитры, шрифтов, иллюстраций, иконок и навигационных элементов способствует улучшению восприятия информации и повышению вовлеченности учащихся. Правильная реализация этих аспектов не только улучшит образовательный процесс, но и создаст положительный опыт взаимодействия с онлайн-обучением.

Таким образом, был разработан дизайн для образовательной платформы с учётом тенденций современного цифрового дизайна, правил эргономики и особенностей восприятия целевой аудитории.

Список использованных источников

1. Домашнее обучение в России: что нужно знать об альтернативном школьном образовании. – [Электронный ресурс]. – URL: forbes.ru/forbeslife/478461-domasnee-obucenie-v-rossii-cto nuzno-znat-ob-al-ternativnom-skol-nom-obrazovanii (дата обращения: 17.03.2025).

2. Кондракова Л.М. Эргономический аспект дистанционного обучения / Л.М. Кондракова // Электронное информационное пространство для науки, образования, культуры: Материалы VII Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Орел, 16 декабря 2020 года. – Орел : Орловский государственный институт культуры, 2021. – С. 118-121.

3. Типы восприятия: аудиал, визуал, кинестетик и их характеристики. – [Электронный ресурс]. – URL: dtdmbratsk.ru/students/rekomendatsii uchashchimsya-/14095/ (дата обращения: 17.03.2025).

4. Модель VARK в презентациях, процессе обучения и тренингах. – [Электронный ресурс]. – URL: biecom.ru/ritorika/model-vark-v prezentacziyah-proczesse-obucheniya-i-treningah/

5. Эвристики Нильсена. – [Электронный ресурс]. – URL: simpleone.ru/glossary/evristiki-nilsena/ (дата обращения: 17.03.2025).

6. Норман, Дон. Дизайн привычных вещей. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2022. – 384 с.: ил. ISBN 978-5-00195-363-0.

7. Качественные и количественные данные в UX-исследованиях. – [Электронный ресурс]. – URL: tldv.io/ru/blog/qualitative-vs quantitative-data-in-ux-research/

8. Закруглённые и острые углы в дизайне. – [Электронный ресурс]. – URL: uprock.ru/education/zakruglennye-i-ostrye-ugly-v-dizayne (дата обращения: 17.03.2025).

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПЕРЕХОДНИКА, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО ИНТЕГРИРОВАТЬ ДВА АКТУАЛЬНЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ СТАНДАРТА ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ

Нестеров Т.М.[1], Вехтер Е.В. [2]
[1] Томский политехнический университет, ИШИТР, 8Д11, e-mail: tmn2@tpu.ru
[2] Томский политехнический университет, ИШИТР, Доцент, e-mail: vehter@tpu.ru

Аннотация

Работа посвящена разработке универсального переходника для интеграции стандарта CCS с головками GBT и CHAdeMO зарядных устройств. Это актуально для российской инфраструктуры электромобилей поскольку это снижает производственные затраты и оптимизирует технологический процесс, предлагая эффективные решения как для производителей оборудования, так и пользователей электромобилей.

Ключевые слова: переходник, коннекторы, станция, стандартизация, унификация, формообразование, экономичность, качество.

Введение

Развитие инфраструктуры зарядных станций для электромобилей сопровождается проблемой стандартизации зарядных портов, которые различаются конструкцией, стандартами и совместимостью. Это создает трудности для владельцев электрокаров, так как несовместимость зарядного порта автомобиля с общественными станциями может требовать использования дополнительных переходников или полностью исключать возможность зарядки. Такие ситуации снижают удобство эксплуатации электромобилей, особенно в условиях ограниченной инфраструктуры [1].

Целью данной работы является разработка универсального переходника со взаимозаменяемыми насадками одного из двух стандартов, что устранит проблему несовместимости. Новизна исследования заключается в создании решения, обеспечивающего адаптацию различных стандартов зарядных портов для пользователей и производителей оборудования для зарядки электрокаров.

Основная часть

На практике несовместимость зарядных портов часто проявляется так, что на зарядных станциях обычно устанавливаются только два типа коннекторов из трёх, которые могут не подходить к стандарту автомобиля владельца. Это вызывает неудобства, так как нужный порт может быть занят. Владельцы электромобилей сталкиваются с дополнительными затратами на покупку переходников, которые гарантируют возможность зарядки на общественных станциях как показано на рисунке 1 [2].

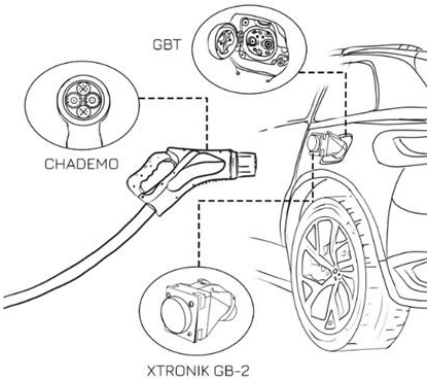


Рис. 1. Схема встраивания переходника между коннектором от зарядной станции и портом зарядки в автомобиле

В такой ситуации и производители переходников сталкиваются с вызовами: разнообразие типов зарядки вынуждает их создавать уникальные корпуса для каждого стандарта, увеличивая производственные издержки и снижая эффективность проектирования [3].

Одним из перспективных подходов к решению этой проблемы является исследование формообразования корпуса переходников и поиск путей их унификации. Такой подход позволяет минимизировать затраты на производство, а также повысить удобство их использования.

Используя комбинаторный метод, как показано на рисунке 2, были проанализированы внутренние элементы конструкции переходников. Основной задачей исследования стало определение компонентов, которые можно объединить в едином корпусе, и тех, которые требуют сохранения своей индивидуальности. Это было необходимо для обеспечения совместимости переходника с различными стандартами зарядки без ущерба для его функциональности.

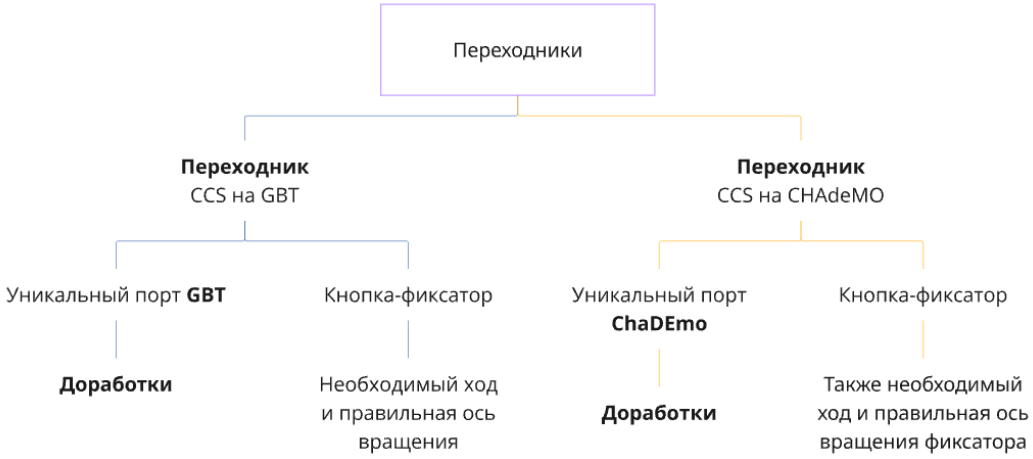


Рис. 2. Сравнение пары переходников CCS-CHaDeMO и CCS-GBT с использованием комбинаторного метода

На рисунке 3 представлено сравнение переходников CCS-CHaDeMO и CCS-GBT с использованием комбинаторного метода. Такое сравнение позволило выделить ключевые конструктивные элементы обоих стандартов и провести их анализ по степени взаимозаменяемости.

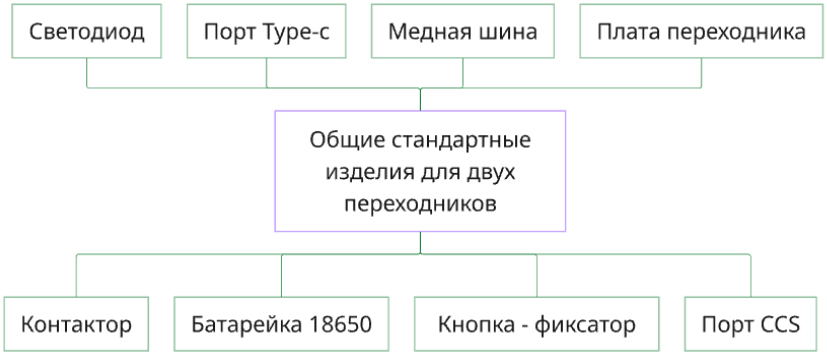


Рис. 3. Оценка совместимости комплектующих для данных пар переходников

В результате анализа была предложена концепция универсального прототипа корпуса переходника. Этот корпус способен интегрировать два типа зарядных портов с возможностью их замены на этапе сборки. Использование такого прототипа обеспечивает гибкость применения и облегчает процесс его адаптации к различным стандартам зарядки как показано на рисунке 4 [4].

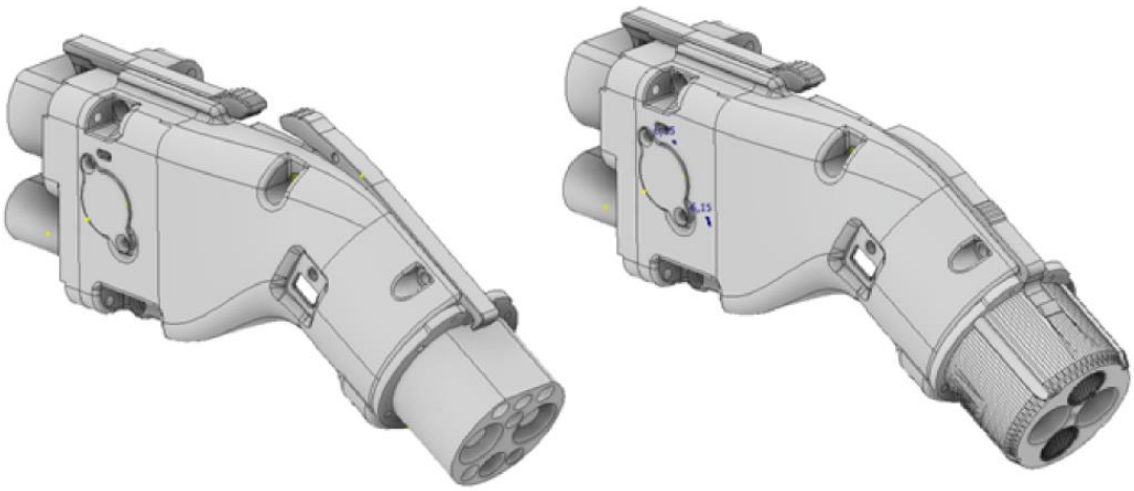


Рис. 4. Наглядное отображение корпусов переходников с адаптированными элементами конструкции, выявленными комбинаторным методом

Результаты

Сравнение конструкций переходников однозначно позволило определить области, где унификация возможна без ущерба для функциональности изделия, и выделить те элементы, которые требуют сосредоточенности на специфике стандарта как показано на рисунке 5. Эти данные играют ключевую роль при дальнейшем проектировании и оптимизации производства, помогая снизить издержки и упростить процесс интеграции переходников в эксплуатацию.

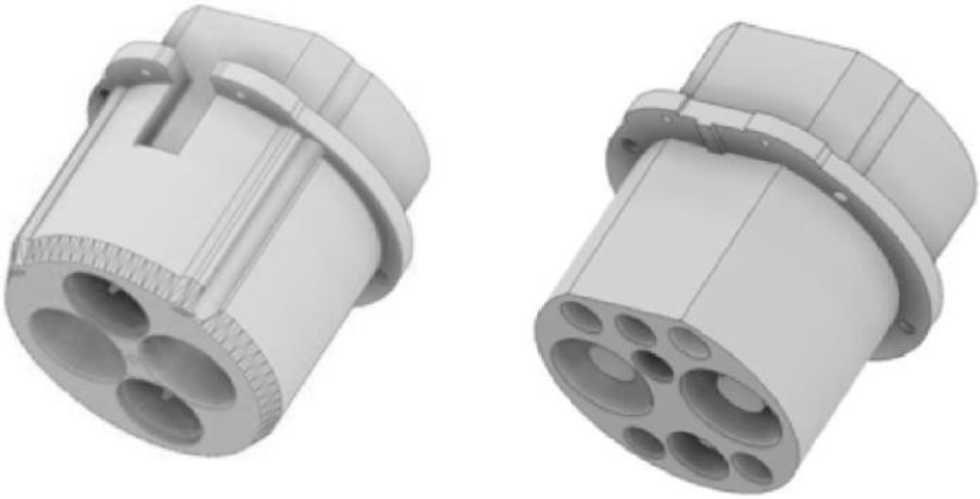


Рис. 5. Создание универсальных и взаимозаменяемых Головок для переходника (Слева порт CHAdeMO, справа порт GBT)

В итоге, предложенный подход к унификации формы корпуса и применению комбинаторного метода решения технических задач открывает новые перспективы для создания более эффективных и универсальных решений в сфере зарядных устройств для электромобилей.

Заключение

Реализация предложенного решения представляет собой важный шаг для компании на пути к оптимизации производственных процессов. Сокращение затрат и повышение качества устройств выглядят вполне достижимыми целями, реализация которых способна существенно укрепить конкурентные позиции данной продукции на рынке.

Унификация корпуса переходников также позволяет расширить охват целевой аудитории, предложив потребителям возможность интеграции одного из двух типов портов, в зависимости от их автомобиля. Эта гибкость в использовании продукта дает компании значительное преимущество и открывает новые перспективы для роста и развития компании в общем и целом.

Результаты проделанной работы, включая анализ и обсуждение возможных решений, определили стратегические направления, которые могут привести к повышенной эффективности производства, увеличению качества продукции и устойчивому увеличению конкурентоспособности компании в долгосрочной перспективе.

Список использованных источников

1. Развитие автомобильной индустрии в России. – [Электроный ресурс]. – URL: dzen.ru/a/Z1FoifXhthJnP0as (дата обращения: 05.09.2024).

2. Что такое зарядка постоянного тока CHAdeMO? – [Электронный ресурс]. – URL: besen-group.com/ru/what-is-the-chademo-dc-charging/ (дата обращения: 10.09.2024).

3. Стандарт зарядки электромобилей в Китае: обзор Gb/T. – [Электронный ресурс]. – URL: ezsis.ru/standart-zaryadki-elektromobilej-v-kitae-obzor-gb-t/ (дата обращения: 15.09.2024).

4. Полный обзор по разъёмам для зарядки электромобилей [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: sitronics-electro.com/ev_connectors_standarts_guide (дата обращения: 20.09.2024).

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ УСТРОЙСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ БЕЗОПАСНОЕ ПРЕБЫВАНИЕ СОБАК В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Спицына Д.В. [1], *Васильева М.О.* [2]
[1]*ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8Д11, e-mail: dvs113@tpu.ru*
[2]*ТПУ ИШИТР ОАР, старший преподаватель, e-mail: vasilevamo@tpu.ru*

Аннотация

Статья рассматривает проблему взаимодействия собак с городской средой. Согласно санитарным требованиям, торговые центры запрещают вход с питомцами, и хозяева, совершая покупки, оставляют их на улице без присмотра. Разрабатывается проект, для обеспечения безопасного нахождения домашних собак в городских условиях. Решения представляют собой пространство, в котором размещается собака, находясь в общественном пространстве.

Ключевые слова: Домашние собаки, общественное пространство, городская среда, безопасность, устройства.

Введение

Современная тенденция, которая сильно повлияла на взаимодействие человека и домашних животных, стала урбанизация (быстрый рост городов и городского населения). Домашним животным приходится привыкать к жизни в городских условиях и возникает актуальная проблема их безопасного взаимодействия с городской средой. Эта проблема особенно актуальна для собак, которые являются объектом данного исследования. Выбор объекта исследования не случаен. Во-первых, собаки – это один из самых распространенных видов домашних животных, отмечается, что они есть у 38% российских семей [1]. Во-вторых, собакам требуются ежедневные прогулки для игр и активности, в связи с этим они регулярно попадают в городское пространство, контактируют с людьми, другими животными и могут представлять определенную опасность для окружающих, что накладывает ограничения на правила их нахождения в общественных местах. В данной работе исследуется проблема взаимодействия собак с городской средой, в соответствии с рисунком 1.

Рис. 1. Проблема безопасного размещения собак в городской среде

Многие люди, гуляя с собакой, заходят совершить покупки в ближайший магазин, супермаркет или торговый центр, однако большинство из них запрещает вход с животными. Для решения этой проблемы появляется необходимость в разработке устройства, которое обеспечивает комфортное пребывание собаки вблизи общественного пространства, такого как магазин. Предложенные концепции устройств для собак предполагают возможность размещения в условиях городской среды, около торгового центра и позволяют владельцам, оставив собак, посещать торговый центр и совершать покупки.

Основная часть

Длительная селекция привела к большому разнообразию видов собак, которые необходимо учитывать при разработке дизайнерских решений. Официальные международная

и российская классификации собак разработаны, соответственно, FCI (Federation Cynologique Internationale) и МКФ (Международная Кинологическая Федерация), которые выделяют 10 основных групп собак: пастушьи и скотогонные собаки, пинчеры и шнауцеры, терьеры, таксы и другие [2].

Однако такой подход к классификации является хотя и официальным, но не единственным. Он не отражает особенности возможного поведения собак в городской среде. Другие подходы к классификации собак приведены в таблице 1.

Таблица 1. Классификация видов собак

Основание классификации	**Группы собак**	**Породы собак**
По размерам	Очень маленькие собаки. Рост менее 30 см. Вес менее 5 кг.	Мопс, пекинес, померанский шпиц
	Маленькие собаки. Рост 30-40 см. Вес 5-10 кг.	Бигль, джек рассел терьер, такса
	Средние собаки. Рост 40-56 см. Вес 10-20 кг.	Бультерьер, бульдог английский, шарпей
	Крупные собаки. Рост 56-65 см. Вес 20-30 кг.	Колли, ротвейлер, сибирский хаски
	Очень крупные собаки. Рост 65-75 см. Вес 30-50 кг.	Кавказская овчарка, ньюфаундленд, бульмастиф
	Гигантские собаки. Рост более 75 см. Вес более 50 кг.	Неаполитанский мастиф, немецкий дог, сенбернар
По агрессивности	Дружелюбные (любят всех)	Бульдог английский, немецкий дог, сенбернар
	Достаточно дружелюбные	Колли, мопс, ньюфаундленд
	Сдержанные	Бульмастиф, немецкая овчарка, ротвейлер
	Настороженные	Доберман, пекинес, такса
	Могут быть агрессивными	Алабай, кавказская овчарка, чау-чау
По интеллекту (способности к обучению)	1-10: собаки с превосходными способностями к обучению (англ. Brightest Dogs)	Доберман, немецкая овчарка, ротвейлер
	11-26: собаки с отличными способностями к обучению (англ. Excellent Working Dogs)	Вельш-корги, кокер-спаниель, померанский шпиц
	27-39: собаки со способностями к обучению выше среднего (англ. Above Average Working Dogs)	Йоркширский терьер, ньюфаундленд, эрдельтерьер
	40-54: собаки со средними способностями к обучению (англ. Average Working/Obedience Intelligence)	Немецкий дог, сибирский хаски, такса
	55-69: собаки со способностями к обучению ниже среднего (англ. Fair Working/Obedience Intelligence)	Бультерьер, мопс, сенбернар
	70-79: собаки с плохими способностями к обучению (англ. Lowest Degree of Working/Obedience Intelligence)	Английский бульдог, бигль, пекинес
По уровню активности	Спокойные, медлительные, ленивые	Английский бульдог, немецкий дог, сенбернар
	Активные	Бигль, немецкая овчарка, хаски

* Составлено автором по материалам [3, 4, 5, 6, 7].

Приведенные в таблице подходы к классификации собак необходимо учитывать при анализе их взаимодействия с городской средой, так как разные виды собак будут по-разному реагировать на необычные или стрессовые ситуации, возникающие в городской среде.

Помимо характерных особенностей разных видов собак следует также обратить внимание на погодные условия, городскую инфраструктуру и ограниченность пространства, надежность и долговечность проектируемого устройства, санитарные нормы и другое. Были выявлены следующие требования, которые нужно соблюсти при разработке концепции:

1. Компактность и экономия пространства.
2. Надежность и простота конструкции.
3. Устойчивость к низким температурам, низкая степень маркости материалов.
4. Универсальность, она должна подходить для большего числа разновидностей собак.
5. Удобство и безопасность, собаки должны чувствовать себя комфортно.

Были рассмотрены аналоги устройств, специально разработанных для того, чтобы владельцы собак могли посещать магазины, оставляя собак вблизи магазина. Однако большинство из них не гарантируют полную безопасность животного, например оставление собаки на привязи может грозить тем, что она будет представлять угрозу для прохожих людей и других собак. Следовательно, в этом случае торговые центры и супермаркеты должны предложить владельцам собак места для передержки животных на время покупок.

Анализ существующих технических решений представлен на рис. 1.

Одиночный вольер для собак

Рис. 1. Примеры устройств для передержки собак

Одиночный вольер для собак нерационален для крупных торговых центров, так как рассчитан на одну собаку, однако она обеспечивает ее безопасность и минимизирует контакт с чужими людьми и другими собаками. Однако в случае, если несколько клиентов с собаками в одно время посетят торговый центр, такая клетка не сможет в полной мере решить проблему. Модульная конструкция для собак, представлена на рис. 1. Ячейки для собак фиксированы и не могут быть изменены. Кроме того, данное устройство предполагает только два размера собак и может не подойти для крупных собак.

Результаты

Согласно проведенному анализу, торговым центрам и супермаркетам целесообразно предусмотреть специальные места, в которых клиенты-покупатели могли бы оставить своих питомцев на передержку. Далее будут представлены концепции устройств, обеспечивающих безопасность собак в общественных местах, (рис. 2).

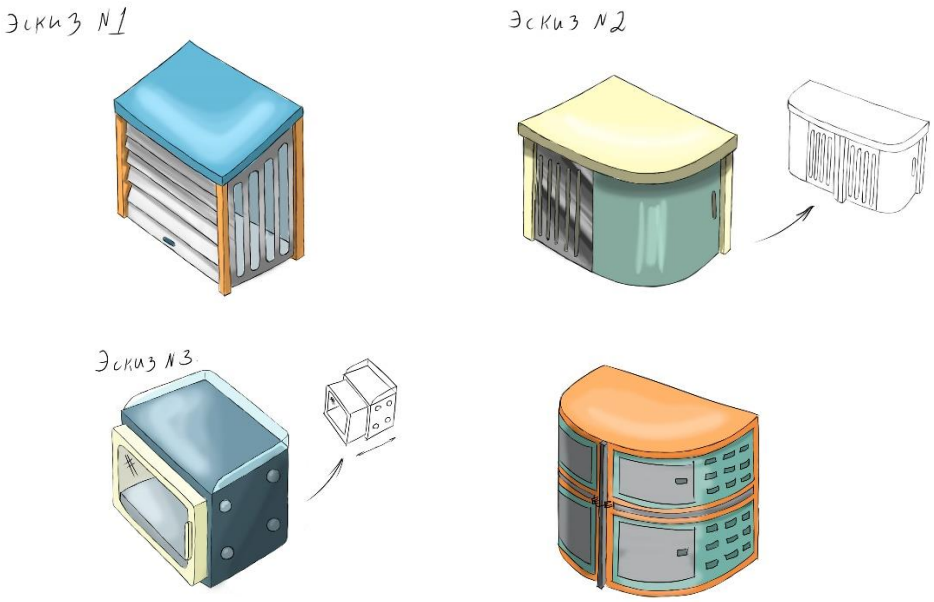


Рис. 2. Концептуальные решения устройств для безопасности собак в городской среде

Концепция, представленная на эскизе 1 вандалоустойчива, надежно крепиться к зданию, наклон крыши мешает скапливанию на ней жидкости и снега, рассчитана на пребывание 1 собаки. На втором эскизе также одноместные вольеры, которые хорошо вписываются в окружающую среду и удобно крепятся друг к другу. Третья концепция предусматривает возможность трансформации ячейки и размещение как большой, так и маленькой собаки, благодаря выдвижной части, также такие боксы можно легко устанавливать друг на друга. Последний 4 эскиз представляет из себя модульную конструкцию, в нее можно поместить четырех небольших собак и при необходимости извлечь вертикальную и горизонтальную плашки, благодаря чему устройство трансформируется в одноместное для собаки крупных габаритов.

При заказе такого устройства торговый центр должен учитывать:

- имеющееся свободное пространство, на котором можно его разместить;
- максимальное количество клиентов с собаками, которые одновременно посещают торговый центр в часы наибольшей нагрузки в будни или выходные;
- размеры собак этих клиентов.

Заключение

В рамках данной работы были представлены концептуальные решения устройств для собак, которые направлены на решение проблемы посещения клиентами-покупателями и владельцами домашних собак торговых центров и супермаркетов, в которые запрещен вход с питомцами. Все предложенные устройства для собак могут размещаться на улице около торгового центра и позволяют владельцам оставлять собак, не беспокоясь об их сохранности, и отправляться в торговый центр и совершать покупки. Разработанные конструкции дают возможность торговому центру максимально эффективно использовать окружающее пространство и варьировать размер в зависимости от размеров собак, которых требуется разместить, либо же подходят большему числу собак.

В работе описан процесс действий торгового центра по определению размера и формированию заказа на покупку. Этот дизайн проект решает проблему передержки собак для клиентов посетителей торговых центров, за исключением редких отдельных случаев (чрезвычайно агрессивные собаки, пугающие животных в соседних ячейках или очень пугливые собаки, которые не готовы остаться без хозяина в новом месте).

Список использованной литературы

1. Колесова Е. 5 животных, которых россияне все чаще заводят в квартирах // РБК Life: сайт. – 2023. – [Электронный ресурс]. – URL: rbc.ru/life/news/64b1297b9a7947244189d843.

2. Классификация пород собак по размерам и другим критериям // Kinpet: сайт. – 2022. – [Электронный ресурс]. – URL: kinpet.ru/klassifikatsiya-porod-sobak-po-razmeram-i-drugim-kriteriyam-/ (дата обращения 12.04.2025).

3. Классификации пород собак // Керн-терьеры LSq: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: cairn-l-squire.ru/publ/o_raznom/klassifikacii_porod_sobak/7-1-0-30 (дата обращения 12.04.2025).

4. Размеры собак: породы // Petsik.ru: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: petsik.ru/breedschar-size.html (дата обращения 12.04.2025).

5. Coren S. The Intelligence of Dogs: A Guide To The Thoughts, Emotions, And Inner Lives Of Our Canine Companions. – New York : Bantam Books, 1995. – 271 p.

6. Гипоаллергенные собаки: ТОП-30 пород для аллергиков // PetStory: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: petstory.ru/knowledge/dogs/dog-adoption/gipoallergennye-sobaki-top-30-porod-dlya-allergikov/ (дата обращения 12.04.2025).

7. Шевцев Н. Выбираем друга по темпераменту: списки самых активных и самых ленивых пород собак // TechInsider: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: techinsider.ru/science/1548039-samye-aktivnye-i-samye-lenivye-porody-sobak-spisok/ (дата обращения 12.04.2025).

8. Вся правда о потоотделении собак // Petshop.ru: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: petshop.ru/articles/the-whole-truth-about-the-perspiration-dogs/ (дата обращения 12.04.2025).

ДИЗАЙН И ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОДУКТОВОЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ СУМКИ

Годунова А.Е.[1], Кухта М.С.[2]
Научный руководитель: Кухта М.С.
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, гр. 8Д11, E-mail: aeg19@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТ, профессор, E-mail: kuhta@tpu.ru

Аннотация

Данная статья рассматривает особенности дизайна и подбор цветового сочетания для хозяйственной сумки для пожилых людей, с учетом их возрастных физиологических изменений и предпочтений. В статье исследованы физиологические особенности цветового восприятия у пожилых людей и рассмотрена литература об их цветовых предпочтениях, также предложено проектное решение дизайна двух коробов хозяйственной сумки и два варианта колористических решений.

Ключевые слова: хозяйственная сумка, колористическое решение, пожилые люди, восприятие цвета.

Введение

В условиях современного мира, где повседневный ритм продолжает стремительно увеличиваться, вопросы мобильности и комфорта приобретают особую значимость для пожилых людей. Часто пожилые люди сталкиваются с трудностями при переноске тяжелых пакетов с продуктами, особенно когда необходимо преодолеть значительные расстояния или подняться по ступенькам. Складная хозяйственная сумка эффективно снижает нагрузку на спину и руки, минимизируя риск получения травм и усталости. Одной из наиболее удачных инноваций в решении этих задач может стать складная хозяйственная сумка на колесах. Этот практичный инструмент способен существенно облегчить жизнь пенсионеров, предоставляя им возможность оставаться активными и независимыми.

Основная часть

Разрабатываемая хозяйственная сумка предназначена для использования преимущественно пожилыми людьми, поэтому, чтобы создать привлекательный продукт для целевого потребителя важно учесть его предпочтения и особенности восприятия. Для проектирования подходящего дизайна сумки, обратимся к исследованиям цветовых предпочтений пожилых людей, рассмотрим физиологические изменения в восприятии цвета и фактуры с возрастом, проведем анализ полученной информации и применим образованные выводы к дизайну хозяйственной сумки.

В России проживают более 35,2 миллиона людей старшего возраста, из них более 41 процента граждан 60-64 лет трудоустроены. Из общего числа представителей старшего поколения 55 процентов – люди в возрасте от 60 до 69 лет, 45 процентов – старше 70 лет. Без малого 63 процента пожилых людей – женщины. Данные актуальны на момент октября 2024г. Беря во внимание глобальную тенденцию старения населения, а также статистику пожилого возраста, можно сделать вывод о том, что основным потребителем разрабатываемого продукта являются женщины преклонного возраста, которых больше в процентарном отношении. Поэтому при разработке оптимального дизайна и подборе цветовых сочетаний стоит ориентироваться на предпочтения именно этой группы населения.

1. Физиологические изменения и восприятие цвета

Старение организма приводит к ухудшению функциональности всех органов. Глаза не являются исключением. Зрение пожилых людей ухудшается не только в связи с естественными процессами, проходящими в организме. Многие хронические болезни провоцируют ухудшение зрения. В результате комплекса причин, глазные структуры

изменяются. Картинка, которую видят престарелые люди, значительно отличается от той, которая предстаёт перед молодёжью и людьми среднего возраста. С возрастом она затуманивается, теряет яркость и резкость. Возрастные заболевания глаз дают о себе знать. Это обусловлено такими процессами, как уменьшение размера зрачков; сужение поля зрения; дегенерация жёлтого пятна; изменение количества жидкости, увлажняющей глаза; отслоение стекловидного тела.

Исходя из того, что возрастные изменения тканей глаза имеют линейную динамику, можно смоделировать возрастные изменения цветовосприятия в пожилом и старческом возрасте. На рисунке 1 приведена схема из исследования Й. Танака, которая показывает, как с возрастом меняется восприятие голубого, желтого, умеренного красного и сине-зеленого цветов. Из-за пожелтения линзы пожилые люди видят голубой, красный и желтый цвета более темными, а светлый сине-зеленый воспринимают как тёмный зелёный [1].

Рис. 1. Восприятие голубого, желтого, умеренного красного и сине-зеленого цветов (слева) людьми пожилого возраста (справа) (модель Танака)

С возрастом меняется и восприятие цветовых сочетаний, в соответствии с рисунком 2 слева. Из-за того, что у пожилых людей снижается способность воспринимать синие и голубые оттенки, красный они видят, как коричневый, а жёлтый – как оранжевый, многие цвета кажутся им почти одинаковыми, сливаются друг с другом и становятся неразличимыми, как показано на рисунке 2 справа [2].

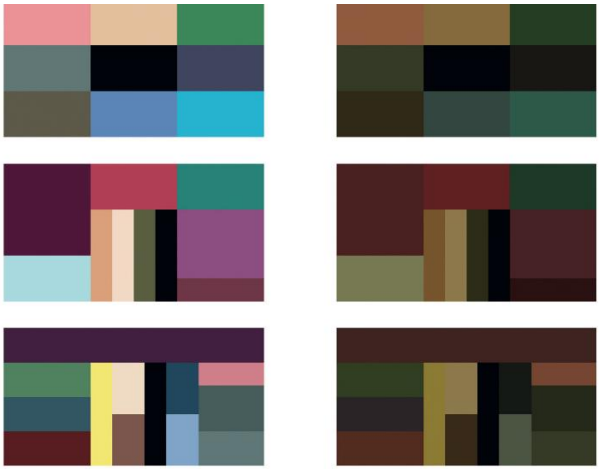


Рис. 2. Восприятие цветовых сочетаний (слева) людьми пожилого возраста (справа) (модель Танака)

Зрачки пожилых людей меньше сужаются в ответ на интенсивность цвета, особенно в зелёных и пурпурных оттенках, что указывает на снижение чувствительности к яркости. По мере взросления мозг становится менее чувствительным к интенсивности цветов в окружающем нас мире. Цвета медленно тускнеют с возрастом, что может объяснить смену цветовых предпочтений. Это, например, даёт возможность предположить, почему некоторые пожилые люди предпочитают одеваться в яркие цвета.

Причем необходимо отметить тот факт, что снижение чувствительности цветового восприятия происходит с неодинаковой скоростью для разных цветов. Так, зрительная чувствительность к желтому цвету после 50 лет практически не изменяется, мало изменяется она и к пурпурному, тогда как к красному, зеленому и синему цветам падает много быстрее, чем к первым.

1. Научные исследования цветовых предпочтений пожилых людей

Психологами установлено, что цвет влияет на наше сознание, настроение, физическую и умственную деятельность, он также идентифицирует социальный статус человека и его гендерную принадлежность. Исследования с использованием методик швейцарского психолога Макса Люшера подтвердили, что пожилые люди чаще выбирают зелёный, сине-голубой и красно-фиолетовые оттенки, избегая темных тонов [3].

Согласно исследованию цветовых предпочтений людей пожилого возраста, данная категория населения в большей степени предпочитает синие, голубые и зеленые оттенки; в меньшей степени предпочтительны пастельные цвета, бежевый и белый, а также разноцветные сочетания. Черный цвет и темные оттенки являются наиболее отвергаемыми [4].

Физиологические изменения цветового зрения в пожилом возрасте (помутнение и уплотнение хрусталика, снижение остроты зрения и др.) приводит к предпочтению в жилом интерьере светлых, хорошо отражающих свет оттенков, прежде всего желтых и белых. Яркие краски в совершенных цветовых решениях практически полностью отсутствуют. В насыщенных оттенках пожилые люди видят что-то вульгарное и раздражающее. При выборе цветов для оформления помещения доминируют пастельные оттенки [5].

Наиболее предпочтительными тонами пожилых участников эксперимента о предпочтительных цветах для фасада дома оказались красно-фиолетовый, зеленый и зеленовато-синий. Среди абстрактных предпочтений более молодых участников доминировали фиолетовый и синий [6].

Цветопредпочтение людей пожилого и преклонного возраста в значительной степени определяется их эмоциональным и физическим состоянием. Поскольку этот период представляет собой заключительный этап жизни, угасание активности и желание покоя – все это объясняет цветовой выбор людей данной категории, которые в большинстве случаев предпочитают серые, коричневые цвета либо тусклые оттенки других цветов. Они выбирают цвета, не обладающие какой-либо активностью. Именно эти цвета являются гармоничными их внутреннему состоянию. Это не просто устои общества, но и сами пожилые люди говорят о том, что в этих цветах они ощущают себя гораздо спокойней. В этот период жизни цвет является дополнительным визуальным успокаивающим средством и стабилизатором нервной системы. Есть и обратные примеры того, когда люди пожилого возраста одеваются в жизненные цвета и ощущают себя как 30-тилетние и выглядят моложе своих лет. Поэтому в данном случае речь идет не только о биологическом возрасте человека, но и о его внутреннем возрастном самоощущении и самовосприятии [7].

65% женщин старшей группы населения предпочитают классический стиль одежды. Для 48% женщин данной возрастной категории главным мотивом приобретения того или иного изделия является удобство в эксплуатации [8].

2. Практические рекомендации, выводы, результаты исследования

В ходе изучения литературы и материалов по теме, были составлены следующие требования к проектируемому дизайну хозяйственной сумки:

1. Наличие регулируемых элементов, которые позволяют адаптировать продукт под параметры потребителя, с учетом его нужд, например, регулируемые по длине ремни на коробах для продуктов. Это обеспечит удобство переноса короба на себе, вне складной рамы в момент, когда это необходимо [9].

2. Безопасность эксплуатации является важным аспектом любого промышленного изделия, и в особенности, когда ее потребителем является столь нежная и уязвимая

категории населения. Причем, стоит отметить, что безопасность здесь подразумевается сразу в двух направлениях: безопасность и удобство эксплуатации для потребителя, например, обеспечение для слабовидящих людей компенсирующие цветовые сочетания, наличие застежек, кнопок и замков, учитывающих трудности с мелкой моторикой пожилых людей.

3. Другое направление безопасности, в контексте хозяйственной сумки – минимизация рисков кражи личных вещей потребителя. Это может быть реализовано путем внедрения скрытых и потайных карманов, отделений, предназначенных для особо ценных предметов. При соблюдении обоих принципов и направлений безопасности для хозяйственной сумки, важно удерживать баланс между ними, чтобы одно направление не мешало и не перебивало другое.

4. Для обеспечения удобства при эксплуатации сумки, необходимо предусмотреть наличие различных карманов для размещения мелочей, с учетом основных потребностей целевой аудитории, таких как ключи от дома или машины, средства личной гигиены (носовой платок, салфетки, гигиеническая помада, крем, часто применяемые медикаменты), средства связи, кошелек, документы и другие. Такие вещи должны располагаться в быстром доступе, соответственно карманы для них должны быть под рукой, но вместе с тем должны быть защищены от возможных краж или утери по невнимательности.

5. Цвет материала внутреннего подклада сумки следует сделать нейтральным, таким, чтобы на его фоне четко и ясно различались лежащие внутри предметы.

6. Элементы, с которыми происходит непосредственное взаимодействие в процессе эксплуатации (кнопки, замки, верхний край карманов) должны визуально выделяться на фоне цвета сумки и контрастировать с ним. Это обеспечит быструю и легкую визуальную ориентацию, особенно в тех случаях, если пользователь забыл куда положил вещь [10].

7. Важным аспектом в удобстве эксплуатации является простота доступа к различным частям сумки в тех случаях, когда требуется очистка различных загрязнений.

8. Не во всех обстоятельствах есть возможность перевозить продукты в сумках в закрепленном к раме виде, иногда приходится переносить коробы самостоятельно, отдельно от каркаса с колесами. В таком случае важно снизить возможную нагрузку, что может быть реализовано в виде наличия дополнительных лямок на сумке, которые бы позволили переносить ее, как рюкзак, на спине. Эти элементы могут быть «спрятаны» в отдельный отсек, который закрывается и не мешает при стандартном использовании. Таким образом можно снизить нагрузку на позвоночник при транспортировке тяжестей вне каркаса с колесами.

9. Поскольку основное предназначение хозяйственной сумки – это поход в магазин или на рынок за продуктами, то такой элемент, как разделительные перегородки, мог бы упростить процесс раскладывания разногабаритных продуктов внутри сумки. Например, можно предусмотреть разделение на отсеки, основываясь на основных продуктах потребительской корзины пожилого человека (хлеб, овощи, молоко, яйца, сыр, колбаса, бакалея, бытовая химия) Разделение на отсеки под разные продукты сделает процесс покупок более структурированным, поможет не забыть что-то необходимое и предотвратит повреждение мягких продуктов более жесткими.

10. Также важно общее впечатление и ощущение от хозяйственной сумки, которое во многом зависит не только от визуальной составляющей, но и от тактильных ощущений. Таким образом, необходимо создать у основного потребителя ощущения уверенности, спокойствия, надежности и уюта, которые в особенности важны для старшей группы населения. Например, чувство уюта ассоциируется с мягкой и теплой на ощупь поверхностью. Также тактильно могут отличаться разные функциональные элементы, что упрощает ориентацию слабовидящих. При этом тактильно приятные материалы должны оставаться простыми в уходе.

11. Касательно колористического решения: стоит избегать ярких и темных цветов, которые могут вызывать чувство тревоги и быть плохо различимыми, но отдавать предпочтение светлым пастельным тонам и более холодной цветовой гамме – синим и зеленым оттенкам.

Таблица 1. Подбор оптимальных колористических решений с учетом физиологических особенностей пожилых людей

Колористическое решение 1		Колористическое решение 2		
Акцент	**Основной цвет**	**Акцент**	**Основной цвет**	
				Желаемое цветовое сочетание
				Видимое пожилым человеком цветовое сочетание
				Скорректированное цветовое сочетание
				Увеличенный контраст в цветовом сочетании
				Видимое пожилым человеком цветовое сочетание с увеличенным контрастом (близкое к желаемому)

12. По итогу изученных материалов и выдвинутых требований была составлена матрица оптимальных колористических решений, таблица 1, на которой представлено два колористических решения, составленные двумя оттенками – основным цветом, который предполагается для внешней отделки, и акцентным цветом, который предполагается применять для фурнитуры и функциональных деталей, как карманы. В качестве основных цветов были выбраны голубой и зеленый, так как эти оттенки наиболее предпочитаемы пожилой аудиторией, основываясь на исследованиях. В первой строке таблицы размещены начальные оттенки, к которым стремится итоговый результат. Во второй строке размещены те оттенки, которые могут быть видимы пожилым человеком с ослабленным зрением. В третьей строке размещены скорректированные оттенки, более светлые, в которых снижен эффект замутнения. В четвертой строке увеличен контраст между основным и акцентным оттенками из третьей строки. В пятой строке размещены оттенки из четвертой строки, которые могут быть видимы пожилым человеком, приближенные к желаемому результату.

13. Также были созданы эскизные решения верхнего и нижнего коробов для разрабатываемой конструкции хозяйственной сумки, рисунки 3 и 4. Разработанные эскизные решения учитывают подавляющее большинство из выдвинутых к разработке требований, включая скрытые лямки для переноса короба на спине, контрастные функциональные элементы, наличие множества разных карманов и отделений, разделение на отсеки для разных продуктов.

Рис. 3. Эскизное решение для верхнего короба хозяйственной сумки в двух колористических решениях и с разных ракурсов

Рис. 4. Эскизное решение для нижнего короба хозяйственной сумки

Заключение

В результате работы были изучены физиологические особенности восприятия цветов пожилыми людьми, а также их предпочтения. На основе полученных выводов о приоритетности холодных сине-зеленых оттенков и других потребностей целевой аудитории, разработано дизайнерское решение по оснащению и структуре коробов хозяйственной сумки, а также предложено два варианта цветовых сочетаний, которые учитывают не только физиологические особенности цветового восприятия пожилых людей, но и визуальную эргономику, что может упростить взаимодействие с сумкой для людей с ослабленным зрением, так как функциональные элементы контрастируют с основным цветом, подобранным для внешнего материала такого аксессуара, как хозяйственная сумка.

Список использованных источников

1. Tanaka Y., Tanaka K., Yokoyama S., Nakamura H., Ichikawa K., Tanabe S. An improved imulation method of color perception by elderly people based on measured luminescence spectrum and color constancy relaxation // Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan. – 2011. – Vol. 40, No 1. – P. 86-95.
2. Hassan M.F., Kugimiya T., Tanaka Y., Tanaka K., Paramesran R. Comparative analysis of the color perception loss for elderly people // Proceedings of APSIPA Annual Summit and Conference. Hong Kong: IEEE. – 2015. – P. 1176-1181.
3. Цветовая коммуникация в пожилом и старческом возрасте: учебная тетрадь / под ред. Ю.А. Грибер. – М.: ООО «Издательство «Согласие», 2019. – 48 с.
4. Папко З.С., Шатохина В.А., Степанова М.Е. Психологическое исследование цветовых предпочтений людей пожилого возраста (констатирующий эксперимент) / Министерство социальной политики Нижегородской области, Государственное бюджетное учреждение «Областной комплексный центр социального обслуживания населения». – Нижний Новгород, 2025. – 14 с.
5. Грибер Ю. А., Самойлова Т. А., Двойнев В. В. Цветовые предпочтения пожилых людей в различных типах жилого интерьера // Урбанистика. – 2018. – №4. – [Электронный ресурс]. – URL: cyberleninka.ru/article/n/tsvetovye-predpochteniya-pozhilyh-lyudey-v-razlichnyh-tipah-zhilogo-interiera (дата обращения: 23.12.2024).
6. Грибер Ю. А., Самойлова Т. А. Геронтологическая специфика цветовых предпочтений, связанных с выбором цвета фасада жилого дома // Урбанистика. – 2018. – № 3. URL: cyberleninka.ru/article/n/gerontologicheskaya-spetsifika-tsvetov yh-predpochteniy-svyazannyh-s-vyborom-tsveta-fasada-zhilogo-doma (дата обращения: 24.03.2025).
7. Мишенькина Е. В. Возрастные особенности цветопредпочтения и взаимодействие цвета и возраста человека // Ярославский педагогический вестник. – 2005. – № 3. – [Электронный ресурс]. – URL: cyberleninka.ru/article/n/vozrastnye-osobennosti-tsvetopredpochteniya-i-vzaimodeystvie-tsveta-i-vozrasta-cheloveka (дата обращения: 03.01.2025).
8. Абилкаламова К.К., Нарибаева Э.К., Влияние возрастных изменений в потребительских предпочтениях с целью проектирования одежды для женщин пожилого возраста // Национальная ассоциация ученых. – 2015. – № 2-3 (7). – [Электронный ресурс]. – URL: cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vozrastnyh-izmeneniy-v-potrebitelskih-predpochteniyah-s-tselyu-proektirovaniya-odezhdy-dlya-zhenschin-pozhilogo-vozrasta (дата обращения: 04.01.2025).
9. Бекк Н.В., Евсеева Л.П., Тихонова Н.В., Смирнов А.С. Инновационные решения по конструкции и дизайну сумок-контейнеров // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 24. – [Электронный ресурс]. – URL: cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-resheniya-po-konstruktsii-i-dizaynu-sumok-konteynerov (дата обращения: 27.01.2025).
10. Бекк Н.В., Черенкова С.С., Саметова Е.В., Бекк М.В., Тихонова Н.В. Исследование конструкций и материалов для проектирования кожгалантерейных изделий для людей с ограничениями по зрению // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 7.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И РЕШЕНИЯ В ДИЗАЙНЕ ЯЩИКОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ

Бельц Р.[1], Серяков В.А.[2]
[1,] Томский Политехнический университет, ИШИТР ОАР, 8Д11, e-mail: rita1@tpu.ru
[2] Томский Политехнический университет, ИШИТР ОАР, доцент, e-mail: seryakov@tpu.ru

Аннотация

В статье рассматриваются основные проблемы, связанные с дизайном ящиков для транспортировки овощей и фруктов, включая повреждения продукции, недостаточную вентиляцию и неэффективное использование пространства. Предлагаются решения, направленные на оптимизацию конструкции ящиков, улучшение защиты продуктов и повышение их транспортировочной эффективности, что способствует снижению потерь и увеличению качества продукции.

Ключевые слова: Ящики, дизайн, транспортировка, упаковка, эффективность.

Введение

Транспортировка фруктов и овощей играет важную роль в логистической цепи, которая напрямую влияет на сохранность и качество продукции. Эффективная упаковка, в частности, дизайн ящиков для транспортировки, играет решающую роль в минимизации потерь и обеспечении безопасности продуктов на всех этапах логистической цепи. Однако, несмотря на значительные достижения в области упаковочных технологий, проблемы, связанные с дизайном ящиков, остаются актуальными и также требуют внимания.

Современные ящики для транспортировки, в частности, ящики, которые используются для транспортировки скоропортящихся продуктов, должны учитывать множество факторов, включая механическую прочность, вентиляцию, защиту от повреждений и влияние внешней среды. Неправильный выбор материалов и конструктивных решений может привести к значительным экономическим потерям, а также ухудшению качества продукции, что, в свою очередь, негативно сказывается не только на потребительском спросе, но и на репутации производителей [1].

В данном исследовании ставится цель исследовать и оценить ключевые проблемы дизайна ящиков для транспортировки фруктов и овощей, а также предложить возможные пути решения этих проблем через внедрение новых материалов и технологий и оптимизацию конструктивных элементов ящиков.

Проблемы в дизайне ящиков для транспортировки

При проведении исследования было выявлено несколько проблем, которые важно проработать, прежде чем приступать к разработке объекта. Одной из основных проблем, с которыми сталкиваются производители ящиков, является недостаточная прочность упаковки, то есть неправильный выбор материалов, в следствии чего происходит деформация или поломка под действием значительных нагрузок при транспортировке.

Второй важной проблемой является обеспечение хорошей вентиляции внутри ящиков, так как при неправильном расположении вентиляционных отверстий и недостатке воздухообмена происходит гниение продукции.

Экономическая целесообразность также является значимым аспектом в дизайне ящиков для транспортировки. Высокая стоимость материалов или затратные производственные процессы могут привести к увеличению конечной цены упаковки [2].

Необходимо учитывать экологические проблемы, связанные с использованием упаковочных материалов. Наиболее распространёнными являются деревянные ящики, которые, как правило, используются однократно и затем утилизируются, что в свою очередь

способствует вырубке лесов. По данным Рослесхоза, в России ежегодно вырубается около 200 млн кубометров леса, [3]. при этом средний период роста тополя составляет примерно 40-60 лет [4]. Пластиковые неразборные ящики также подвержены утилизации после однократного использования, так как их повторная эксплуатация оказывается экономически нецелесообразной для перевозчиков.

Решение дизайн-проблем ящиков для транспортировки

Решением выявленных проблем в области дизайна упаковочных материалов является разработка концептов ящиков для транспортировки, направленных на устранение указанных недостатков. Основная идея заключается в создании полностью разборных ящиков, которые собираются методом конструктора, что исключает необходимость использования гвоздей и клея. В качестве основного материала был выбран полипропилен, обладающий рядом преимуществ: он легкий, может быть использован многократно и не впитывает запахи, что делает его более предпочтительным по сравнению с древесиной.

Концепт ящика № 1 Разборная конструкция

Конструкция ящика основана на принципах модульности и эргономики, что позволяет пользователю легко собирать и разбирать его без использования гвоздей или клея (рис. 1). Такой подход обеспечивает высокую степень удобства при эксплуатации и минимизирует затраты на сборку.

Ящик оснащён дополнительными вентиляционными отверстиями, которые обеспечивают оптимальную циркуляцию воздуха внутри контейнера. Это важно для сохранения свежести продуктов, так как предотвращает накопление влаги и развитие плесени, способствуя поддержанию необходимых условий хранения.

Кроме того, конструкция ящика включает специальный паз для установки перегородок. Это позволяет гибко организовывать внутреннее пространство ящика в зависимости от типа и объёма хранимых товаров. Перегородка может быть легко установлена и снята, что делает ящик универсальным инструментом для хранения различных категорий продукции.

Форма ящика разработана с учётом возможности штабелирования, что позволяет эффективно использовать пространство как при хранении, так и при транспортировке. Конструкция обеспечивает стабильность и безопасность при укладке ящиков друг на друга, минимизируя риск повреждения содержимого.

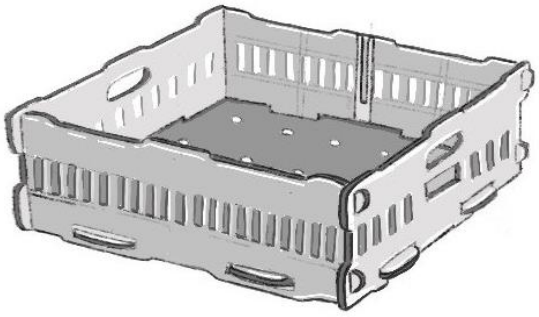


Рис. 1. Концепт разборного ящика для транспортировки № 1

Концепт ящика № 2 Складывающаяся конструкция

Конструкция ящика второго концепта включает в себя интегрированный механизм, который позволяет пользователю легко и быстро разбирать и собирать ящик, что существенно упрощает процессы хранения и транспортировки (рис. 2). Основной особенностью данного ящика является система активации, основанная на нажатии кнопок, которые расположены на двух противоположных бортах. При активации этой системы борт ящика опускается, что позволяет пользователю без усилий изменить конфигурацию контейнера.

Вентиляционные отверстия, предусмотренные в дизайне ящика, играют важную роль в поддержании оптимальных условий хранения. Отверстия способствуют эффективной циркуляции воздуха внутри контейнера, что особенно актуально для хранения продуктов, подверженных гниению или порче. Обеспечение хорошей вентиляции предотвращает накопление влаги и развитие микроорганизмов, тем самым продлевая срок хранения содержимого.

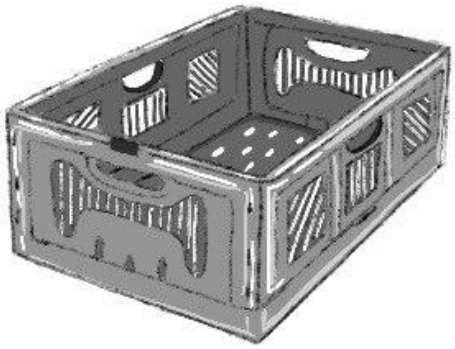


Рис. 2. Концепт разборного ящика для транспортировки № 2

Концепт ящика № 3 Разборная конструкция

В конструкции третьего ящика был использован метод пазов под откосом, что делает более прочным и устойчивым под физическими воздействиями (рис. 3). Его конструкция также основана на модульном принципе, что позволяет осуществлять его сборку и разборку без использования гвоздей и клея, обеспечивая тем самым высокую степень удобства и повторного использования.

Ящик оснащен большим количеством вентиляционных отверстий, которые способствуют циркуляции воздуха. Специальная форма ящика была разработана с учетом возможности штабелирования, что позволяет эффективно использовать пространство при хранении и транспортировке, обеспечивая стабильность и безопасность штабелей. Конструкция способствует равномерному распределению нагрузки, что минимизирует риск деформации ящиков при их штабелировании.

Кроме того, такие ящики многофункциональны, поскольку обеспечивают не только удобство перевозки, но и хранения и организации пространства, например, в качестве презентабельных стендов в супермаркете.

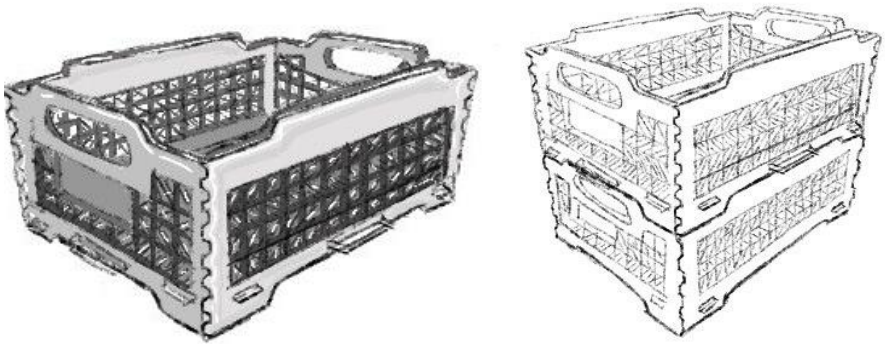


Рис. 3. Концепт разборного ящика для транспортировки № 3

Экспертная оценка

Для выбора наиболее удачного концептного варианта была проведена экспертная оценка. Эскизные решения были направлены в отдел логистики ООО «Камелот-А» - дочерней компании ООО «КДВ-Групп» в г.Томск, которая занимается организацией поставок в сети магазинов «Ярче!».

Представитель оценил идею использования таких ящиков для транспортировки, а более перспективными вариантами им показались второй и третий концепты. Простота дизайна второго варианта, а возможность штабилирования и использования пазов третьего. Также были даны комментарии, которые следует взять на разработку:

1. Эстетика и брендинг: ящики могут быть выполнены в различных цветах и разных размеров, и с возможностью нанесения логотипов или другой графики.
2. Многофункциональность: добавление крышки – для организации стеллажа.
3. Себестоимость изделия.
4. Возможность использования перегородок для разных видов продукции в одном ящике.
5. Вентиляционных отверстий должно быть достаточно, но не влияло на прочность конструкции.

Заключение

В результате исследования был выявлен ряд значительных проблем, связанных с существующими решениями в области ящиков для транспортировки овощей и фруктов, включая недостаточную вентиляцию, низкую прочность материалов и ограниченные возможности для повторного использования. Эти проблемы могут негативно сказаться на качестве продукции и привести к экономическим потерям как для производителей, так и для потребителей.

Предложенные эскизные решения, основанные на современных технологиях и материалах, направлены на устранение указанных недостатков. Были представлены новые концепции, которые обеспечивают оптимальную защиту продуктов, улучшают их сохранность и позволяют сократить уровень потерь при транспортировке.

Полученные отзывы от компании о разработанных решениях подтвердили их актуальность и жизнеспособность. Однако также были озвучены рекомендации по доработке некоторых аспектов, таких как улучшение эстетического внешнего вида и многофункциональности, удобство использования, а также увеличение их устойчивости к механическим повреждениям.

Таким образом, исследование не только выявило ключевые проблемы в дизайне ящиков для транспортировки, но и предложило конкретные пути их решения. Результаты данной работы станут основой для дальнейших исследований и разработок в области упаковки, способствуя повышению эффективности логистических процессов и улучшению качества продуктов на рынке.

Список использованных источников

1. Правила перевозки овощей и фруктов // ТТМ Центр: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: ttm-centr.ru/pravila-perevozki-ovoshhej-i-fruktov-kak-transportiruyut-produkty-rastitelnogo-proishozhdeniya/ (дата обращения: 27.01.2025).

2. Марченко И.В., Старченко О.П. Технология тары и упаковки : Учебно-методическое пособие. – Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2014. – С. 6-7.

3. Сколько леса в 2024 году // Сохрани лес: сайт – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: goo.su/e9Y6fKl (дата обращения: 27.01.2025).

4. Тополь // Википедия, свободная энциклопедия: сайт – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: goo.su/IjZ6iG (дата обращения: 27.01.2025).

СПОСОБЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ

Бородачева Т. Д. [1], *Шкляр А.В.* [2]
[1]*ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8Д11, e-mail: tdb3@tpu.ru*
[2]*ТПУ ИШИТР ОАР, доцент, e-mail: shklyarav@tpu.ru*

Аннотация

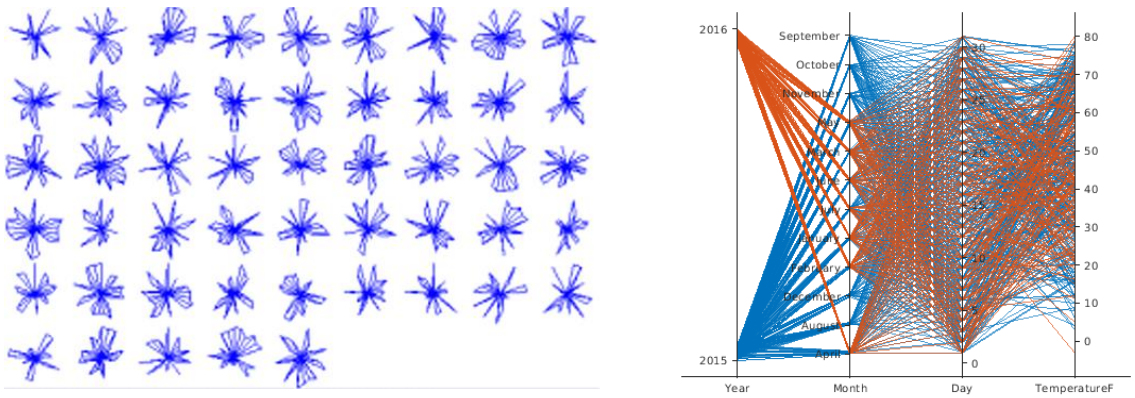
В работе рассматривается проблема визуализации сложных для анализа человека многомерных данных, а также предлагается альтернативный подход к демонстрации характеристик систем и объектов через использование единого визуального образа как многомерного массива.

Ключевые слова: многомерные данные, массив данных, визуализация, сопоставление, анализ, информация.

Введение

В современном мире наблюдается стремительный рост объема данных, что делает актуальным вопрос эффективного анализа и интерпретации многомерной информации. Визуализация такой информации упрощает её исследование за счет демонстрации множества переменных и взаимосвязей в виде упрощенных зрительных образов.

Существующие способы визуализации многомерных данных служат инструментом, который помогает преобразовать множество данных в более наглядные графические представления, доступные для восприятия и анализа, однако, каждый из них имеет ряд ограничений, связанных с особенностями сферы их применения [1]. Способы, фиксирующие в едином визуальном представлении большое количество данных об объекте, зачастую трудно применимы для задач сопоставления и выявления скрытых закономерностей. Помимо этого, получаемые графические образы являются специфичными, что определяет необходимость наличия узконаправленных знаний для их интерпретации и оценки. Подобными способами визуализации являются: диаграммы-радары, диаграммы с параллельными координатами [2]. На рисунке 1 представлены примеры таких диаграмм.



а) *б)*

Рис. 1. Пример визуализации данных с помощью:
а – множества диаграмм-радаров, б – диаграммы с параллельными координатами

Таким образом, существует потребность в создании более универсальной системы, использующей для демонстрации данных простые элементы, образующие цельный, легкий для восприятия, образ.

Основная часть

Предлагаемое решение основано на методике «Лица Чернова», где элементы, фиксирующие разные характеристики объекта, складываются в единый визуальный образ. Основная идея способа заключается в использовании различных черт лица как элементов, содержащих информацию о значении переменных. Таким образом, каждое лицо становится уникальным представителем конкретного объекта в многомерном пространстве [3]. Преимущество метода заключаются в его свойстве быстро передавать информацию за счет интуитивного восприятия лиц людьми, что облегчает интерпретацию данных. На рисунке 2 представлен пример использования «Лиц Чернова» для демонстрации уровня социально-значимых параметров, таких как доля населения за чертой бедности, распространённость высшего образования, процент безработицы и кол-во взрослых с ожирением по Соединенным Штатам Америки.

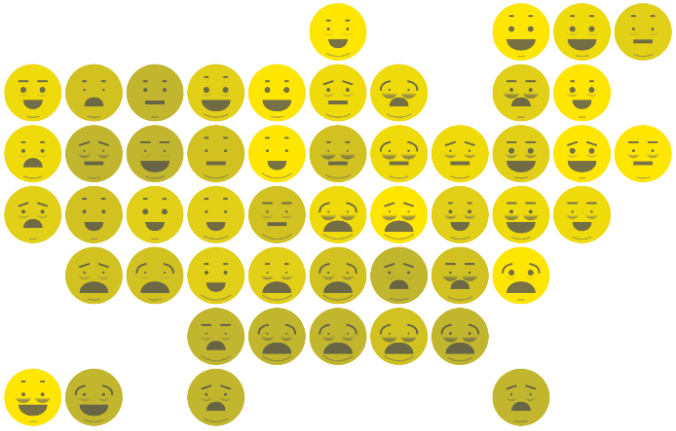


Рис. 2. Пример визуализации данных «Лицами Чернова»

Несмотря на наглядность и удобство данного способа визуализации, у него есть и особенности, не всегда положительно влияющие на процесс анализа информации. Так, число объектов доступных для оценки и сопоставления очень ограничено. При увеличении количества сравниваемых объектов, появляется необходимость в масштабировании общей схемы. В такой ситуации черты лица становятся менее распознаваемыми, что не способствует удобному сопоставлению отдельных показателей разных объектов.

Лицо является интуитивно понятным для человека образом, что эффективно применяется в описываемом способе визуализации. При этом, лица используются для демонстрации данных, напрямую связанных с человеком. Так, можно предположить, что образ лица не является универсальным, и плохо подходит для работы с данными, не описывающими состояние человека.

Колористическое решение представляет собой один цвет, тон которого изменяется от светлого к более тёмному. Цвет каждого лица показывает общее состояние объекта, резюмируя все его характеристики. Чем темнее цвет лица, тем хуже ситуация с состоянием населения. Данный прием хорошо подходит для задачи выявления объектов с лидирующей позицией, однако, не удобен при необходимости группировки объектов.

Разработанный способ визуализации многомерных данных учитывает описанные выше особенности способа визуализации «Лицами Чернова». За основу решения взят простой для восприятия образ цветка, состоящий из множества элементов, вариации которых содержат определенную информацию. Цветок может состоять из следующих элементов: лепестков – это наиболее заметная часть цветка; тычинок; стеблей; листьев. Каждый из элементов может быть представлен в разном количестве, размере и цвете. Определённое сочетание элементов и их цветов может привести к изменению восприятия образа, сделать его более привлекательным

или отталкивающим. Цветовое решение и форма элементов также могут быть адаптированы под задачи группировки и выбора среди множества.

Образ цветка уместен для подачи информации различной тематики, так как может быть интерпретирован в качестве следующих метафор:

1. Роста и развития.
2. Сезонности и перемен.
3. Надежды и возрождение.
4. Единства и разнообразия.

Для демонстрации применения разработанного способа далее в работе используются данные информационно-аналитической системы городского развития – индекс качества жизни в городах России. [4]. Индекс качества оценивает города России по стобалльной системе в одиннадцати категориях, среди которых присутствуют: доход и работа. здоровье, благоустройство, природно-экологические условия, безопасность. Каждой категории в системе визуализации присвоен свой элемент или его свойство:

1. Уровень дохода и занятости отражает количество лепестков цветка.
2. Уровень здоровья отражает размер тычинки.
3. Уровень благоустройства отражает тональность цвета цветка.
4. Природно-экологические условия отражает цвет цветка.
5. Уровень безопасности отражает форма цветка.

Для удобства демонстрации данных, стобалльная система оценивания каждого из критериев преобразована в пятиступенчатую шкалу. Таким образом, каждый из визуальных элементов иконки имеет 5 видов представления, изменяющихся по одному из свойств (размеру, форме, цвету).

На рисунке 3 продемонстрирована цветовая палитра, состоящая из градации пяти цветов (от фиолетового к зеленому) и их пяти разных тонов. Изменение цвета означает изменение уровня природно-экологических условий. Зеленый цвет – означает самый высокий уровень природно-экологических условий (от 81 до 100 %), а фиолетовый цвет – самый низкий (от 0 до 20 %). При этом, самый тусклый оттенок каждого цвета обозначает самый низкий уровень благоустройства, а самый яркий – самый высокий.

Рис. 3. Визуализация изменения уровня природно-экологических условий и благоустройства

На рисунке 4 приведено изменение формы цветка. Каждая последующая фигура, начиная с первой, имеет большее количество лепестков, чем предыдущая. Данная закономерность отражает изменение значения уровня дохода и занятости населения.

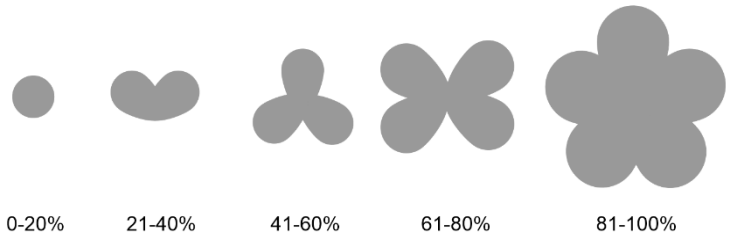


Рис. 4. Визуализация изменения уровня работы и занятости

На рисунке 5 показано изменение размера тычинки цветка. Чем больше размер тычинки, тем выше уровень здравоохранения в описываемом городе.

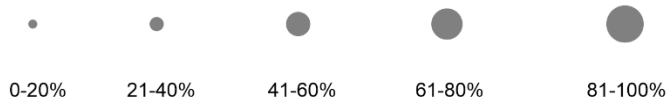


Рис. 5. Визуализация изменения уровня здравоохранения

На рисунке 6 изображен пример изменения формы лепестков цветка, отражающий уровень безопасности в городе. Чем острее и тоньше лепестки – тем более опасным является город. Округлая форма лепестков свидетельствует о высоком уровне безопасности.

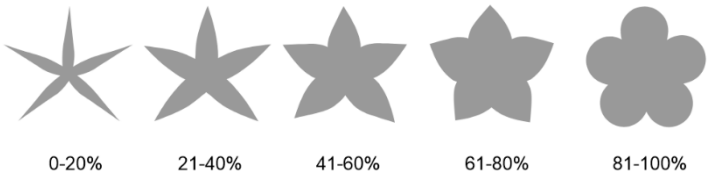
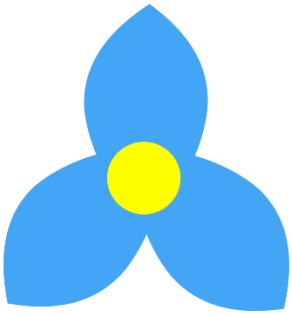


Рис. 6. Пример визуализации изменения уровня безопасности

На основе статистических данных о качестве жизни в городе Томске был составлен визуальный образ, элементы которого отображают соответствующие числовые значения по принципу, описанному выше. Изображение модели качества жизни в городе Томске показано на рисунке 7, б. На рисунке 7, а отображена та же информация, но в виде таблицы. Показатели по городу отмечены галочкой в соответствующей каждому параметру строке.

	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Работа			✓		
Здоровье			✓		
Благоустройство				✓	
Экология			✓		
Безопасность				✓	

а)



б)

Рис. 7. Пример визуализации данных о качестве жизни в городе Томске с помощью: а – таблицы; б – авторского способа визуализации многомерных данных

За счет разного подхода к визуализации многомерных данных, графические изображения на рисунках 7, а и 7, б, считываются с разной скоростью. Изображение 7, б представляет собой единый образ, и по этой причине воспринимается и анализируется быстрее. Однако, его использование удобнее в системе из подобных образов, содержащих разные значения переменных. В таких условиях становится возможным сопоставление разных объектов, а также облегчается анализ свойств каждого из них по отдельности благодаря считываемой разнице между ними. На рисунке 8, а представлена визуализация данных о качестве жизни в городе Братске в виде таблицы, а на рисунке 8, б в виде цветка.

	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Работа				✓	
Здоровье		✓			
Благоустройство		✓			
Экология		✓			
Безопасность			✓		

Рис. 8. Пример визуализации данных о качестве жизни в городе Братске с помощью: а – таблицы; б – авторского способа визуализации многомерных данных

При сравнении визуализаций на рисунке 7, б и 8, б, можно быстро заметить существенные различия по форме, размеру и цвету элементов, что говорит и о разнице показателей качества жизни в этих городах.

Заключение

Разработанный способ является альтернативным подходом к визуализации многомерных данных. За счет универсальности заложенного визуального образа, он может быть применен для представления данных разной тематики, что делает его универсальным и удобным в использовании. Вариативность элементов позволяет адаптировать способ под задачи как группировки, так и поиска выделяющегося объекта. С учетом роста количества информации, способ является актуальным и может быть применен для эффективного анализа и обработки данных.

Список использованной литературы:

1. Васильев В.Р., Волобой А.Г., Вьюкова Н.И., Галактионов В.А. Контекстная визуализация пространственных данных // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2004. – № 56. – 23 с. – [Электронный ресурс]. – URL: keldysh.ru/pages/cgraph/articles/dep20/vis_pp.pdf (дата обращения: 20.03.2025).

2. Зиновьев А.Ю. Визуализация многомерных данных. Красноярск : Изд-во КГТУ. – 2000. – 168 с.

3. Осадчая И.А., Берестнева О.Г., Немеров Е.В. Анализ многомерных медицинских данных с помощью пиктографиков «Лица Чернова». – [Электронный ресурс] – URL: cyberleninka.ru/article/n/analiz-mnogomernyh-meditsinskih-dannyh-s-pomoschyu-piktografikov-litsa-chernova (дата обращения 20.03.2025).

4. Индекс качества жизни. – [Электронный курс] – URL: citylifeindex.ru/ (дата обращения 20.03.2025).

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГАРМОНИЗАЦИИ ЗВУКОВОГО И ВИЗУАЛЬНОГО РЯДА

Гарифуллин Ф.А.[1], Шкляр А.В.[2]
[1]ТПУ ИШИТР ОАР, гр.8ИМ42, e-mail: fag6@tpu.ru
[2]ТПУ ИШИТР ОАР., к.т.н. доцент ОАР ИШИТР, e-mail: shklyarav@tpu.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается вывод концептуальной модели гармонизации на основе кроссмодальных соответствий, а именно измеримых параметров аудио и видео составляющих. Исследование базируется на основе экспериментальных данных о соответствии звучания и визуального образа.

Ключевые слова: кроссмодальные соответствия, аудиовизуальное восприятие, коэффициент гармоничности.

Введение

Современные мультимедийные проекты объединяют различные модальности – визуальные, звуковые, иногда тактильные и др. От того, насколько согласованно и гармонично сочетаются между собой эти элементы, зависит целостность пользовательского восприятия. Дизайн, учитывающий многосенсорный опыт, должен обеспечивать оптимальное согласование стимулов разных модальностей. Иными словами, необходима **кросс-модальная гармонизация** – приведение компонентов разных чувств (например, изображения и звука) к единому выразительному замыслу. Исследования в области восприятия показывают, что соответствие между стимулами разных модальностей может улучшать когнитивную обработку: эффект кроссмодального соответствия проявляется в более быстром и точном распознавании при согласованном сочетании стимулов. В контексте цифрового дизайна это означает, что продуманная комбинация визуальных и звуковых решений способна сделать взаимодействие пользователя более интуитивным и приятным.

Понятие гармонии [1] исторически применялось в музыке и изобразительном искусстве, а позднее стало использоваться и в межсенсорном контексте, так, еще в 1940 г. мультфильм *«Fantasia»* студии Disney продемонстрировал возможность синхронного сочетания анимации и музыки, которое было воспринято как единое гармоничное целое. В современную эпоху мультимедиа задача одновременного воздействия на несколько чувств актуальна там, где важно единообразие аудиовизуального стиля. Однако достижение такой гармонии на практике сопряжено с рядом проблем, так как проектирование мультимедийных продуктов часто разделено по модальностям: визуальные элементы создаются отдельно от звуковых, что может приводить к разобщенности восприятия. Отсутствие общей «метрики» или правил для согласования цвета, формы, звука и других чувств затрудняет работу дизайнера: гармония между изображением и музыкой носит во многом интуитивный характер и опирается на субъективное мнение. Это создает риск, что при совмещении проработанных по отдельности компонентов итоговое впечатление зрителя окажется несвязным. Проблема усугубляется тем, что восприятие каждой модальности имеет свою специфику: человеческий глаз и ухо обрабатывают информацию по-разному, и прямого соответствия, подобного музыкальной гармонии (созвучие тонов), между цветами и звуками не существует в явном виде. Тем не менее, психологические исследования выявили целый ряд **кроссмодальных соответствий**. За последние десятилетия накоплено множество научных данных о таких соответствиях, но до сих пор они слабо формализованы именно в прикладных инструментах дизайна. Таким образом, существует разрыв между знаниями о восприятии и практикой мультимедийного проектирования. И выстраивается гипотеза о том, что измеримые параметры музыки (темп, громкость, тональность, спектр) могут быть сопоставлены с параметрами визуала (динамика

монтажа, колористика, форма и композиция) так, что при их согласованности возникает ощущение целостной гармонии, а при намеренном, но осмысленном контрасте – создаётся необходимый художественный эффект. В рамках данной работы будет рассмотрен процесс реализации прототипа модели на основе известных кроссмодальных соответствий. Результатом работы является визуализация модели в качестве таблицы соответствий и формулы вычисления коэффициента гармоничности кадра на основе измеримых аудио и видео параметров.

Основная часть

Модель кроссмодальной гармонизации представляет собой трёхкомпонентную структуру. На первом этапе создаётся список количественно измеримых критериев (аудио- и видеохарактеристик), а также соответствующих им эмоциональных состояний [2]. Для каждого параметра определяется диапазон значений (например, для яркости, громкости, темпа и т. д.) с привязкой к описанным настроениям (таблица 1). Это формализует эмоциональную составляющую, делая её более измеримой. В таблице представлены несколько основных значений из основной модели для визуализации параметров.

Таблица 1. Параметры и диапазоны значений

Параметр	Диапазон / Условие	Категория восприятия	Ассоциируемое настроение
Темп (BPM)	< 80	Медленный	Спокойствие, меланхолия
Темп (BPM)	> 130	Быстрый	Бодрость, возбуждение
Частота звука (Гц)	< 500	Низкая	Массивность, основательность
Частота звука (Гц)	> 2000	Высокая	Лёгкость, тревожность
Яркость (L*, V)	> 80%	Яркое	Радость, открытость
Яркость (L*, V)	< 20%	Тёмное	Уныние, напряжённость

Второй частью исследования является сопоставление критериев на основе устойчивых кроссмодальных корреляций [3]. В рамках данной структуры каждой паре соответствий были заданы коэффициенты гармоничности на основе статистических, культурных и гипотетических доказательств (таблица 2). Значения коэффициентов задаются в интервале от 0 до 1, отражая силу и достоверность взаимосвязи, при этом учитываются как статистически подтверждённые, так и реже встречающиеся корреляции, возникающие из-за культурных или индивидуальных особенностей.

Таблица 2. Кроссмодальные соответствия

Параметры	Диапазоны значений	Настроение	Тип связи	Коэффициент достоверности
Частота звука – Яркость	500–2000 Гц : 0.2–0.8 яркости	Светлое / активное	Статистическая	0.9
Громкость – Яркость	-20 до -10 LUFS ↔ яркость > 0.5	Интенсивность / сила	Структурная	0.8
Тональность – Цветовой тон	Мажор ↔ теплые, Минор ↔ холодные	Радость / грусть	Семантическая	0.75
Темп – Яркость	60–80 BPM ↔ низкая, 120+ ↔ высокая	Медитативность / возбуждение	Гипотетическая	0.55

Дополнительно в рамках данной части модели была разработана визуализация таблицы связей в формате трехмерного графа. Для визуализации были использованы библиотеки python. Результат визуализации представлен на рисунке 1.

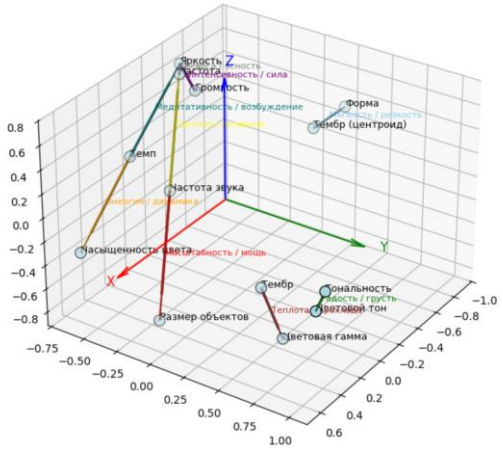


Рис. 1. Визуализация кроссмодальных связей

Третьей частью модели является общая формула для выявления итогового коэффициента гармоничности мультимедийного кадра, учитывающая соответствия, выстроенные выше. Формула опирается на взвешенный учёт параметров и коэффициентов достоверности [4]. В упрощённом виде её можно представить как сумму произведений нормированных значений параметров на соответствующие веса и коэффициенты, однако в практической реализации допустимы более сложные функции, учитывающие нелинейные эффекты или перекрёстные взаимодействия.

$$H = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i * m_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (1)$$

где H – итоговый коэффициент гармоничности (0 до 1), m_i –значение соответствия между параметрами (0 до 1), w_i – вес достоверности соответствия.

Полученный индекс гармоничности служит ориентиром при анализе эмоционально-эстетической целостности мультимедийного проекта, позволяя увидеть, насколько органично сочетаются звук и визуальный ряд или, напротив, где возникает диссонанс

Таким образом, трёхкомпонентная структура модели (список критериев и диапазонов, система кроссмодальных соответствий и формула расчёта коэффициента) предоставляет базу для более объективного анализа и проектирования гармоничного аудиовизуального контента. В дальнейшем модель может быть доработана путём расширения набора параметров и уточнения весовых коэффициентов на основе дополнительного эмпирического материала, что позволит ещё более точно предсказывать и корректировать степень согласованности различных компонентов мультимедийного произведения.

Заключение

В данной работе предложена модель, позволяющая системно подходить к задаче гармонизации разномодальных компонентов мультимедийных проектов. Модель основана на научных представлениях о кроссмодальных соответствиях и предоставляет практический инструмент для планирования и оценки мультимедийного дизайна. Применение модели дает возможность *предварительного проектирования ощущений* пользователя: еще на стадии разработки можно проверить, насколько согласованно будут работать вместе, например, визуальная анимация и звуковой фон.

Модель кроссмодальной гармонизации интегрирует результаты из психологии и нейроэстетики в понятную форму. Кроме того, требуется дальнейшая проверка модели в экспериментальных условиях: проведение пользовательских тестирований, измерение восприятия гармоничности и коррекция связей графа под конкретные аудитории (учитывая культурные различия в ассоциациях). Тем не менее, уже сейчас модель может найти применение в образовательном процессе (для обучения дизайнеров основам мультисенсорного восприятия) и в практике креативных индустрий. Она предоставляет общий язык для обсуждения решений звукорежиссеров и художников-графиков, облегчая коммуникацию в междисциплинарных командах. В конечном счете, кросс-модальная гармонизация стремится сделать цифровой опыт более человечным, интуитивно цельным. Как образно заметил М. Хаверкамп [5], идеальный синестетический дизайн сочетает общие для всех людей ощущения с индивидуальным творческим видением автора, достигая подлинной глубины воздействия. Предложенная модель является шагом к реализации этой идеальной цели – созданию мультимедийных проектов, где все элементы «звучат» согласованно и резонируют с пользователем на разных уровнях чувств.

Список используемых источников

1. Spence C., Di Stefano N. Crossmodal Harmony: Looking for the Meaning of Harmony Beyond Hearing. i-Perception, 13(1), 1–40 (2022). DOI: 10.1177/20416695211073817 (Обзор концепции гармонии в кросс-модальном контексте, примеры «цветомузыки»). [Электронный ресурс]. – URL: ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8931439/ (дата обращения: 01.01.2025)

2. Giannos K., Athanasopoulos G., Cambouropoulos E. Cross-Modal Associations Between Harmonic Dissonance and Visual Roughness. Music & Science. – 2021. – Vol. – P. 1-15. DOI: 10.1177/20592043211055484 [Электронный ресурс]. – URL: journals.sagepub.com/doi/10.1177/20592043211055484 (дата обращения: 10.02.2025)

3. Полное руководство по распознаванию и работе с эмоциями [Электронный ресурс]. – URL: training-oz.com/polnoe-rukovodstvo-po-raspoznavaniyu-i-rabote-s-emotsiyami-chast-1/ (дата обращения: 11.02.2025)

4. Андрющенко Е.А. На повышенных тонах: роль пространственного познания в кросс-модальном взаимодействии эмоциональной семантики и аудиального восприятия / Е.А. Андрющенко, Е. Н. Блинова, Ю. Ю. Штыров [и др.] // Психология. Журнал Высшей школы экономики. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 736-756.

5. Хаверкамп М. Интервью о кросс-сенсорном дизайне и синестезии восприятия. Роль синестезии в дизайне; принцип сочетания общечеловеческих и индивидуальных восприятий [Электронный ресурс]. – URL: psyjournals.ru/synesthesia (дата обращения: 20.02.2025).

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ АДАПТИВНОГО НАБОРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПИЩИ

Гузеева Е.А.[1], Хмелевский Ю.П.[2]
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, группа 8Д11, e-mail: eag42@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, ст. преподаватель, e-mail: hmelevskiy@tpu.ru

Аннотация

Данная статья рассматривает проблему доступности и удобства процесса приготовления пищи для людей с ограничением моторики верхних конечностей. Исследованы потребности и проблемы целевой аудитории в процессе приготовления пищи, разработано концептуальное решение набора кухонных принадлежностей, учитывающее эргономические, эстетические и функциональные требования.

Ключевые слова: адаптивность, универсальность, кухонные принадлежности, концепция, инклюзивный дизайн, инвалидность, эскиз.

Введение

В современном обществе все больше внимания уделяется обеспечению равных возможностей для всех граждан, включая людей с ограниченными возможностями. Одним из важных аспектов такой инклюзивной среды является доступность базовых бытовых задач, таких как приготовление пищи. Для людей с ограниченными возможностями, связанных с нарушениями опорно-двигательного аппарата, ослабленной хваткой, или другими физическими ограничениями, процесс приготовления пищи может быть сопряжен со значительными трудностями [1].

Целью данной работы является разработка концептуального решения набора адаптивных инструментов приготовления пищи, который бы отвечал потребностям и особенностям людей с ограниченными возможностями, облегчал процесс приготовления пищи и способствовал интеграции людей с ограниченными возможностями в общество, предоставляя им возможность самостоятельного независимого участия в быту.

Основная часть

Приготовление пищи – это повседневная задача, которая может стать существенным вызовом для людей с ограниченными возможностями. Для того чтобы эффективно разработать решения, направленные на облегчение этого процесса, необходимо детально изучить и понять специфические проблемы, с которыми сталкиваются эти люди. Для исследования были отобраны две основные группы лиц с ограничениями моторики верхних конечностей: группа с временными ограничениями и группа с постоянными ограничениями.

Первая группа характеризуется временным снижением функциональности одной руки вследствие травм (переломы, вывихи, растяжения), послеоперационных состояний, воспалительных процессов (артрит, тендинит) или ситуативных ограничений, связанных с уходом за младенцем (кормление). Данная группа испытывает временное ограничение подвижности, силы, и ловкости, что приводит к затруднениям при выполнении бытовых задач, в частности приготовлении пищи. Психологически, эти лица испытывают фрустрацию из-за утраты привычных навыков и стремятся к сохранению самостоятельности.

Вторая группа состоит из лиц с перманентными ограничениями моторики, обусловленными врожденными патологиями (ДЦП, аномалии развития конечностей) или приобретенными заболеваниями (инсульт, травмы спинного мозга, рассеянный склероз, ревматоидный артрит). Данные ограничения проявляются в виде паралича, пареза, слабости мышц, нарушения координации, контрактур или ампутации. Лица этой группы адаптируются к своему состоянию, стремясь к компенсации утраченных функций и сохранению независимости [2].

Универсальными потребностями обеих групп являются: обеспечение безопасности, эргономичности и функциональности при приготовлении пищи. Безопасность подразумевает предотвращение травм (порезов, ожогов), эргономичность – удобство и простоту использования, снижение нагрузки на суставы, а функциональность – эффективное выполнение ряда задач, связанных с самообслуживанием и приготовлением пищи. Дополнительно, важными критериями являются универсальность применения набора для различных видов кулинарной деятельности, простота очистки и ухода, долговечность конструкции и эстетичный внешний вид, способствующий положительному эмоциональному восприятию.

Концептуальное решение разрабатываемого набора должно учитывать специфические потребности каждой из обозначенных групп, предлагая инструменты и приспособления, максимально адаптированные к индивидуальным физическим возможностям пользователей. Необходимо, чтобы набор не только обеспечивал функциональность и безопасность, но и отличался эстетически привлекательным дизайном, не акцентирующим внимание на ограничениях, а воспринимался как удобный и стильный инструмент для приготовления пищи, способствующий повышению качества жизни.

Требования к любому разрабатываемому объекту, как правило, трактуют ГОСТы. В случае с адаптивной посудой и инструментами для приготовления пищи отсутствует какой-либо точный нормативный документ, который бы регламентировал функциональные требования, безопасность и правила эксплуатации адаптивного набора. Однако, существует ряд ГОСТов, которые так или иначе относятся к инструментам для приготовления пищи и могут быть взяты за основу для формирования собственных функциональных критериев на разработку данного адаптивного комплекта.

Адаптивный набор для приготовления пищи должен быть спроектирован таким образом, чтобы максимально упростить процесс приготовления пищи для людей с ограниченными возможностями верхних конечностей. Набор должен быть многофункциональным, простым в использовании, включать специализированные инструменты и обладать возможностью адаптации к индивидуальным потребностям пользователей с ограниченными возможностями верхних конечностей. К числу важных требований относятся: противоскользящее покрытие, увеличенные элементы управления, возможность фиксации инструментов, удобное хранение и специальные механизмы для удержания продуктов. Эти требования направлены на максимальное упрощение процесса приготовления пищи и повышение уровня независимости для данной категории пользователей [3].

Помимо перечисленных требований ключевой частью набора являются рукояти инструментов для приготовления пищи:

1. Ручки должны быть удобными для захвата различными типами хвата, учитывая индивидуальные особенности хвата человека. Возможность регулировки размера и формы ручек повышает универсальность.

2. Инструменты должны быть достаточно легкими, чтобы не вызывать утомления, но достаточно тяжелыми, чтобы обеспечить необходимую устойчивость и эффективность. Правильный баланс инструмента минимизирует напряжение в руках и запястьях.

3. Инструменты должны быть разработаны таким образом, чтобы минимизировать усилия, необходимые для их использования (например, применение механизмов, уменьшающих необходимое усилие).

4. Посуда и инструменты должны быть устойчивыми, иметь различные фиксаторы или прорезиненные поверхности, чтобы предотвратить случайные падения предметов и разливы жидкостей.

5. Инструменты должны быть интуитивно понятными и простыми в использовании, даже для людей с ограниченными когнитивными способностями.

Безопасность и гигиена являются приоритетными при разработке адаптивного набора для приготовления пищи. Конструкция должна предусматривать надежные механизмы, предотвращающие случайный контакт пользователя с горячими поверхностями. Инструменты должны обладать простой конструкцией, обеспечивающей лёгкую очистку и дезинфекцию для поддержания гигиены. Используемые материалы должны быть биосовместимыми, исключая аллергические реакции или выделение токсичных веществ при контакте с пищевыми продуктами или кожей. Для минимизации риска травм необходимо применение конструктивных решений, таких как закругленные края, защитные покрытия и сглаженные переходы. Тактильная доступность для пользователей с нарушениями зрения или моторики обеспечивается рельефной маркировкой и использованием различных текстур поверхностей для идентификации элементов на ощупь. Наконец, каждый инструмент должен обладать стильным и современным дизайном, не выделяющим набор как специализированное приспособление.

Дизайн адаптивного кухонного набора должен быть ориентирован на пользователя, обеспечивая максимальные удобство и безопасность при использовании, учитывая индивидуальные особенности и потребности людей с ограниченными возможностями. Только комплексный подход к обеспечению безопасности и долговечности, учитывающий все перечисленные требования, позволит создать адаптивный кухонный набор, который будет не только удобным, но и безопасным для использования лицами с ограниченными возможностями [4].

На основе полученных данных и сформулированных требований, которым должен соответствовать разрабатываемый набор, было представлено концептуальное решение набора для приготовления пищи в соответствии с рис. 1.

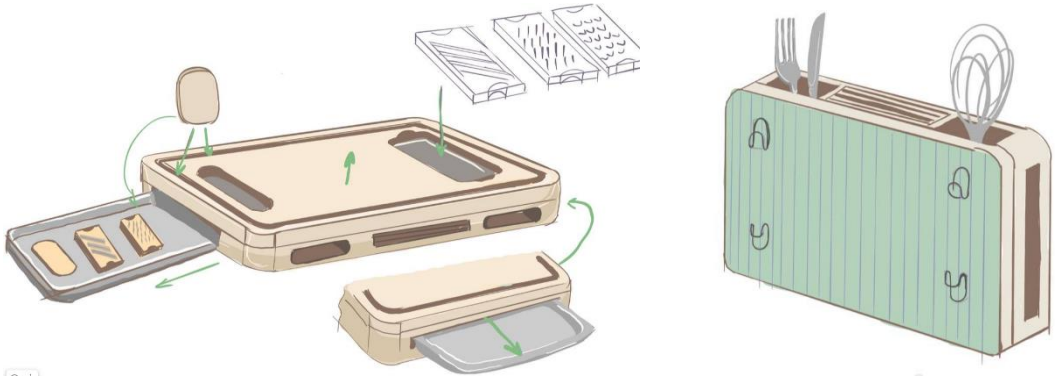


Рис. 1. Концептуальное решение адаптивного набора для приготовления пищи

Разработка концептуального решения выполнялась методом эскизирования. В контексте данного исследования процесс эскизирования является своеобразным графическим экспериментом, через который реализуются вышеупомянутые сформулированные требования к объекту. Исходя из заданных требований определяется размер, форма, цвет и общее визуальное решение разрабатываемо концепта.

Ключевым элементом набора является разделочная доска, которая выполняет множество функций, начиная от нарезки или терки, до хранения и организации кухонных инструментов. Плоскость доски имеет два отверстия: первое предназначено для сменных панелей с функционалом терки или фиксации продуктов для дальнейшей нарезки, второе- для сбора нарезанных или тертых продуктов. Под вторым отверстием находится выдвижной лоток, который позволяет легко извлечь нарезанные продукты. Если перевернуть верхнюю плоскость доски, то под ней будет место для хранения самих инструментов для приготовления пищи. На длинном торце доски имеются отверстия, служащие органайзером для кухонных принадлежностей при вертикальном расположении разделочной доски. Разделочная доска

также имеет съёмные крепежи, которые фиксируют доску на столешнице, тем самым удерживая её в неподвижном состоянии, что особенно удобно при натирании продуктов.

Также немаловажной частью набора являются рукоятки кухонных принадлежностей. Они имеют округлую симметричную форму, которая повторяет анатомические изгибы ладони, удобно ложится в руку и адаптирована для использования как правшей, так и левшей в соответствии с рис. 2. Рукоять имеет сменную рабочую часть, которая проворачивается и вытаскивается из рукояти. По такому же принципу осуществляется установка другого наконечника: вставка в рукоять, прокрутка и фиксация элемента внутри рукояти. Важным фактором является крепление рукояти к руке человека. Если рассматривать человека, у которого полностью функциональна и здорова одна рука, то он не нуждается в вспомогательных крепежах рукояти, однако, если человек имеет нарушения моторики пальцев и не в состоянии твердо держать инструмент в руке, предусмотрены специальные защелки, которые надежно фиксируют рукоять.

Рис. 2. Рукоять кухонных инструментов

Предложенное концептуальное решение набора для приготовления пищи направлено на решение выявленных проблем и удовлетворение потребностей людей с ограниченными возможностями. Эргономичный дизайн инструментов и посуды, устойчивость и безопасность материалов, удобство использования – все это способствует повышению самостоятельности, уверенности в себе и качества жизни целевой группы.

Сравнение разработанного решения с существующими аналогами показало, что предлагаемый набор обладает рядом преимуществ, таких как:

- **Комплексность**. Набор включает в себя широкий спектр необходимых кухонных инструментов, позволяющих выполнить большинство базовых задач приготовления пищи.
- **Многофункциональность**. Один набор можно использовать для приготовления пищи, хранения инструментов, и как органайзер для посуды.
- **Универсальность**. Рукояти инструментов подходят для разных групп людей с ограниченными возможностями, а также для правшей и левшей.
- **Безопасность**. Набор не имеет острых углов и опасных механизмов, он оснащен прорезиненными элементами и фиксаторами, которые уменьшают риск получения травм от падения или соскальзывания.

Заключение

Предложенное концептуальное решение набора для приготовления пищи направлено на решение выявленных проблем и удовлетворение потребностей людей с ограниченными возможностями. Эргономичный дизайн инструментов и посуды, устойчивость и безопасность материалов, удобство использования – все это способствует повышению самостоятельности, уверенности в себе и качества жизни целевой группы.

Полученные в ходе исследования данные и предложенный концепт могут быть использованы для дальнейшей разработки математически точной модели объекта и физического прототипа адаптивного набора посуды, а также для оценки его эффективности в реальных условиях.

Список использованных источников

1. Универсальный дизайн как реализация принципа равенства всех людей. – [Электронный ресурс]. – URL: koha.lib.tpu.ru/cgi-bin/koha/opac-MARCdetail.pl?biblionumber=622289 (дата обращения: 20.02.2025)
2. Инвалидность. – [Электронный ресурс]. – URL: fondzapros.ru/law/freeemerg/disability/ (дата обращения: 20.02.2025)
3. Быков А.С., Шашмурин С.А. Современные подходы в проектировании инновационного медицинского оборудования // Инновации. – 2012. – № 8. – С. 166.
4. Леонтьева М.Л. Доступная среда и универсальный дизайн глазами инвалида // Базовый курс: Практическое пособие. – 2013. – 128 с

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОСТАНОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Деньгин Д.С.[1], Давыдова Е.М. [2]
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, 8Д11, e-mail: dsd15@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, ст. преподаватель, e-mail: davydova@tpu.ru

Аннотация

Данная статья направлена на формирование разработки проекта модульного технологичного остановочного комплекса. Будут рассмотрены причины и проблемы, побудившие на зарождения данного концепта остановки общественного транспорта. А также аргументирована актуальность и необходимость в попытке создания данного проекта. Где итогом всех аналитических и технических процессов, должна стать оценка идеи проекта и его дальнейшая реализация.

Ключевые слова: остановочный комплекс, модульность, концепт, проектирование, технологии, дизайн.

Введение

С учетом увеличения числа пассажиров и необходимости оптимизации транспортных потоков, проектирование качественных остановочных комплексов становится важной задачей. В условиях быстро меняющейся урбанистики и роста городского населения необходимость в таких комплексах становится все более актуальной. Главной целью работы является разработка и реализация модульного технологичного остановочного комплекса для улучшения качества пользовательского опыта и городской среды, а именно остановок общественного транспорта

Основная часть

Несмотря на то, что проблема городской инфраструктуры затрагивает не только остановки общественного транспорта, но и сам общественный транспорт, их конфигурацию, дорожное и пешеходное покрытие, городскую среду, экономические и социальные особенности и условия. Идея решения лишь одного аспекта большой структуры проблем, в лице остановочных комплексов, является очень неплохой задачей. Учитывая все это, реализация проекта может и не позволит полноценно решить ряд зависимых недочетов всей городской системы, однако позволит стать ближе к пути ее решения, с помощью разработки технологичного остановочного комплекса. Хоть и имея неизбежность столкнуться с рядом тяжело предсказуемых переменных.

Теперь, со всем вышесказанным стоит вернуться к проблематике остановок. Во-первых, само создание подходящей конфигурации автобусных остановок – дорогостоящий процесс из-за сложности выявления тех, которые не приносят пользы с точки зрения качества обслуживания пользователей. Задача перемещения автобусных остановок заключается в поиске расположения автобусных остановок, которая обеспечивает хороший компромисс между качеством обслуживания (критерий оптимизации, ориентированный на пользователя) и эксплуатационными расходами (оптимизация, ориентированная на поставщика услуг) [1].

Во-вторых, помимо расположения остановочного комплекса, также наблюдаются недостаток конструкции. Во многих городах остановочные комплексы не имеют общего стиля. В целом это проблема подбора определенных характеристик остановочного комплекса к характеристикам определенного района города.

Современный промышленный дизайн остановочных комплексов должен развиваться при помощи новых подходов и решений для успешного развития и стремления к современным условиям и тенденциям.

Одним из таких решений может стать внедрение модульности в конструкцию остановочных комплексов. Так как данная способность позволяет обрести несколько преимуществ перед другими вариантами остановочных комплексов. Они могут быть легко адаптированы к различным условиям, обеспечивая комфортное ожидание и пересадку пассажиров. Модульные конструкции позволяют быстро реагировать на изменения в транспортной инфраструктуре и удовлетворять потребности пользователей.

Согласно концепции модульности, отдельные части объекта могут быть использованы автономно, что обусловлено относительной самодостаточностью их формы, в том числе и в функциональном отношении. Разработав один модуль, дизайнер получает как форму, способную к самостоятельному существованию, так и составную композицию, которая при добавлении модулей или наборов модулей усложняется. Данный концепт применим ко всем областям дизайна, в соответствии с рисунком 1 [2].

Рис. 1. Пример модульности в промышленном дизайне

Помимо этого, форма объекта также может претерпевать изменения и модификации, в зависимости от социальных, экономических, инфраструктурных и инженерных условий, в случае проектирования остановочного комплекса. Данный метод дизайн-проектирования имеет несколько преимуществ:

Гибкость. Модульные остановочные комплексы могут быть построены в различных конфигурациях с учетом городской среды.

Адаптивность. Благодаря относительной самостоятельности отдельного модуля, такая остановка способна внедрять в себя различные технологии и элементы, в зависимости от запросов пользователей. Так как в данном случае будет модифицировать лишь один конкретный модуль или его элемент, вместо того чтобы переделывать всю конструкцию целиком.

Улучшение пользовательского опыта. Подход к дизайн-проектированию будет отличаться, что разнообразит окружение и позволит пользователям получить пользовательский опыт и вызвать интерес к объекту.

Скорость установки. Модульные конструкции могут иметь возможность, быстро монтироваться и демонтироваться, что сокращает время на строительство и минимизирует неудобства для жителей.

Также стоит сказать, что тенденция использование модульности в проектировании остановочных комплексов уже частично имеет место, на самых разных этапах реализации, начиная с тех же концепций и заканчивая уже выполненными проектами.

После разъяснения идеи проекта были выполнены несколько видов эскизных решений. На основе всего вышеописанного хода представления концепции. На данном этапе, анализ общей формы необходим для определения повторяющихся элементов и закономерностей для последующей реализации проекта в других форматах с последующем уточнением деталей. Одним из первых был выполнен поиск формы и первичный эскиз концепта, в соответствии с рисунком 2.

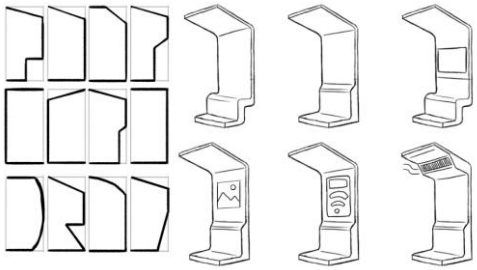


Рис. 2. Поиск формы и первичный эскиз концепции

После этого были выполнено несколько последующих итоговых эскизов модулей, в соответствии с рисунком 3, где уточнялись первичные пропорции, формы, габаритные размеры и цвет. Как отдельных модулей, так и единой остановки, в возможном собранном виде. А также состав модульных элементов: базовый модуль, модуль с сиденьем, со спинкой, технологичный модуль, боковой модуль. В целом основа проекта заключается в наличии нескольких верхних и нижних модулей которые могут соединятся между собой взаимно дополняя друг друга, в зависимости от выбора итоговой сборки остановочного комплекса.

Рис. 3. Итоговые эскизы модулей

Кроме того, был выполнен эскиз возможного варианта сборки модульного остановочного комплекса, в соответствии с рисунком 4. И данных вариантов может быть множество, будь то маленькая остановка для спального района или крупная для дорожных артерий города. Все это необходимо для понимания предполагаемой формы и внешнего вида объекта в пространстве. Давая возможность увидеть преимущества и недостатки формообразования при последующей разработке.

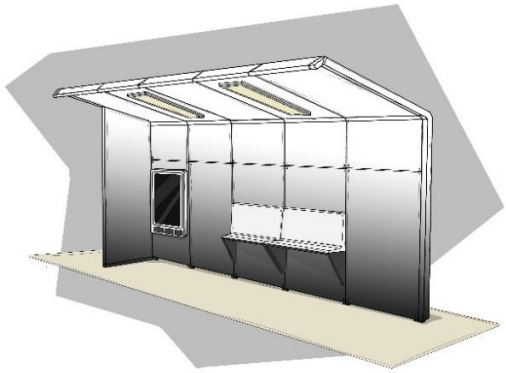


Рис. 4. Итоговый эскиз проекта

После разбора атрибутов как уже выбранных, так и предполагаемых, серьезным решением является выбор технологии изготовления различных частей конструкции. Разные технологии могут обеспечивать различное качество конечного продукта. Выбор подходящей

технологии позволяет достичь необходимых стандартов прочности, долговечности и надежности. Правильный выбор может существенно снизить затраты на материалы и время производства, что положительно скажется на рентабельности проекта. Все решения и способы реализации проекта не должны иметь проблемы в использовании современных технологи и соответствии стандартам и нормативам, а также желательно обладать гибкостью в изменении и организации производства и экономической эффективностью.

В ходе анализа возможных вариантов реализации, будут сформированы, а затем отсеяны и выбраны определенные технологии и материалы. Однако о каждой стоит рассказать и описать их свойства, особенности оборудования и выбор материалов.

Одной из первых идей, которая может помочь в создании модульного остановочного комплекса являлось применение современных полимерных сплавов. В современной промышленности насчитывается несколько десятков разновидностей полимерных материалов. Разделение происходит по химическому составу, агрегатному состоянию и эксплуатационным качествам. Благодаря своим уникальным качествам и доступной цене область применения товаров из этого сырья разнообразна. Изделия из пластмассы применяются в медицинском оборудовании; в строительной отрасли; в железнодорожном, автомобильном и авиационном транспорте; в бытовой технике; в сельском хозяйстве; в легкой и тяжелой промышленности [3].

Многие полимеры обладают очень высокой устойчивостью к агрессивным средам, прочностью, не уступающей металлам и небольшим весом. Например, такие полимерные сплавы как FRP-пластик, полиамиды, TPE-пластик, стекловолокно, полимерный бетон. Для изготовления подходящих полимеров, чаще других используется технология вакуумной инфузии и литье под давлением.

При использовании данных материалов и технологий, был разработан способ изготовления, при котором необходимые элементы отливались в специальных формах с уже всеми имеющимися отверстиями и вырезами необходимых для расположения проводки и креплений.

Другой вариант предполагал использование структуры, напоминающей железобетон, композит, который использует в себе армирующие элементы для создания прочности и устойчивости всей конструкции, где в роли армирующего материала выступал металлический каркас, а полимерный материал образовывал бы внешнюю поверхность объекта, для обеспечения легкости и пластичности.

В ходе рассмотрения данного способа изготовления элементов конструкции, были выявленные определенные преимущества и недостатки. Хоть данные материалы имеют высокую прочность и устойчивость к коррозии и хорошо подходят для изготовления специальных форм, такой материал имеет довольно высокую стоимость и обладают повышенной водопроницаемостью, что может плохо сказаться на свойствах продукта.

Вторым наиболее значимым вариантом возможного изготовления конструкций стало использование металлических композитов. В частности, алюминиевые композиты. Эти материалы представляют собой два слоя, предварительно окрашенного листового алюминия, между которыми заключен полимерный (полиэтилен, полипропилен, полиуретан, полистирол) или минеральный огнеупорный наполнитель. Соединение слоев между собой производится по такой технологии, которая обеспечивает готовому продукту высокую стойкость к расслаиванию. Внешняя поверхность композитных материалов помимо слоя краски может иметь лаковое антикоррозионное покрытие, повышающее износостойкость. Материал производится в виде непрерывной ленты, что позволяет предлагать пользователям широкое разнообразие габаритных размеров [4].

Хоть такой композит и редко используется в важных строительных элементах, возможно создать его более прочный аналог, с более толстыми алюминиевыми листами и соединительным полимером, способным придать изделию гибкость и удобство работы.

Технология изготовления композита имеет несколько этапов. Сначала алюминиевые листы и полимерный слой подготавливаются, полимерный слой помещается между двумя алюминиевыми листами, затем слои объединяются с помощью процесса ламинирования, который может включать нагрев и применение давления для обеспечения прочного соединения. А после полученные панели обрезаются до нужных размеров и могут подвергаться дальнейшей обработке.

Такой композит, если наделить его повышенной толщиной листов даже путем довольно простых технологий объединения, способен дать хорошее сочетание прочности и гибкости. Создать удобство для резки и сверления, создать, благодаря алюминию, высокую защиту от коррозии. Кроме того, такие материалы имеют менее высоки требования к соблюдению процесса изготовления и способны к более легкой замене случаи разрушения или повреждения.

По итогу выбора наиболее лучшего варианта изготовления конструкции, наиболее приоритетным является способ работы с алюминиевыми композитами и технологии проката и гибки металла. Ввиду того что данный способ способен лучше справится с поставленными условиями для реализации проекта модульного остановочного комплекса.

Также говоря об оценке проекта на данном этапе, он обладает рядом качеств, среди которых, возможность более гибкого и разностороннего подходя к проектированию остановочных комплексов, высокий потенциал для последующего модифицирования и адаптивности, а также повышения пользовательского опыта. Однако затрагивая недостатки проекта, то можно сказать, что такой подход обладает крайне трудным путем реализации, как с точки зрения конструкции, так и с точки зрения визуала. Кроме того, обладает риском сложности в обслуживании и интеграции в определенные городские среды. Но несмотря на это, стремление к поиску новых подходов к дизайн-проектированию остановочных комплексов в целом является хорошим опытом для дальнейших разработок в области промышленного дизайна.

Заключение

В ходе процесса реализации идеи был предложен модульный способ проектирования остановочного комплекса, рассмотрены его преимущества и недостатки. Выполнены этапы эскизирования, как отдельных модулей таки и общего эскиза. А также рассмотрены и предложены технологические решения для реализации конструкции объекта.

Список использованных источников

1. Fabbiani E., Nesmachnow S., Toutouh J. et al. Analysis of Mobility Patterns for Public Transportation and Bus Stops Relocation // Program Comput Soft 44. – 2018. – P. 508-525.

2. Обеднина С. В., Быстрова Т. Ю. Модульный принцип формообразования в дизайне. – Академический вестник уралниипроект РААСН. – 2013. – № 1. – 7 с.

3. Полимерные материалы: основные виды, что такое, примеры изделий. – [Электронный ресурс]. – URL: m-plast.ru/blog/tpost/e1b05yt501-polimernie-materiali-chto-takoe-osnovnie?ysclid=m8w02zcca1797541714 (дата обращения 16.03.2025)

4. Что такое алюминиевый композитный материал. – [Электронный ресурс]. – URL: signbusiness.ru/material/Al/chto-takoe-alyuminievyi-kompozitnyi-material.php (дата обращения 18.03.2025)

5. Кочаркова Д., Новотны В., Йишова Й. Дизайн остановок и станций общественного транспорта и его вклад в создание привлекательного и доступного общественного транспорта. – Симпозиум «Умный город». – 2019. – 7 с.

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ФИТО-СИСТЕМЫ В ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Довгановская Е.Ю. [1], Васильева М.О. [2]
[1]ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8Д11, e-mail: eyd9@tpu.ru
[2] ТПУ ИШИТР ОАР, ст. преподаватель, e-mail: vasilevamo@tpu.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается исследование в области дизайна об инновационном подходе к созданию необходимых условий правильного содержания растений в ограниченном пространстве, а также предложено проектное решение для разработки дизайн концепции инкубационной фито-системы.

Ключевые слова: дизайн, эскизы, пользователь, концепция, фито-система, растения.

Введение

В настоящее время люди молодого поколения проявляют интерес к садоводчеству. Однако, в современных городских условиях возникают сложности осуществления этого процесса. Одним из таких решений становятся фито-системы, которые позволяют выращивать растения в ограниченном пространстве в домашних условиях. Посредством существующих инновационных подходов, появляется возможность создать не только красивый дизайн системы, но и функциональный, способный заинтересовать пользователя в процессе проращивания растений и черенков.

Методы проектирования для разработки качественного дизайн-проекта

Разработка качественного дизайн-проекта предполагает использование множества методов и подходов, которые позволяют эффективно организовать процесс проектирования объектов. Один из ключевых подходов в этом процессе – это использование *систематического анализа*, основанного на четком понимании проблемы процесса выращивания рассады и конечных целей. Важным этапом проектирования является анализ данных о потребностях целевой аудитории и существующих на современном рынке фито-систем.

Следующий метод - *метод визуализации*. Скетчинг и использование программного обеспечения для 3D-моделирования, позволяют наглядно представить концепции и идеи.

При проектировании необходимо учитывать не только физические и анатомические характеристики человека и специфику растений для проращивания. Это исследует *метод эргономических исследований*. Он фокусируется на том, чтобы обеспечить наилучшее взаимодействие между пользователем и продуктом, принимая во внимание физические, когнитивные и эмоциональные характеристики пользователя. Это подход, который основан на понимании потребностей и ограничений человека, чтобы создать эффективные, безопасные и удобные решения. Кроме того, этот метод учитывает более эффективные способы проращивания семян.

Инженерный метод позволит создать форму корпуса фито-системы с учетом различных процессов разработки формы.

Также важен *метод гипотез*. Он представляет собой стратегический подход, используя для генерации идей и решений на основе предсказаний о том, как пользователи будут взаимодействовать с продуктом.

Отображение информации на дисплее корпуса системы

Информация, отображаемая на дисплее фито-системы для выращивания растений, должна быть достоверной и информативной, чтобы обеспечить эффективный контроль и управление условиями роста растений.

Важны такие факторы, как:

1. Температура и влажность воздуха внутри системного бокса.
2. Отображение текущего этапа роста растения.
3. Регулировка уровня освещения.
4. Информация о состоянии воды (уровень воды в емкости резервуара и качество воды, например, pH).
5. Данные о уровне и наличии питательных веществ, таких как концентрации азота, фосфора, калия и различных микроэлементов.
6. Предупреждения о любых аномалиях, таких как резкое изменение температуры или уровня воды.
7. Рекомендации по уходу за растениями, основываясь на текущих условиях, например, подсказать, когда и как поливать растения или как настраивать освещение.
8. Сохранение и анализ данных за предыдущие периоды.

Дополнительно можно разработать мобильное приложение для возможности мониторинга, позволяя пользователю получать данные в реальном времени, находясь вдали от фито-системы.

Сценарий взаимодействия с пользователем

При разработке любого продукта важно разработать не только дизайн, но и понятный сценарий взаимодействия с пользователем. Его можно представить в виде последовательности шагов, охватывающих основные этапы использования системы, от первоначальной настройки до регулярного ухода за растениями.

В первом этапе стоит начать с установки и настройки продукта. Пользователь распаковывает фито-систему и подключает её к источнику питания. На экране системы появляется приветственное сообщение с инструкциями по настройке параметров.

Вторым этапом необходимо заполнить систему. Пользователь открывает систему, наполняет её удобренным субстратом и размещает семена согласно рекомендациям. Оценивает начало ее работы.

Третий этап - мониторинг и уход. Фито-система начинает автоматически отслеживать условия роста растения, которые отображаются на небольшом дисплее, на корпусе в виде важных данных.

Четвертый этап - оптимизация условий. Рассматриваются рекомендации по уходу и автоматизированные действия в случае отсутствия пользователя рядом.

На заключительном этапе появляется ожидаемый результат - сбор урожая. Фито-система подсказывает, когда растения начинают созревать, и помогает советами по правильному сбору и хранению урожая.

Разработка концепции

Первым этапом эскизирования является поиск формы корпуса, главным критерием является выбор простой эргономичной формы удобной и интуитивно понятной для пользователя, а также который хорошо бы вписывался в любой интерьер.

Самые ходовые формы – это прямоугольные, квадратные или круглые. Хорошо смотрятся как в современных, так и в традиционных интерьерах. Можно легко размещать их на полках, подоконниках или столах. Простота форм облегчает доступ к растениям для полива и ухода. Мягкие линии создают уютную атмосферу и могут смягчить углы в интерьере.

Первый эскиз, как и все последующие, отталкивался именно от вышеупомянутого принципа. На рисунке 1 можно увидеть, что конструкция состоит из двух элементов: сама фито-система, в которой находятся растения, и подставка с освещением. Освещение вынесено снаружи, так как крышку корпуса было решено сделать полностью прозрачной для полного обзора растущих и развивающихся внутри семян. Для того чтобы свет хорошо проникал

внутрь, наверху проделаны отверстия, что также хорошо обеспечит циркуляцию воздуха извне. Все основные элементы находятся в нижней части корпуса. На нем же расположены кнопки и небольшой дисплей, для выведения необходимой на него информации.

Однако такая конструкция выглядит довольно громоздкой, и не совсем соответствует определению «фито-система», что подразумевает наличие всего необходимого для выращивания ростков внутри конструкции. Для такого продукта требуется больше свободного места, которое и так ограничено. А также требует двойной уход при уборке.

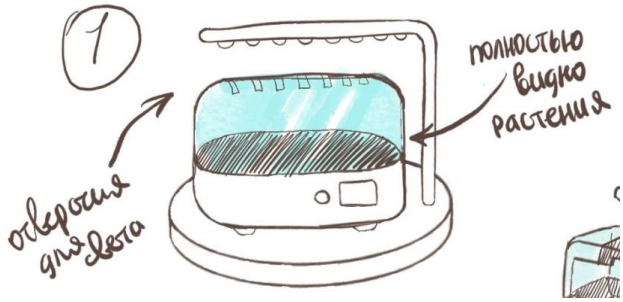


Рис. 1. Эскиз номер 1

Второй эскиз, на рисунке 2, представляет собой полностью закрытую единую систему, не нуждающуюся в дополнительной гарнитуре. Фито-система напоминает прямоугольный бокс с открывающейся дверцей. Такая форма отлично впишется в любой интерьер, ее возможно поставить к стенке или другой плоскости и при этом будет граммотно рассчитано пространство. Крышка, открывающаяся, до упора, обеспечивает легкое извлечение зрелых растений. Верхняя часть корпуса также обеспечивает круговой обзор на внутренние содержащие, что позволяет с интересом наблюдать за процессом роста растений. Дисплей стоит расположить сбоку, так открытая крышка не будет мешать узнать необходимую информацию.

Однако может возникнуть проблема в проводке света, так как под это отведен лишь небольшой кусочек на крышке корпуса.

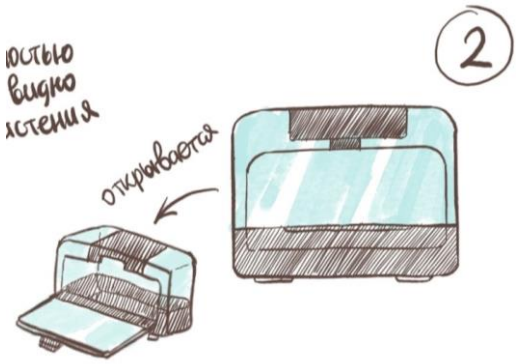


Рис. 2. Эскиз номер 2

Третий эскиз, на рисунке 3, обладает уже более скругленной формой крышки. В данной версии корпус более закрытый, обеспечивая доступ к качественной проводке света и иных проводов. С другой стороны, при этом уменьшается возможность полного обзора за выращиваемыми растениями.

Конструкция в данном случае отличается более сложно системой, обеспечивающей простой доступ к урожаю. Нижний ящик, внутри которого расположены отсеки с семенами/черенками, оснащен рейками, позволяющими не просто доставать ящик, а полностью его выдвигать. Одновременно с этим открывается прозрачная дверца. Механизм напоминает принцип работы хлебницы или же кухонных ящиков. А кнопки и дисплей находятся на передней стороне нижнего ящика.

К сожалению, такая система требует производства более сложного механизма, что усложняет процесс эксплуатации объекта.

Рис. 3. Эскиз номер 3

В четвертом эскизе, на рисунке 4, было решено использовать современные тренды популярные среди молодого поколения, поэтому за основу взята нестандартная форма - сердце. Все необходимые элементы управления расположены горизонтально на выступающей части, это позволяет без затруднений видеть информацию на экране. Как и предыдущие конструкции, четвертый эскиз рассчитан на наблюдение за растениями и поэтому у него тоже прозрачные стенки, но учитывая моменты про проводку света и иных проводов, вдоль дверцы расположены закрытые участки, внутри которых есть возможность осуществить проводку.

У данной фито-системы крышка отодвигается вверх, позволяя добраться до содержимого, однако блок с рассадой не выдвигается, что является существенным минусом. Более того такая конструкция ограничена в расположении среди домашнего гарнитура, так как форма не позволяет, например, поставить объект к стенке.

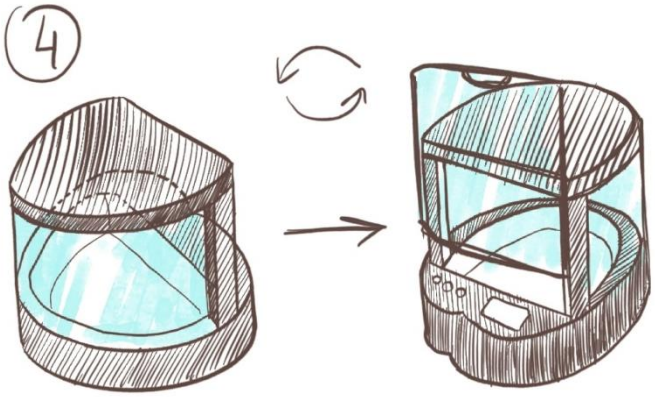


Рис. 4. Эскиз номер 4

Итоговый эскиз представлен на рисунке 5. Из округлых форм было решено вернуться к прямоугольным/квадратным, сохраняя лаконичность и возможность вписать такую фито-систему в любой интерьер и место в доме. Можно заметить, что на пятом эскизе есть две версии открытия. Первая подразумевает поднятие дверцы вверх и выдвижение основного ящика вперед, однако из-за полной прозрачности дверцы не был продуман нужный механизм, поэтому от данной версии пришлось отказаться в пользу второй. У второй версии дверца открывается и практически кладется на стол, давая нижнему ящику спокойно выдвинуться вперед. Основное количество элементов управления располагается наверху фито-системы, что позволяет быстро и легко увидеть всю информацию.

Также у всех вариантов инкубационной фито-системы есть небольшие противоскользящие ножки для хорошего крепления к поверхностям.

Таким образом, для последующей разработки продукта было решено использовать пятый эскиз вторую версию.

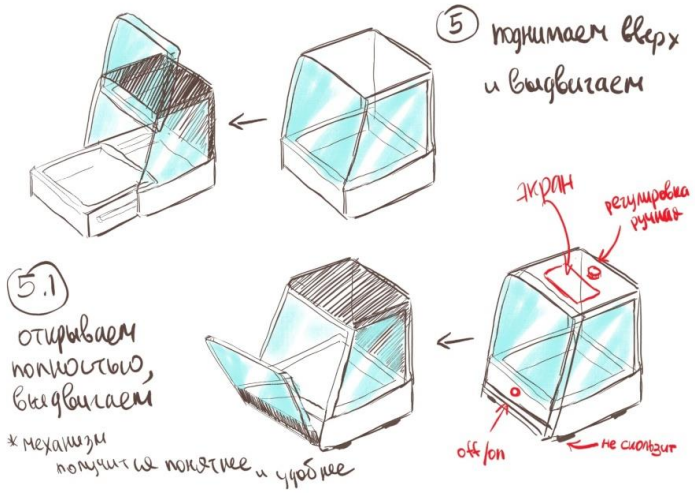


Рис. 5. Эскиз номер 5

Материалы и технологии изготовления

При выборе материалов, из которых будет изготавливаться фито-система необходимо учитывать несколько ключевых требований, чтобы обеспечить долговечность продукта и его качественную работу. Сырье должно быть:

− нетоксичным при контакте с жидкостями и тканями, так как устройство используется для выращивания растений, употребляемых в пищу;

− устойчивым к коррозийным образованиям;

− возможным для обработки спиртосодержащими продуктами без изменения качества корпуса и внутренних содержащих;

– материалы должны соответствовать дизайну фито-системы и гармонично вписываться в интерьер.

Основной предполагаемый материал итогового корпуса устройства – пластик. Данный материал обладает относительно доступной ценой, позволяя воплотить в жизнь большое количество различных форм.

Вывод

В ходе данной работы были разработано 5 дизайн-концептов инкубационной фито-системы, учитывая факторы эргономики обеспечения эффективной работы системного бокса и удобства взаимодействия с пользователем для создания интуитивно понятной и приятной в использовании специальной конструкции для выращивания растений.

Кроме того, в результате разработки эскизов удалось исследовать необходимость в правильной организации процессов обеспечения жизнедеятельности растений, содержания и эксплуатации инкубационной фито-систем посредством методов проектирования.

Список источников и литературы

1. Луптон Э. Драматургия дизайна : Учеб. пособие. – Изд-во «Эксмо», 2022. – 163 с.

2. Fiell C., Fiell P. Design of the 20th century : Учеб. пособие. – Изд- во «TASCHEN», 2012. – P.768.

3. Norman D. The design of everyday things : Учеб. пособие. – Изд-во «Basic books», 2022. – P. 369.

4. Рунге В.Ф., Манусевич Ю.П. Эргономика в дизайне среды : Учеб. пособие. – Изд-во «Архитектура-С», 2016. – 328 с.

ИТОГОВОЕ КОМПОНОВОЧНОЕ РЕШЕНИЕ МОДУЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДОЕМОВ ОТ МУСОРА

Плещинская А.И. [1], *Серяков В.А.* [2]
[1]*ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8Д11, e-mail: aip29@tpu.ru*
[2]*ТПУ ИШИТР ОАР, доцент, e-mail: seryakov@tpu.ru*

Аннотация

Данная статья рассматривает варианты решения конструкции робота для очистки водоемов и бассейнов от твердого мусора. В публикации представлены варианты формообразования и сценарий работы.

Ключевые слова: робот, модульность, мусор, формообразование, конструкция.

Введение

Загрязнение воды – глобальная проблема, актуальная для всех без исключения стран. Оно негативно влияет на окружающую среду, на здоровье людей и животных. Процесс очистки воды может быть трудоемким и продолжительным, поскольку вода может быть загрязнена мусором разного типа.

Цель работы – анализ формы для роботизированной системы очистки воды.

Основная часть

Согласно данным, проблема загрязнения воды давно уже стала глобальной. Ежедневное загрязнение происходит вследствие сбрасывания в реки и озера веществ различного агрегатного состояния промышленными предприятиями, а также твердого и жидкого мусора людьми. Проблема с каждым годом приобретает всё более серьезный характер. Согласно данным, более 80% сточных вод сбрасываются в реки и океаны без предварительной очистки [1].

Разрабатываемый объект предназначен для очистки уже загрязненных вод, попавших в водоемы. На данном этапе проектирования разрабатывается внешний вид объекта, проектируется форма. Формообразование или поиск новых форм – одна из актуальных задач современного дизайна. Оригинальная внешняя оболочка уже давно является одним из критериев хорошего дизайна. Форма может быть напрямую связана с назначением и функционалом объекта или не иметь ничего общего [2].

В процессе работы над формой были задействованы комбинаторные методы [3]:

1. Метод мультиплицирования (размножения). Суть метода заключается в повторении одного и того же элемента в объекте несколько раз;
2. Метод модульного проектирования.

Под модульностью в данном случае понимается унификация и повтор элементов в форме, наличие единого, повторяющегося элемента, на котором построена композиция.

В процессе создания формы упор делался на следующие критерии:

1. Эргономика. Объект должен быть удобен в использовании. Несмотря на автоматизацию процесса работы, взаимодействие с человеком всё ещё необходимо для полноценной работы устройства, например, для замены батареи, установки на воду, очистки бака от мусора.
2. Материалы. Используемые материалы не должны подвергаться быстрому разрушению, пропускать воду, а также не должны быть дорогостоящими.
3. Устойчивость. При проектировании важно учитывать, что объект работает на открытом пространстве, где часто могут присутствовать сильные ветра, которые образуют волны. Соответственно, объект должен держаться на плаву, не переворачиваясь.

Первый этап работы сопровождался процессом создания поисковых эскизов возможных вариантов форм, в соответствии с рис. 1.

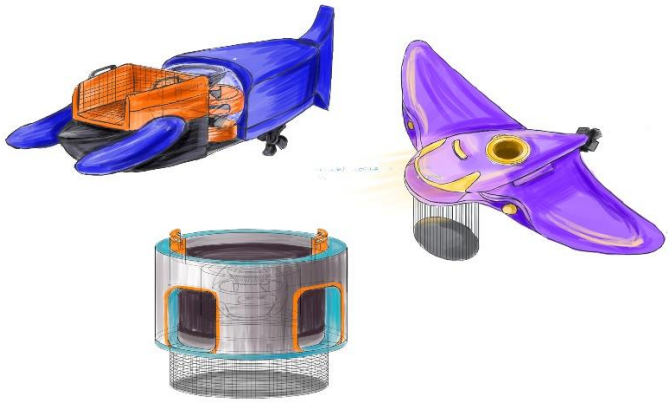


Рис. 1. Поисковые эскизы

На основе эскизных решений была разработан первый вариант формы, напоминающий «бочку», объект включает в себя несколько модулей:

1. Внешний модуль, в отверстия которого будет заплывать мусор;

2.Второй модуль – сетка, который является каркасом. Сетчатая структура необходима для того, чтобы выпускать лишнюю воду;

3. Следующий модуль практически дублирует предыдущий по форме, но отличается тем, что у него есть ручка, которая помогает извлекать сетку с мусором из воды;

4. Внутренний модуль соединяет в себе все технические составляющие объекта: сигнальный маяк, лидар, сервопривод, GPS–трекер, плату, батарею, ультразвуковую систему, датчик температуры, а также винт, позволяющий объекту передвигаться, в соответствии с рис. 2.

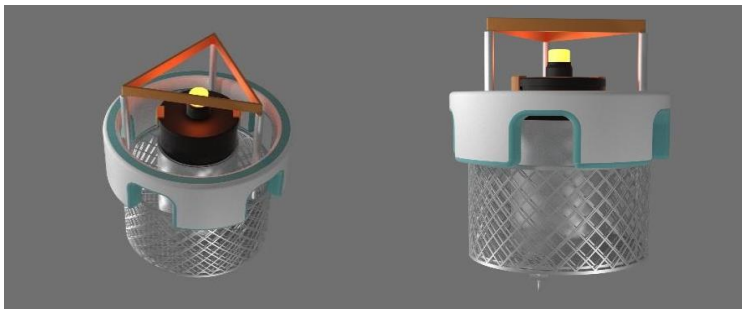


Рис. 2. Первый вариант формы

После анализа полученного решения, была выявлена необходимость доработать форму, изменив сценарий движения. Появился черновой вариант новой формы, за основу которой была взята форма лодки, в соответствии с рис. 3. Предполагалось, что наличие заостренного носа улучшит гидродинамические свойства робота.

Сценарий работы: Объект передвигается за счет винтов, расположенных в «ушках». Боковые стенки корпуса открываются, увеличивая площадь соприкосновения с мусором, мусор заплывает в образовавшееся отверстие. К круглому отверстию, сделанному в крышке, должен был крепить уже разработанный модуль сетки, с некоторой трансформацией, было необходимо убрать кусок стенки сетки, чтобы мусор мог попасть в «бочку». В квадратное отверстие, расположенное за «бочкой», должен был устанавливаться фильтр для дополнительной очистки воды.

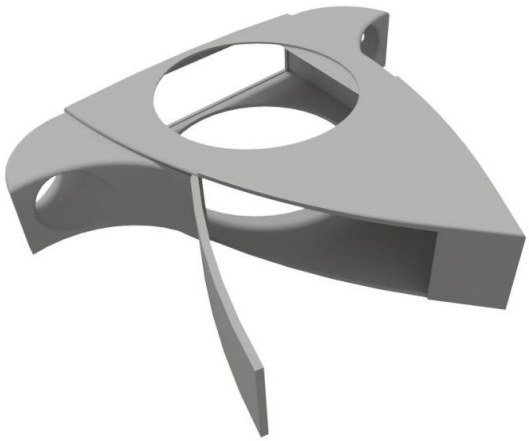


Рис. 3. Второй вариант формы

От данного варианта формы было решено отказаться по ряду причин:

1. Если при движении будут торчать боковые стенки, это будет тормозить робота, поскольку увеличится площадь соприкосновения с водой;

2. Фильтр такого типа, скорее всего, привел бы к застаиванию воды внутри корпуса и выплыванию мусора;

3. Было найдено решение, более обоснованное с точки зрения производства.

Третий вариант разработки является переработкой первой формы. Он включает в себя центральный блок, внутри которого находятся все технические составляющие. От центрального блока отходят лучи, на концах которых крепятся кольца. В кольца вставляются модули для сбора мусора и фильтрации воды. Верхний модуль – сетка, в которую собирается мусор, далее вода проходит через фильтр и выходит наружу через низ. Мусор в «бочки» затягивается с помощью насосов, расположенных снизу модуля, в соответствии с рис. 4.

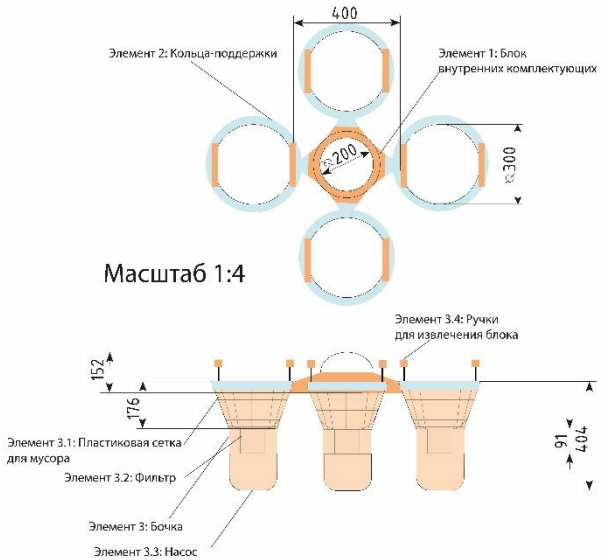


Рис. 4. Третий вариант формы

Главный модуль – модуль для сбора мусора. Модуль дублируется 4 раза по периметру внутреннего блока. Блок изготавливается из пластика. Верхняя сетка также делается из пластика, при наборе мусора, извлекается из блока за ручки. Диаметр сетки – 300 мм, делает возможным сбор бутылок разного объема, от 0.5 до 5 литров. Также предполагается изготовление более мелкого варианта данного блока с сеткой диаметром 100 мм. Более компактный вариант может быть использован для очистки бассейнов.

Следующий элемент модуля – фильтр. Фильтр будет использоваться как стандартный, так сборный. Из стандартных фильтров может быть использован угольно–цеолитовый, предназначенный для удаления из воды тяжелых металлов (железо, марганец и др.), солей жесткости, радионуклидов.

Шунгитовый фильтр предназначен для осветления воды и очищения от органических, неорганических и бактериальных загрязнений.

Также предполагается пользовательский вариант. В комплекте поставляется пустой фильтр, в который засыпается состав, например, уголь или шунгит. Ещё один вариант фильтра – блок размера меньше для бассейнов. В блок вкладывается таблетка для хлорирования воды.

Нижний элемент – насос, соединение с центральной системой происходит через провод, идущий вдоль внешней стены модуля, в соответствии с рис. 5.

Рис. 5. Блок забора мусора в разрезе

Принцип работы робота. В итоговой концепции объект всасывает воду за счет насосов, проводя её через сетку для отделения крупного мусора и через фильтр для очищения от загрязнений, затем выбрасывает воду обратно. Если объект очищает бассейн, он может быть размещен по центру, питание может быть, как от розетки, так и от аккумулятора. В случае с работой в водоемах – только от аккумулятора.

Результаты. В результате исследования была выявлена подходящая для разработки форма, отвечающая заявленным требованиям.

Заключение

В результате было разработано итоговое компоновочное решение робота, которое ляжет в основу проектируемого изделия.

Список использованной литературы

1. Mid-term Status on SDG 6 Indicators // Environment programme: сайт. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: unep.org/resources/report/mid-term-status-sdg-6-indicators-632-651-661-2024 (дата обращения: 20.02.2025)

2.Жданов Н.В., Скворцов А.В., Червонная М.А., Чернийчук И.А. Бионика для дизайнеров : учебное пособие для вузов. – Изд-во «Юрайт», 2020. – 232 с.

3. Благова Т.Ю. Креативные методы дизайна в проектировании объектов декоративно-прикладного искусства. – Изд-во «АмГУ», 2013. – 57 с.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ КВАРТИР НА ОСНОВЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Калиниченко К.А., Вехтер Е.В.
Научный руководитель: Вехтер Е.В.
Место учебы, e-mail: ТПУ, ИШИТР, гр. 8Д11, kak52@tpu.ru
Место работы, e-mail: ТПУ, ОАР ИШИТР, доцент, vehter@tpu.ru

Аннотация

Статья посвящена описанию нужд, предпочтений пользователей и требований к разработке многофункциональной мебели для малогабаритных квартир, а также способам решения пользовательских предпочтений.

Ключевые слова: многофункциональная мебель, малогабаритные квартиры, технологии, функция, зона отдыха, рабочая зона, место хранения.

Введение

В условиях современных реалий, где жилое пространство становится дорогим и малодоступным, актуальность многофункциональной мебели приобретает особое значение. Исторически сложилось так, что компактность и универсальность мебели всегда были важными аспектами в дизайне интерьеров. Однако в последние десятилетия, с ростом числа малогабаритных квартир и студий, эти характеристики стали особенно востребованными. Например, мебель-трансформер, позволяющая использовать один предмет для различных целей, значительно экономит пространство и повышает его функциональность.

Целью данной работы является выявление потребностей к многофункциональной мебели и формулировка требований к разработке комплекта мебели, соответствующего этим потребностям. Для достижения заданной цели была проведена серия опросов среди потенциальных пользователей.

Для выявления потребностей потребителей был разработан опросный лист, состоящий из 13 вопросов. В исследовании участвовал 61 человек. Результаты опроса показали, что площадь жилых помещений респондентов варьируется от 18 до 30 квадратных метров на двух человек. На основе полученных данных были выделены основные проблемы, с которыми сталкиваются пользователи (рис. 1):

Рис. 1. Опрос на выявление потребностей потребителя

1. Недостаток места для хранения.
2. Негативное восприятие складной кровати и рабочего стола.
3. Визуальный беспорядок на рабочих зонах.

Ключевые требования, сформулированные на основе анализа потребностей пользователей и современных тенденций в дизайне интерьеров:

1. Комплект мебели должен занимать площадь не более 6 м² и иметь высоту, не превышающую 2,5 м, чтобы соответствовать стандартам малогабаритных квартир и обеспечивать комфортное использование пространства.

2. Наличие модульной структуры комплекта мебели, позволяющей пользователям адаптировать ее под индивидуальные потребности и предпочтения, является необходимым условием для обеспечения функциональности и гибкости в использовании.

3. Комплект мебели должен быть оснащен встроенными розетками и обеспечивать удобное подключение к существующим электросетям в помещении для минимизации количества видимых проводов и упрощенного подключения техники.

4. Наличие индивидуальных источников света как в рабочей зоне, так и в зоне отдыха обеспечит комфортное освещение и улучшит условия для работы и отдыха.

5. Предусмотрение около рабочего места открытых полок для хранения предметов, к которым необходим свободный доступ, позволит организовать пространство эффективнее.

6. Наличие прикроватной тумбы или аналогичного элемента для хранения рядом с местом отдыха улучшит функциональность и удобство использования спальной зоны.

7. Наличие выдвижных ящиков на колесиках под местом отдыха с доступом как сбоку, так и сверху повысит удобство хранения и облегчит доступ к содержимому.

8. Вертикальная и горизонтальная система хранения с быстросъемными дверцами позволит легко заменять или удалять дверцы для обновления внешнего вида мебели.

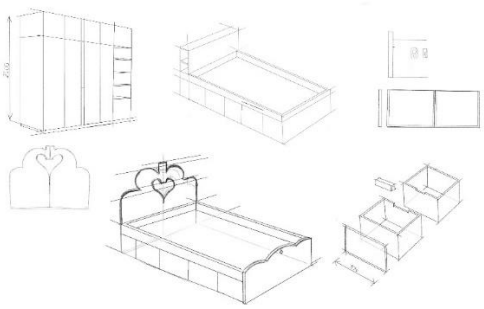


Рис. 2. Концепт комплекта мебели

Концепт комплекта мебели (рис. 2) продуман так, что под двуспальной кроватью будет предусмотрена система хранения вещей.

Система хранения будет включать:

1. Хранение сезонной одежды (которую не планируется носить в ближайшее время).
2. Обувь, которую не носят часто.
3. Запасные комплекты постельного белья, пледы или полотенца.
4. Хранение спортивного инвентаря.
5. Большие сумки, чемоданы.

Дополнительно будут разработаны ярлыки для систематизации хранения вещей. Будут присутствовать выдвижные ящики, соединяющиеся между собой для модульности и вариативности, которые при желании можно менять с ящиками в модуле шкафа.

Для дальнейшей разработки был выбран эскиз (рис. 3), в котором на основании конструкции кровати, учитывалась модульность шкафов и полок.

Рис. 3. Пробный эскиз мебели

Комплект мебели состоит из семи объектов: 1 – кровать с выдвижными ящиками, 2 – тумбочка, задвигающаяся в кровать, 3 – высокий шкаф для хранения вещей на штангу и ящиками, 4 – модуль комода с ящиками, 5 – шкаф для хранения книг, 6 – стол, 7 – тумба возле стола.

У кровати присутствует изголовье на 200-300 мм выше лежачего места, переходящее в полку и место для задвигаемой тумбочки. Тумбочки могут быть как в выдвинутом состоянии, так и в задвинутом для экономии места. Исходя из размеров светильников, кружек и книг для хранения, ширина тумбочки и полок в данном месте составит 250 мм. На основании размеров кровати было подсчитано, сколько ящиков для хранения будет под ней. Конструкция вмещает 8 ящиков шириной 463 мм, высотой 347 мм. Дополнительно, в области изголовья, присутствует еще один ящик для хранения сумок или чемодана шириной 210 мм и высотой более 400 мм. На основании этих данных предполагаемая ширина модуля шкафа составит 475 мм с несколькими вариантами высоты: 2113 мм, 700 мм, 1413 мм. Высота стола составит 740 мм с двумя тумбами под ним (рис. 4).

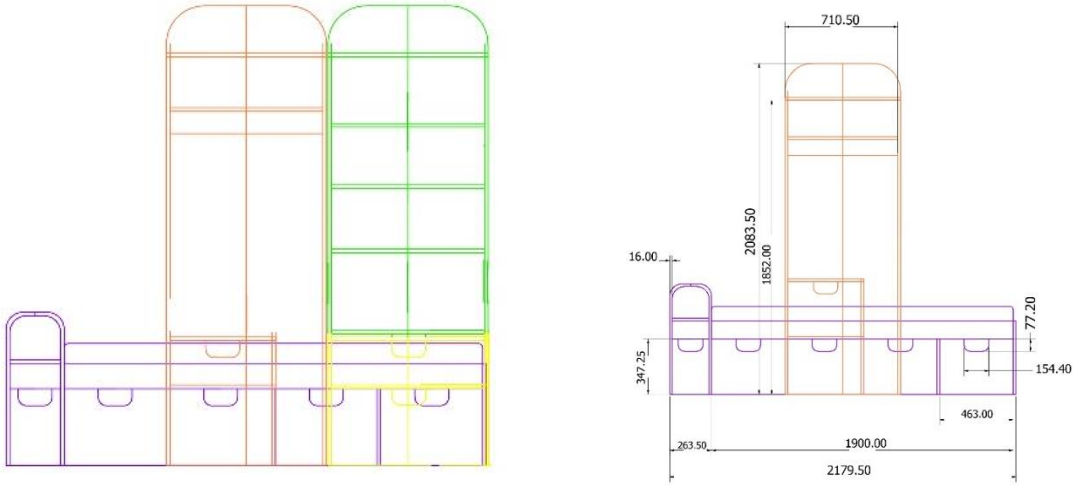


Рис. 4. Расчет размеров мебели

Для большей вариативности комбинаций мебели стол выполнен в виде буквы «Г» без опорной ножки с одной стороны. Стол будет крепиться к тумбочке или к полке шкафа, тем самым стол можно ставить углом или в виде прямой линии. Тумбочка под столом будет иметь механизм выдвижения одного ящика, в котором будут располагаться полки, предназначенные для хранения папок, тетрадей и книг.

В виде концепции предложены настенные полки разной высоты и ширины. Изголовье кровати имеет скругленные кроя во избежание травм, следовательно данное скругление следует поддерживать в элементах другой мебели.

Одной из главных особенностей комплекта является то, что данная задумка сопровождается максимально безотходным производством, делая комплект мебели дешевле. Для этого расчет МДФ производится на основе стандартно производимых листов. Размер каждой детали необходимо поместить на габариты листа МДФ, чтобы определить расход данного материала.

Каждый производитель отпускает листовой материал различных размеров, в зависимости от возможностей компании. МДФ выбранной ширины (16 мм) в основном выпускается листами (2500*1850, 2750*1830 и 3500х1750 мм) [40]. Так как все расчеты происходят на основе массового производства, при раскрое МДФ ориентировка производилась на самый большой размер листа. Были подготовлены выкройки, позволяющие произвести расчет материала. Например, затраты листов МДФ для производства кровати с тумбочкой и 9 ящиками составят 4 штуки, о чем говорит размеченная выкройка на рисунке 5.

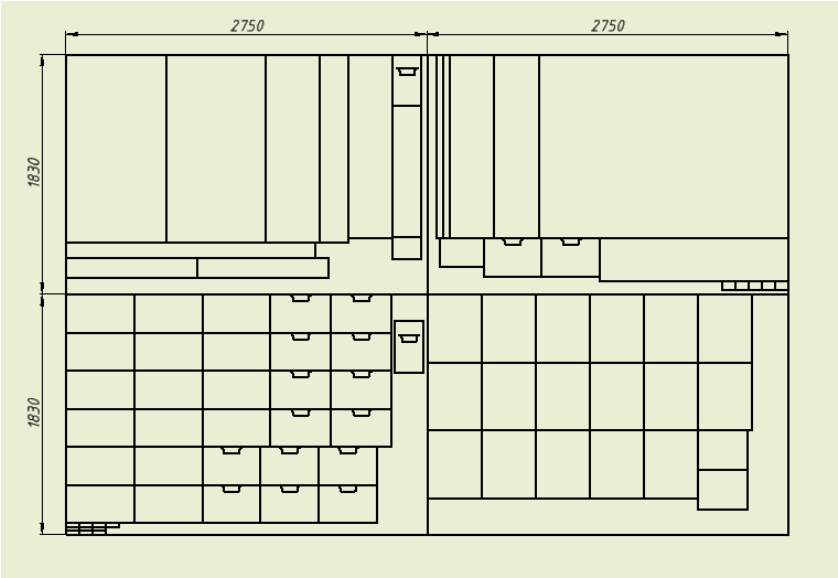


Рис. 5. Примерная выкройка кровати с ящиками

Заключение

Разработка многофункциональной мебели требует комплексного подхода, учитывающего как функциональные, так и эстетические аспекты. Учитывая результаты проведенного опроса, можно сделать вывод о необходимости создания мебели, способной адаптироваться под различные потребности пользователей путем оптимизации пространства и обеспечения комфортного проживания. Таким образом, многофункциональная мебель не только отвечает современным требованиям к дизайну интерьеров, но и способствует улучшению качества жизни в условиях ограниченного пространства.

Список использованной литературы

1. Шокорова Л.В. Дизайн-проектирование: стилизация : Учебное пособие для среднего профессионального образования. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во «Юрайт», 2017. – 74 с.

2. Турганбай Н.Е., Вехтер Е.В. Эргономическая и технологическая оценка как основа формообразования. // Сборник трудов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодёжь и современные информационные технологии». – Томск : Изд-во ТПУ, 2023. – С. 165-166.

3. Папулова И.Е., Онучина К.В. Системный анализ пород древесины, применяемых для изготовления мебели // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Общество-наука-инновации». – Самара : Изд-во МЦИИ омега сайнс, 2020. – С. 303-312.

4. Как согнуть древесину // Пиломатериалы Елка-Палка: сайт. – 2018. – [Электронный ресурс]. – URL: elka-palka.ru/article/kak-sognut-drevesinu (дата обращения: 20.02.2025)

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РОЗЕТОК И ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Коваль С.Р.[1], Вехтер Е.В. [2]
Научный руководитель: Вехтер Е.В.[3]
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, 8Д11, e–mail: srk10@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, Доцент, e–mail: vehter@tpu.ru
[3]Томский политехнический университет, ИШИТР, Доцент, e–mail: vehter@tpu.ru

Аннотация

В статье представлен процесс проектирования универсального модуля для розеток и выключателей, направленного на унификацию конструкции и снижение производственных затрат. Описаны особенности крепления, контактных соединений и модульной трансформации. Унифицированный корпус обеспечивает основу для дальнейшего проектирования рамок, клавиш и декоративных элементов различных конфигураций.

Ключевые слова: розетки, выключатели, электроустановочные изделия, универсальный модуль, конструкция корпуса, проектирование.

Введение

Проектирование электрофурнитуры, таких как розетки и выключатели, требует соблюдения нормативных требований по надежности, безопасности и технологичности, а также обеспечения конструктивной универсальности для оптимизации производства и эксплуатации. Разработка модульных решений позволяет минимизировать количество уникальных деталей, что способствует упрощению сборки и снижению производственных затрат. Основной задачей исследования является разработка универсального корпуса для розеток и выключателей, обеспечивающего адаптивность к различным типам электрофурнитуры.

Предложенная конструкция универсального модуля обеспечивает унификацию комплектующих, что позволяет оптимизировать процесс производства, снизить себестоимость изделий и упростить их монтаж. Результаты проведенного анализа подтверждают соответствие разработанного решения требованиям эксплуатации и возможности его интеграции в существующие системы электрофурнитуры [1].

Основная часть

Разработка корпуса универсального модуля для розеток и выключателей в соответствие с рисунком 1 направлена на обеспечение надежности, безопасности, удобства эксплуатации и экономической эффективности. В процессе проектирования учитывались конструктивные и технологические аспекты, позволяющие снизить производственные затраты, упростить сборку и повысить надежность соединений.

Одним из ключевых элементов конструкции являются зажимы, обеспечивающие надежное соединение проводов. В ходе разработки рассматривались различные варианты исполнения зажимных механизмов. Прямые зажимы позволяют минимизировать риск повреждения изоляции и упрощают процесс подключения. Верхние и нижние зажимы требуют предварительной фиксации проводов, что увеличивает трудоемкость монтажа. Быстрозажимные механизмы обеспечивают удобство установки, однако могут снижать надежность контактов при длительной эксплуатации. Выбранное конструктивное решение направлено на обеспечение надежного соединения при соблюдении условий безопасного монтажа. Корпус универсального модуля разработан с учетом возможности его применения как для розеток, так и для выключателей. Унификация конструкции позволяет снизить количество уникальных деталей, что упрощает производство и сборку изделий. За счет модульного подхода обеспечивается возможность трансформации выключателей из

одноклавишного в двух– или трехклавишный вариант без необходимости замены корпуса. Выключатели, разработанные на основе данного модуля, предназначены для встраиваемого монтажа, что снижает вероятность механических повреждений. В конструкции предусмотрены стандартные крепежные элементы, обеспечивающие совместимость с монтажными коробками различных типов. Также реализована возможность регулировки положения крепежных элементов, что повышает удобство установки. Дополнительно выключатели оснащены светодиодным индикатором, облегчающим их использование в условиях недостаточного освещения [2].

Розетки разработаны в однопортовом исполнении с возможностью расширения за счет сменных модульных рамок. Такой подход обеспечивает гибкость конфигурации и удобство использования в различных условиях эксплуатации. В конструкции применены винтовые зажимы, обеспечивающие надежное соединение проводов при соблюдении требований к монтажу. Также предусмотрен заземляющий контакт, что повышает уровень безопасности при подключении электроприборов [3].

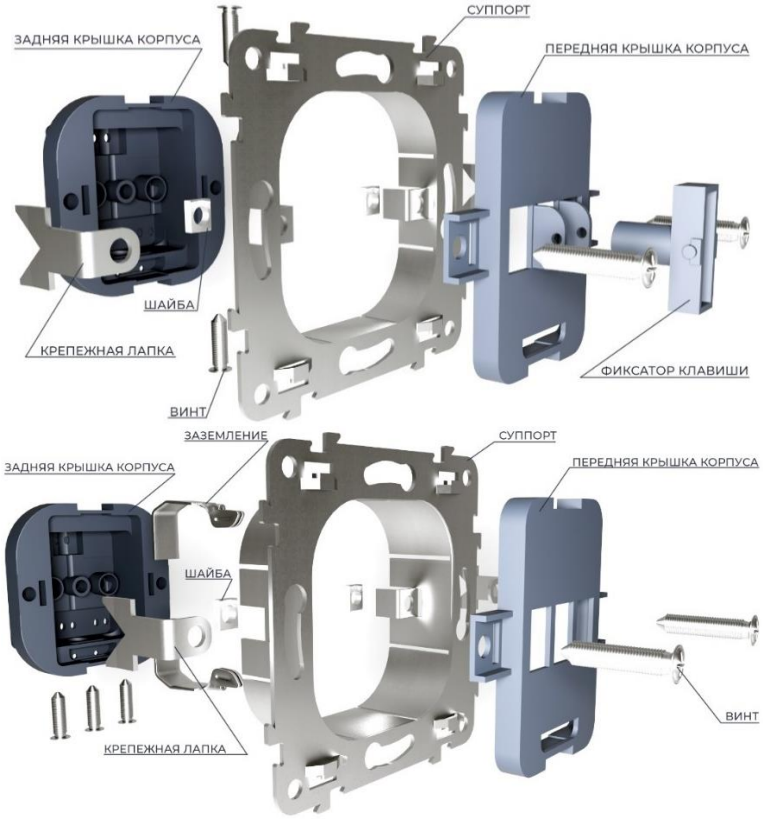


Рис. 1. Взрыв–схема универсального модуля

Таким образом, разработанный универсальный модуль розеток и выключателей позволяет унифицировать процесс производства, снизить затраты на изготовление, упростить сборку и повысить эксплуатационную надежность. Применение модульного подхода делает конструкцию удобной в использовании и адаптивной к различным типам электрофурнитуры.

Результаты

В результате проектирования был разработан универсальный модуль выключателя, который позволяет адаптировать устройство под различные конфигурации без необходимости замены основной конструкции. Данный модуль представлен в трех вариантах исполнения: одноклавишный, двухклавишный и трехклавишный выключатели, что позволяет использовать одну базовую платформу для разных типов электрофурнитуры в соответствие с рисунком 2.

Конструктивное решение включает несколько основных элементов:

Суппорт (серый цвет) – выполняет роль фиксирующего и несущего элемента, обеспечивающего жесткость конструкции и надежную установку в монтажной коробке. Конструкция суппорта предусматривает отверстия для крепления, позволяющие адаптировать выключатель под различные типы монтажных коробок.

Корпус выключателя (голубой цвет) – выполнен из термостойкого и негорючего пластика, что предотвращает перегрев и механические повреждения. Материал корпуса соответствует требованиям пожарной безопасности и обеспечивает устойчивость к внешним воздействиям.

Контактные механизмы – включают соединения для фазного и нулевого проводов, обеспечивая надежное электрическое соединение. Контакты выполнены из токопроводящих сплавов с высокой устойчивостью к окислению, что увеличивает срок службы устройства.

Переключатель клавиши (фиолетовый цвет) – предназначен для механического управления освещением. Конструкция обеспечивает плавное переключение и устойчивость к многократным нажатиям.

Лапки крепления (бирюзовый цвет) – служат для надежной фиксации выключателя в монтажной коробке, предотвращая его смещение. Крепежная система позволяет регулировать положение устройства, что облегчает установку.

Светодиодный индикатор (зеленый цвет) – встроен в конструкцию выключателя и предназначен для удобства эксплуатации в условиях недостаточного освещения.

Разработанный модуль выключателя отличается унификацией конструктивных элементов, что позволило снизить производственные затраты, уменьшить номенклатуру уникальных деталей и упростить процесс сборки. Использование универсального корпуса дает возможность трансформировать выключатели из одноклавишного в двух– и трехклавишный вариант, минимизируя затраты на производство и складирование комплектующих [4].

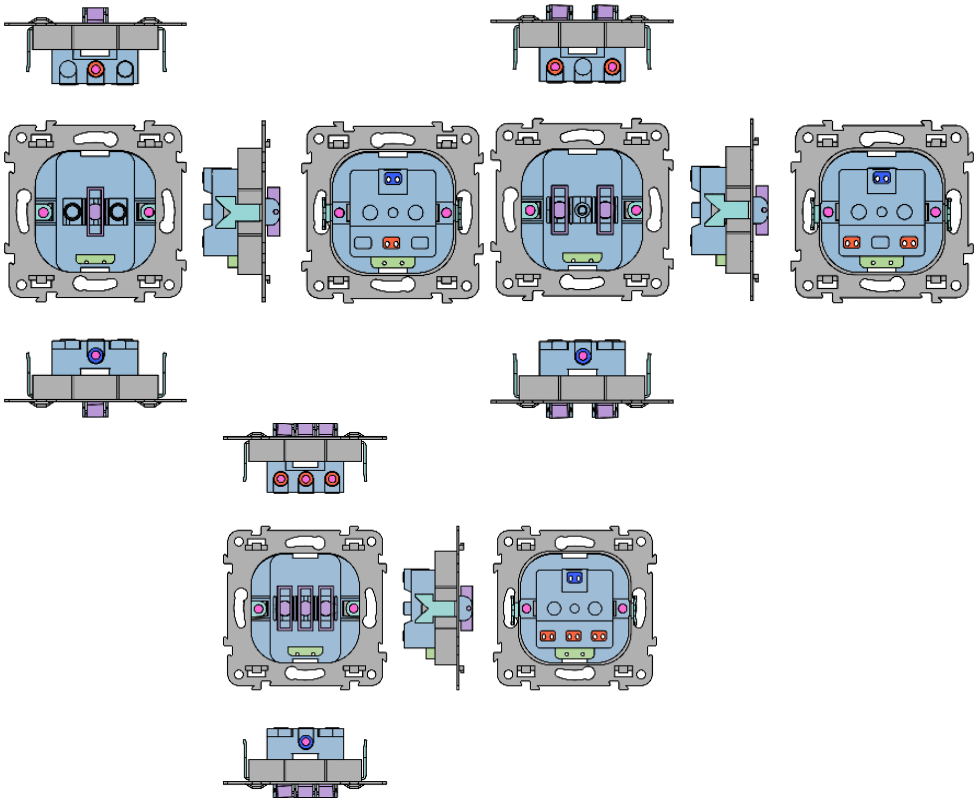


Рис. 2. Плоская комбинаторная схема выключателя

Проектирование розетки ориентировано на создание надежного и безопасного устройства, соответствующего требованиям эксплуатации в жилых и коммерческих помещениях в соответствие с рисунком 3. В основу конструкции заложены следующие элементы:

Суппорт (серый цвет) – фиксирующий элемент, обеспечивающий устойчивость и надежную установку розетки в монтажной коробке. Конструкция содержит отверстия для крепления, что позволяет адаптировать розетку к различным монтажным условиям.

Корпус розетки (синий цвет) – изготовлен из негорючего пластика с высокой термостойкостью, что предотвращает перегрев и увеличивает срок службы изделия. Материал корпуса соответствует стандартам безопасности и обеспечивает защиту от механических повреждений.

Контактные элементы – включают фазный (красный), нулевой (синий) и заземляющий (желтый) контакты, что обеспечивает безопасное подключение электроприборов. Контакты выполнены из сплавов с антикоррозийным покрытием, что повышает надежность соединения.

Крепежные элементы – конструкция предусматривает наличие лапок крепления (бирюзовый цвет) и винтовых соединений (розовый цвет), что гарантирует устойчивое закрепление розетки в монтажной коробке.

Для подключения проводов используется винтовой зажим, который обеспечивает надежное соединение при соблюдении норм монтажа. Применение данной технологии снижает риск ослабления контактов, что критически важно для предотвращения перегрева и коротких замыканий. Розетки поддерживают стандарт F, что делает их универсальными для жилых и коммерческих помещений. Конструкция обеспечивает совместимость с большинством электросетей, что расширяет сферу их применения.

Таким образом, разработанные модули выключателей и розеток соответствуют современным требованиям безопасности, надежности и технологичности. Предложенные решения соответствуют требованиям ГОСТ Р 50571.1–2013, что подтверждает их безопасность и эксплуатационные характеристики [5]. Использование стандартных решений и унифицированных конструктивных элементов делает их удобными в эксплуатации, адаптируемыми к различным условиям монтажа и экономически эффективными в производстве. Эти факторы способствуют повышению конкурентоспособности отечественной продукции на рынке электрофурнитуры.

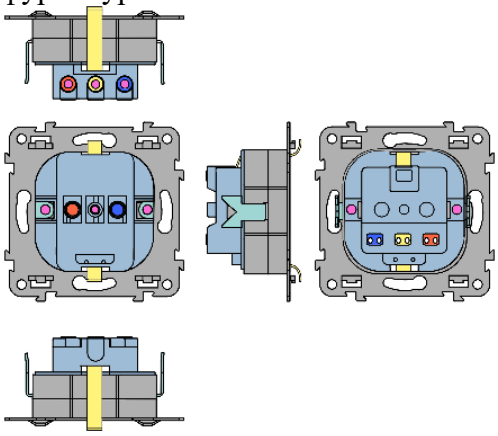


Рис. 3. Плоская комбинаторная схема розетки

Заключение

В ходе работы были разработаны универсальные модули розеток и выключателей, отвечающие требованиям безопасности, функциональности и удобства эксплуатации. Проектирование велось на основе ключевых критериев: надёжности, экономической эффективности и технологичности производства. Одним из существенных преимуществ

разработанного решения стала унификация конструкций, позволившая использовать один корпус как для розетки, так и для выключателя. Это позволило сократить количество применяемых пресс–форм на 50 %, устранив необходимость в изготовлении отдельных форм для каждого типа изделия. Учитывая, что пресс–форма является самой дорогостоящей частью в производстве пластиковых компонентов, данное решение позволяет существенно снизить производственные затраты. Точные показатели экономической эффективности будут определены на этапе расчёта экономической части проекта. Дополнительным конструктивным преимуществом разработанной модели является наличие на суппорте специального крепления для рамки, позволяющего снимать и заменять рамку без демонтажа клавиш. Это упрощает эксплуатационное обслуживание и ускоряет замену декоративных элементов. Кроме того, конструкция корпуса позволяет изменять количество клавиш – от одной до трёх – без необходимости замены основного модуля, что обеспечивает универсальность и удобство при производстве и эксплуатации.

Унификация конструкции и совместимость с существующими стандартами повышают конкурентоспособность отечественной продукции. Разработанный универсальный корпус служит базой для дальнейшего проектирования внешних рамок, клавиш управления и внутренней накладки розетки.

Список использованных источников

1. Discovery Research Group. Анализ рынка электротехнических изделий, розеток и выключателей эксклюзивного дизайна в России: аналитический отчет. – Москва: Discovery Research Group, 2023. – 145 с.

2. Петров А.С., Лебедев Е.А. Электроустановочные изделия. Розетки, выключатели, распределительные устройства. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 256 с.

3. Дизайн и технологичность современных розеток и выключателей. // Stroit.ru. – URL: https://stroit.ru/stati/dizayn-i-tehnologichnost-sovremennyh-rozetok-i-vyklyuchateley/?utm_source (дата обращения: 02.03.2025).

4. Проекты розеток и выключателей: важные этапы и лучшие практики // Energy-Systems.ru. – [Электронный ресурс]. – URL: energy-systems.ru/main-articles/proektirovanie-elektriki/proekty-rozetok-i-vyklyuchateley-vazhnye-etapy-i-luchshie-praktiki?utm_source (дата обращения: 02.03.2025).

5. ГОСТ Р 50571.1–2013. Электрические установки зданий. Часть 1. Общие правила. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 28 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ И ЭСТЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНТЕРЬЕРА ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Маркер Н.А.[1], Хмелевский Ю.П.[2]
[1] ТПУ, ИШИТР, гр. 8Д11, e-mail: nam36@tpu.r
[2] ТПУ, ИШИТР, ОАР, старший преподаватель, e-mail: hmelevskiy@tpu.ru

Аннотация

В статье рассматривается применение эргономических и эстетических исследований в проектировании интерьера пассажирского вагона с учетом нормативных требований ГОСТ и актуальных потребностей пользователей РЖД на 2024–2025 годы. Проведен анализ и оценка ключевых аспектов проектирования, включая требования к безопасности, функциональности, эргономике и эстетике. Приведены конкретные рекомендации по созданию интерьера, соответствующего современным стандартам и ожиданиям пассажиров.

Ключевые слова: дизайн интерьера вагона, эргономика, эстетика, проектирование, ГОСТы, пассажирские вагоны, РЖД, комфорт, безопасность.

Актуальность

В современном мире железнодорожный транспорт остается одним из наиболее востребованных и экологичных способов передвижения. Однако уровень комфорта в пассажирских вагонах часто не соответствует текущим ожиданиям. Пассажиры требуют не только функциональности, но и эстетики, создающей приятное впечатление от поездки. Решение задач, связанных с адаптацией форм и колористических решений под нужды различных групп пользователей, становится приоритетным направлением в проектировании. Это особенно важно в контексте конкуренции железнодорожного транспорта с авиаперевозками и личными автомобилями.

Введение

Проектирование интерьера пассажирского вагона – это комплексный процесс, включающий как функциональные, так и эстетические аспекты. Важнейшая задача – создание пространства, которое будет комфортным и безопасным для всех пассажиров. В этом контексте ключевую роль играют эргономика и эстетика, которые должны быть тщательно проработаны и согласованы с нормативными требованиями, действующими ГОСТами и современными потребностями пассажиров.

Основная часть

Эргономика представляет собой науку, изучающую взаимодействие человека с окружающей средой, включая элементы, такие как мебель, осветительные приборы и системы управления. В контексте проектирования интерьера вагона эргономика не только включает в себя соответствие стандартам безопасности, но и создание комфортных условий для пассажиров. Одним из основных направлений эргономического проектирования является адаптация интерьера под антропометрические данные пользователей, что особенно важно в условиях современного транспорта, где пассажиры имеют различные физиологические характеристики. Применение эргономических исследований позволяет учитывать такие параметры, как размеры и форма сидений и спальных мест, безопасность, интерьер для людей с ограниченными возможностями, удобство передвижения и размещения багажа.

Для улучшения комфорта важно, чтобы сиденья были достаточной ширины с возможностью регулировки угла наклона спинки. Спальные места должны иметь оптимальные размеры, чтобы пассажир мог удобно разместиться, а также обеспечивать достаточное пространство для ног. Эргономические исследования подсказывают, как

избежать острых углов и других потенциально травмоопасных элементов, что имеет особое значение в условиях движения поезда. Рекомендуется использовать закруглённые углы и прочные материалы для мебели, чтобы минимизировать риски травм при возможных резких движениях поезда. Применение эргономических принципов позволяет создавать комфортные условия для всех категорий пассажиров, в т. ч. пожилых людей и инвалидов. Это включает в себя такие решения, как установка более широких дверей и проходов, а также применение кресел и спальных мест с возможностью регулировки высоты или угла наклона. Важным аспектом является обеспечение свободного пространства для передвижения: пассажиры должны иметь возможность беспрепятственно перемещаться по вагону, особенно в ночное время.

Существующие ГОСТы в области проектирования интерьера вагонов, включают требования к размерам сидений, спальных мест, проходов и других элементов интерьера, что помогает разработчикам учитывать размеры и физиологические особенности различных категорий пассажиров, включая пожилых людей и инвалидов, а также обеспечивать безопасность и комфорт на протяжении всего пути.

1. ГОСТ Р 51681-2013 «Пассажирские вагоны. Общие технические требования»: этот стандарт устанавливает требования к конструкции и оборудованию пассажирских вагонов, направленные на обеспечение безопасности и комфорта. Он включает параметры, такие как минимальная ширина прохода между рядами сидений или полок (600 мм) и ширина сидений (полок) от 600 мм до 700 мм для стандартных полок в плацкартных вагонах.

2. ГОСТ Р 52162-2003 «Вагон пассажирский. Требования к безопасности эксплуатации»: данный ГОСТ регулирует аспекты безопасности эксплуатации вагонов, включая требования к прочности и надежности элементов интерьера. Он предписывает, что все элементы интерьера, такие как полки, шторки и перегородки, должны быть укреплены таким образом, чтобы в экстренной ситуации они не препятствовали эвакуации пассажиров. Также двери должны быть конструктивно защищены от случайного открывания во время движения и обеспечивать легкий доступ к выходам в случае аварийной эвакуации.

3. ГОСТ Р 55926-2014 «Пассажирские вагоны. Требования к интерьеру»: этот стандарт описывает требования к интерьеру вагонов, направленные на повышение комфорта пассажиров. Он включает минимальные размеры спальных мест (длина полки не менее 1900 мм, ширина от 700 мм до 800 мм, высота между полками не менее 700 мм) и требования к багажным полкам (минимальная высота от пола 400 мм). Также стандарт предусматривает системы освещения с индивидуальной регулировкой яркости и требования к кондиционированию и климат-контролю для обеспечения комфортной температуры и влажности в вагоне.

Эстетическое восприятие интерьера вагона также играет ключевую роль в общем впечатлении от поездки. Эстетика не только формирует визуальное восприятие пространства, но и влияет на психологическое состояние пассажиров. Пространство вагона должно быть комфортным и способствовать расслаблению. Для этого важно правильно подобрать цветовые решения, формы и материалы. Светлые нейтральные оттенки, такие как бежевый или светло-серый, создают ощущение простора, что особенно важно в ограниченном пространстве. Эти цвета подходят для общей отделки, а для выделения функциональных зон (например, мест для багажа или туалетных комнат) можно использовать яркие акценты – оранжевый или желтый. Освещение должно быть организовано так, чтобы не утомлять глаза и создавать уют. Регулируемое освещение позволяет пассажирам настраивать его под свои предпочтения: яркие холодные оттенки света днем стимулируют активность, а теплые мягкие – способствуют расслаблению ночью.

Материалы для отделки также имеют значение. Для сидений и спальных мест рекомендуется использовать долговечные и приятные на ощупь ткани, повышающие комфорт. Экологически чистые и антимикробные покрытия способствуют гигиеничности. При выборе материалов учитываются прочность, пожарная безопасность (ГОСТ 12.1.044-2018),

устойчивость к загрязнениям и легкость в уходе. Отделка стен и потолков может выполняться из алюминиевых композитных панелей и огнестойкого пластика, а сидения и спальные места – из антивандальных огнестойких тканей с пенополиуретановыми наполнителями.

Эстетика интерьера должна учитывать современные тренды дизайна, где минимализм и функциональность сочетаются с новыми технологиями. Введение мультимедийных решений, таких как экраны для развлечений или встроенные системы Wi-Fi, повышает привлекательность и удобство пространства.

Интеграция новых технологий также важна. Системы регулировки климата и освещения для каждого места, розетки и USB-порты для зарядки устройств делают поездки более комфортными, особенно длительные

Для выявления более конкретных потребностей пассажиров были проанализированы отзывы, собранные в период с января по ноябрь 2024 года, а также проведены сравнительные исследования с международными стандартами комфорта в железнодорожном транспорте [3].

1. Личное пространство: пассажиры отмечают недостаток приватности в существующих вагонах. куба.

2. Размеры спальных мест: увеличение длины и ширины полок до 2 метров и 80 см соответственно позволит повысить комфорт. В новых моделях плацкартных вагонов РЖД уже реализовано увеличение длины полок до 2 метров.

3. Хранение багажа: недостаток места для багажа является частой жалобой. Рекомендуется внедрение ниш под полками и расширенных багажных полок над сиденьями.

4. Освещение и климат-контроль: пассажиры выражают потребность в индивидуальном управлении освещением и температурой. Внедрение персонализированных систем освещения и климат-контроля повысит удовлетворенность [4].

Также стоит учесть, что в стандартном плацкартном вагоне 54 места, в купе 4 места, необходимо сохранить в дальнейшем проектировании максимально возможное количество мест близкое к этому значению, пример габаритных размеров и параметров планировки некупейного вагона со спальными местами представлен на рисунке 1.

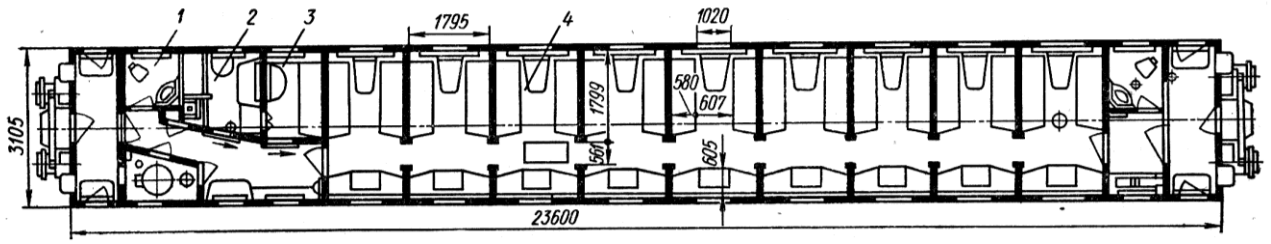


Рис. 1. Планировка некупейного вагона со спальными местами

Одним из решений может быть внедрение модульных конструкций, позволяющих пассажирам индивидуально организовывать своё пространство, например, систему перегородок, которые пассажиры могут использовать по своему усмотрению. В настоящее время разработчики вагонов начинают учитывать потребности не только стандартных пассажиров, но и людей с ограниченными возможностями, пожилых граждан и семей с детьми. Введение в проекты вагонов элементов, учитывающих потребности этих групп, таких как более широкие проходы и доступные туалетные комнаты, значительно повышает качество обслуживания пассажиров.

Черновой эскиз, рисунок 2, разработан с учетом выявленных требований и критериев, обеспечивая баланс между функциональностью и комфортом пассажиров. Основное внимание уделено эргономике, гибкости пространства и приватности.

Между рядами у окна расположен модульный шкаф для багажа и верхней одежды со складными боковыми стенками, которые при необходимости трансформируются в удобный стол. Верхние полки включают отделения для чемоданов, позволяя рационально использовать доступное пространство.

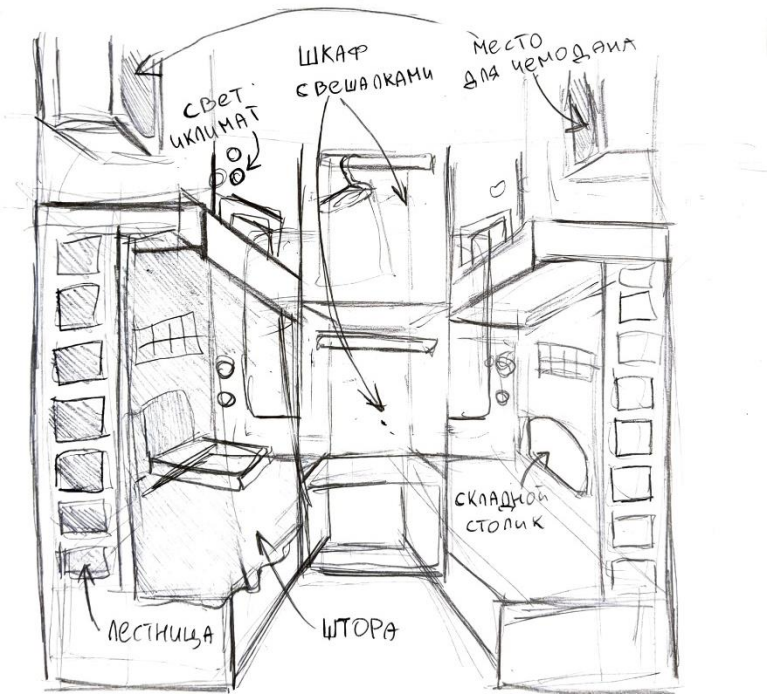


Рис. 2. Черновой эскиз интерьера вагона

Особое внимание уделено личному пространству пассажира: предусмотрена индивидуальная система контроля света и климата, обеспечивающая комфортное пребывание на протяжении всей поездки. Над кроватью установлена шторка, создающая зону уединения и защищающая от постороннего света и шумов. Таким образом, конструкция эскиза направлена на повышение удобства и адаптивности пространства в зависимости от потребностей каждого пассажира.

Выводы

Внедрение предложенных изменений направлено на создание комфортного и функционального пространства, соответствующего современным требованиям и ожиданиям пассажиров. Ожидается, что обновленные вагоны будут способствовать повышению удовлетворенности пассажиров и конкурентоспособности железнодорожных перевозок.

Заключение

Результаты исследования подтверждают необходимость комплексного подхода к проектированию интерьеров пассажирских вагонов. Адаптация форм под антропометрические особенности пассажиров обеспечивает эргономику и безопасность, минимизируя риск травм и дискомфорта. Использование светлых и нейтральных оттенков способствует визуальному расширению пространства, тогда как продуманные цветовые акценты помогают выделять функциональные зоны. Колористические решения, дополненные современными материалами с антимикробными свойствами, значительно повышают уровень гигиеничности вагонов. Интеграция новых технологий, таких как индивидуальное освещение и климат-контроль, способствует созданию персонализированной среды, что особенно важно для семей с детьми, маломобильных пассажиров и пожилых людей. Данные рекомендации могут быть внедрены в новые проекты или использованы для модернизации существующего парка вагонов, что позволит повысить их конкурентоспособность и удовлетворённость пассажиров. Проведённое исследование открывает перспективы для дальнейшего изучения влияния интерьеров на психологическое состояние и удовлетворённость пассажиров.

Эргономические и эстетические исследования играют ключевую роль в проектировании интерьера пассажирского вагона. Они позволяют учитывать не только технические, но и человеческие аспекты, обеспечивая высокий уровень комфорта для пассажиров. Реализация предложенных изменений с учётом современных стандартов и ГОСТов поможет повысить удовлетворённость пассажиров и улучшить качество обслуживания на железнодорожном транспорте

Список использованных источников

1. Иванов И.И., Петров П.П., Сидоров С.С. Основы проектирования интерьеров пассажирских вагонов // Дизайн и эргономика. – 2020. – Т. 15, № 3. – С. 5–15.

2. Ивашкин В.Т. Психологическое воздействие цвета на пассажиров // Журнал транспортной психологии. – 2019. – Т. 8, № 1. – С. 25–33.

3. Формирование комфортной среды для пассажиров поездов дальнего следования // Российский журнал дизайна и технологий. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 40–51.

4. Материалы для проектирования вагонов: современные решения // Журнал технологий транспорта. – 2020. – Т. 18, № 5. – С. 55–67.

5. ГОСТ Р 51628-2000. Пассажирские вагоны. Требования к внутреннему оборудованию. – [Электронный ресурс]. – URL: gost.ru – (дата обращения: 12.11.2024).

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭРГОНОМИКА МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ДЛЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Кирилова М.В.[1], Давыдова Е.М.[2]
[1]ТПУ ИШИТР ОАР, студент, e-mail: mvk54@tpu.ru
[2]ТПУ ИШИТР ОАР, старший преподаватель, e-mail: davydova@tpu.ru

Аннотация

В статье рассматриваются принципы проектирования и эргономика модульных систем хранения для жилых помещений. Анализируются гибкость, трансформируемость, конструктивные особенности и удобство использования. Особое внимание уделяется экологичности, минимализму и функциональности, позволяющим адаптировать мебель под различные потребности пользователей.

Ключевые слова: промышленный дизайн, модульная мебель, интерьер помещений, дизайн интерьера, организация пространства.

Введение

Современные жилые помещения требуют рационального использования пространства, особенно в условиях ограниченных квадратных метров. Одним из наиболее эффективных решений становятся модульные системы хранения. Они позволяют адаптировать мебель под конкретные нужды пользователей, меняя конфигурацию, расширяя или сокращая количество элементов. Целью данной статьи является исследование основных подходов к проектированию модульных систем хранения с акцентом на их эргономические свойства, а также разработка эскизных решений, демонстрирующих возможности оптимального использования жилого пространства.

Теоретические основы проектирования

Модульные системы хранения могут быть классифицированы по назначению, месту установки и типу конструкций. Их ключевая особенность – универсальность и адаптивность. Такие системы состоят из отдельных элементов (модулей), которые можно комбинировать и адаптировать под потребности пользователя. Это решение особенно эффективно в малогабаритных квартирах или студиях, где важно рационально использовать каждый сантиметр пространства.

С течением времени модульные системы прошли долгий путь от простых стеллажей и шкафов до высокотехнологичных конструкций с возможностью интеграции с "умным домом" и использования экологичных материалов.

Классификация модульных систем хранения

В зависимости от функционала и конструктивных особенностей модульные системы хранения можно классифицировать следующим образом:

1. По месту установки: настенные, напольные, подвесные, встроенные.
2. По типу конструкций: открытые (стеллажи, полки), закрытые (шкафы, ящики), трансформируемые (выдвижные, складные) (Рисунок 1).
3. По назначению: для хранения одежды, книг, кухонной утвари, документов и др.
4. Выбор конструкции зависит от специфики помещения и потребностей пользователей.

Рис. 1. Пример открытой конструкции для хранения

Принципы проектирования модульных систем хранения

Основными принципами проектирования модульных систем хранения являются:

1. Универсальность – возможность адаптации системы под разные задачи и размеры помещения.

2. Адаптивность – возможность изменения конфигурации и добавления новых модулей.

3. Оптимизация пространства – использование каждого элемента для максимальной функциональности, без потери эстетики.

Ключевой особенностью модульных систем хранения является их гибкость. В отличие от традиционной мебели, такие системы состоят из отдельных элементов, которые можно комбинировать, создавая различные варианты компоновки. Это позволяет адаптировать мебель под изменения в интерьере и потребности владельца.

Современные модульные системы включают в себя открытые и закрытые секции, полки, выдвижные ящики, гардеробные модули и даже встроенные рабочие зоны. Конструкция обычно основана на стандартизированных модулях, что упрощает их производство и сборку. Некоторые модели предусматривают возможность подвешивания секций, что позволяет экономить пространство и облегчает уборку.

Выбор материалов и конструктивных решений

Для производства модульных систем хранения применяются различные материалы:

1. Дерево и МДФ – экологичны и эстетичны, но требуют ухода.

2. Металл – прочный, долговечный, подходит для индустриального стиля.

3. Пластик – легкий и доступный, но менее устойчивый.

4. Комбинированные материалы – обеспечивают баланс прочности, легкости и внешней привлекательности.

Конструктивные решения могут включать выдвижные механизмы, скрытые крепления, магнитные фиксаторы и инновационные технологические элементы.

Эргономика и удобство использования

Эргономика играет решающую роль при проектировании систем хранения. Основная задача – сделать их максимально удобными для пользователя, обеспечивая легкий доступ к вещам. Оптимальная высота расположения полок и секций зависит от роста человека, частоты использования предметов и их габаритов. Например, верхние секции обычно используются для хранения сезонных вещей, а наиболее доступные полки предназначены для повседневных предметов. Важно учитывать не только высоту размещения, но и глубину полок. Слишком глубокие секции затрудняют доступ к вещам, находящимся в задней части. Оптимальная глубина варьируется от 30 до 60 см в зависимости от предназначения модуля. В гардеробных системах часто применяются выдвижные механизмы, позволяющие компактно хранить одежду и аксессуары.

Для повышения удобства современные системы хранения оснащаются дополнительными элементами: встроенными светильниками, доводчиками, раздвижными и складными дверцами. Всё это улучшает функциональность мебели и делает её использование комфортнее.

Основные принципы эргономики

Эргономика проектирования модульных систем хранения направлена на создание комфортного и безопасного использования мебели. Одним из важнейших аспектов является оптимальное размещение элементов. Это означает, что предметы, которыми пользователь пользуется чаще всего, должны находиться в легкодоступных зонах – на уровне глаз или рук. Такое расположение минимизирует необходимость наклоняться или тянуться вверх, что снижает физическую нагрузку и повышает удобство использования.

Другой важный аспект – минимизация физических усилий. Встроенные механизмы, такие как выдвижные ящики, плавные направляющие, газовые лифты и удобные ручки, способствуют легкому и бесшумному доступу к предметам. Это особенно важно для людей с ограниченными возможностями или пожилых пользователей.

Безопасность также играет ключевую роль. Все конструкции должны быть устойчивыми, чтобы исключить возможность опрокидывания, а углы и края – закругленными для предотвращения травм. Использование плавных механизмов закрывания и противоударных амортизаторов повышает уровень безопасности при эксплуатации.

Дополнительно учитываются параметры освещенности – использование встроенной подсветки в шкафах и стеллажах облегчает поиск нужных предметов и повышает комфортность эксплуатации.

Антропометрические параметры в проектировании

Учет антропометрических данных способствует повышению удобства эксплуатации модульных систем хранения:

1. Оптимальная высота полок – 120–180 см.
2. Максимальная глубина шкафа – 60 см.
3. Высота удобного расположения ящиков – 40–100 см от пола.

Конструктивные особенности

Модульные системы хранения могут изготавливаться из различных материалов, включая дерево, металл, пластик и стекло. Выбор материалов влияет на долговечность конструкции, её эстетический вид и стоимость. Дерево и МДФ придают мебели классический вид, в то время как металл и стекло используются для создания современных интерьеров.

Конструктивно такие системы часто состоят из несущего каркаса, на который крепятся полки, дверцы и выдвижные ящики. В некоторых моделях используются скрытые крепления, которые создают эффект парящей мебели и улучшают визуальное восприятие пространства. Различные системы крепления (винтовые, шиповые, магнитные) позволяют быстро разбирать и собирать мебель, что удобно при переезде или смене интерьера.

Разработка эскизов

При создании черновых эскизов важно учитывать эргономические параметры: удобство доступа, оптимальные размеры полок и секций, а также прочность и устойчивость конструкции (Рисунок 2). Дальнейшая проработка эскизов может включать 3D-моделирование, позволяющее более точно оценить компоновку и внешний вид системы. Этот процесс является важным шагом перед переходом к производству и сборке изделия.

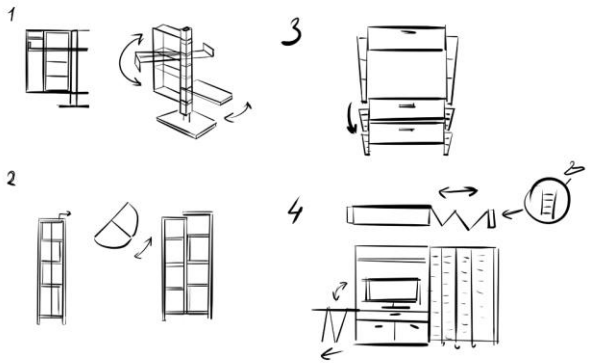


Рис. 2. Эскизы модульной мебели

Разработка эскизов позволяет не только продумать внешний вид системы, но и выявить возможные недостатки ещё до этапа производства. Это особенно важно при проектировании нестандартных решений, включающих интегрированные рабочие зоны, скрытые механизмы или трансформируемые элементы. На стадии разработки эскизов важно не только продумать расположение и размеры модулей, но и учесть инновационные технологии, которые могут быть использованы, например, системы автоматического открывания или встроенные датчики для умного дома.

Заключение

Модульные системы хранения – это не только функциональные элементы интерьера, но и важные компоненты, которые помогают рационально использовать пространство. Разработка таких систем требует комплексного подхода, который включает как теоретическое изучение принципов проектирования, так и практическое создание эскизов. С учетом эргономики и современных тенденций в дизайне можно создать систему, которая будет не только удобной, но и эстетичной, обеспечивая гармонию и комфорт в любом жилом помещении.

Эскизы играют важную роль в этом процессе, позволяя визуализировать концепцию и обеспечить правильное расположение элементов с учётом всех нужд пользователя и особенностей помещения.

Список использованной литературы

1. Аронов В.Б. Эргономика и дизайн интерьера. – М. : Архитектура-С, 2015. – 176 с.
2. Бобрик М.И. Дизайн мебели. Теория и практика. – СПб. : Питер, 2018. – 288 с.
3. Кандинский В.А. Основы проектирования мебели. – М. : Логос, 2017. – 240 с.
4. Зубков С.В., Медведева О.А. Эргономика мебели и предметного дизайна. – Екатеринбург : УралГАХА, 2016. – 190 с.
5. Чаянов С.А. Технологии производства мебели. – М. : Академия, 2020. – 304 с.

НАУЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНО-КОМФОРТНЫХ ИНТЕРЬЕРНЫХ ФОРМ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГРИБНОЙ ФЕРМЫ

Присяжная А.И.[1], Кухта М.С. [2]
[1] Томский Политехнический университет, ИШИТР ОАР, гр. 8Д11, e-mail: aip27@tpu.ru
[2] Томский Политехнический университет, д. филос. н., профессор, e-mail: kuhta@tpu.ru

Аннотация

В статье представлено исследование визуально-комфортных форм для автоматизированной грибной фермы, предназначенной для размещения в жилом интерьере. Рассмотрены аспекты эргономики, формы, материалов и восприятия. Разработана концепция устройства, сочетающего функциональность с эстетической адаптацией к повседневной среде пользователя.

Ключевые слова: Ферма, грибы, форма, цвет, комфорт, эргономика, интерьер.

Введение

Системы для выращивания грибов в домашних условиях становятся всё более популярными благодаря автоматизации процессов и высокой продуктивности. Однако при их разработке часто игнорируется аспект визуального комфорта – несмотря на то, что подобные устройства размещаются в жилом пространстве. Между тем визуально неадаптированные конструкции нарушают гармонию интерьера, воспринимаются как технические, чуждые элементы.

Целью данного исследования стало проектирование концепта автоматизированной грибной фермы, сочетающего функциональность и визуальный комфорт. В фокусе – формы, материалы, освещение и принципы эргономики, обеспечивающие гармоничное восприятие объекта в интерьере.

Проблема визуальной адаптации технических устройств

Автоматизированная грибная ферма сочетает в себе сразу несколько визуально конфликтных элементов: технологическую начинку (механизмы увлажнения, вентиляции, освещения), органическую сущность (растущий живой организм) и требования к чистоте и безопасности. Без осознанного проектирования её внешнего облика возникает риск, что устройство будет восприниматься как «кустарная лаборатория» или неуместный объект технического назначения – особенно в жилом интерьере, где доминируют мягкие линии, натуральные материалы и эмоциональная теплота.

Наиболее остро проблема адаптации проявляется в интерьерах с выраженной стилистической направленностью – скандинавский, экостиль, минимализм, прованс – где любой инородный объект немедленно нарушает визуальный ритм и вызывает ощущение диссонанса. Кроме того, эстетическая «отчуждённость» устройства способна вызывать неосознанное сопротивление у пользователя, особенно если это устройство требует регулярного контакта, внимания и ухода. В таких условиях визуальная адаптация перестаёт быть вопросом вкуса – она становится ключевым условием успешной интеграции технологии в жизнь человека.

Анализ существующих грибных ферм Shrooly и Mellaя, на рисунке 1, показывает, что даже при высоком уровне автоматизации большинство решений остаются визуально тяжёлыми: имеют открытые элементы, индустриальный облик, несоответствие бытовому пространству. Кроме того, крупногабаритные конструкции часто обладают шумом, сложным управлением и не интуитивным интерфейсом.

Рис. 1. Грибная ферма от Mella

Промышленные решения не учитывают домашний микроклимат и эстетические предпочтения пользователей. Домашние же мини-фермы страдают от перегрева, нестабильной влажности, риска заражения и визуальной громоздкости.

Решение данной проблемы – это переход от чисто технического проектирования к принципам эмоционального и визуального дизайна, где форма, цвет, пропорции, фактура и ассоциации играют равнозначную роль с функциональностью. Грибная ферма должна не просто "работать", но и "существовать" в пространстве: быть узнаваемой, вызывающей интерес, не раздражающей и, в идеале, – приносящей удовольствие от созерцания. Именно в этом контексте так важны выбор формы (плавная, компактная, знакомая), материалов (тактильно и визуально приятные), степени открытости (возможность наблюдения за ростом грибов), а также интеграция устройства в ритм и палитру интерьера.

Сфера, купол, компактный домик или модульная система с визуально организованными ячейками – всё это примеры форм, которые позволяют смягчить восприятие устройства, сделать его более «домашним» и привычным. Такая форма может даже изменить отношение к самому процессу: из агротехнического – в эстетико-биофильное, когда выращивание грибов воспринимается как элемент ухода, творчества или созерцания.

Таким образом, проблема визуальной адаптации автоматизированной грибной фермы – это не только задача внешнего оформления. Это более глубокий вопрос о том, как технологии становятся частью жизни, не нарушая визуальную и эмоциональную целостность пространства. Только та форма, которая одновременно понятна, безопасна и вызывает положительный отклик, может быть по-настоящему адаптирована к интерьеру, превращая технический объект в естественную часть повседневности.

Разработка визуально-комфортного решения

В процессе проектирования визуально-комфортной автоматизированной грибной фермы была проведена комплексная разработка пяти альтернативных концептуальных решений, рисунок 2, каждое из которых анализировалось с позиции эргономики, визуального восприятия, технологичности и степени интеграции в интерьерную среду. Основное внимание уделялось таким параметрам, как характер формообразования (геометричность, плавность, биоморфность), конструктивная логика расположения функциональных элементов (ячейки, интерфейс, освещение), способ подачи и рассеивания света внутри устройства, а также соответствие формальных признаков эстетике современных жилых пространств. При этом особое значение придавалось психологическому восприятию устройства: его способности не доминировать в помещении, вызывать чувство уюта, доверия и эмоциональной вовлечённости в процесс выращивания грибов. Конечной целью стало создание функционального прибора, который воспринимается не как сугубо технический объект, а как визуально гармоничный элемент интерьера, способный органично существовать в повседневной бытовой среде.

Наиболее сбалансированным стал второй концепт – прямоугольный корпус с закруглёнными углами, прозрачными стенками и модульной внутренней структурой. Его

формообразование базируется на принципах визуальной эргономики и эмоционального дизайна.

Рис. 2. Концепции грибных ферм

Форма корпуса представляет собой лаконичный прямоугольный объём со скруглёнными углами, благодаря чему достигается визуальный баланс между технологичной геометрией и домашним мягким обликом. Скругления способствуют снижению визуального напряжения и ассоциируются с безопасностью. Согласно исследованиям Дональда Нормана, округлые формы воспринимаются пользователями как более «дружелюбные», они формируют ощущение доверия и комфорта при длительном взаимодействии.

Пространственная организация внутри корпуса основана на чёткой модульной сетке: 15 ячеек организованы в равномерной структуре, обеспечивая логичную и предсказуемую визуальную композицию. Это снижает ментальную нагрузку, облегчает уход за устройством и восприятие объекта как «упорядоченного».

Использование прозрачных стенок (из акрила или поликарбоната) позволяет реализовать эффект «живой витрины» – пользователь наблюдает за ростом грибов, что повышает эмоциональную вовлечённость, формирует привычку к уходу и усиливает ощущение сопричастности к процессу. Кроме того, прозрачные панели визуально облегчают корпус, уменьшая ощущение громоздкости.

Цветовое решение – в нейтральной гамме (белый, песочный, серый) с матовой текстурой. Матовые поверхности уменьшают блики и делают устройство менее заметным в интерьере, легко вписываясь как в скандинавские, так и в современные минималистичные интерьеры. Материалы корпуса выбраны с учётом гигиенических, эксплуатационных и визуальных требований: термостойкий пластик для корпуса, акрил для прозрачных вставок, силиконовые прокладки в зонах контакта. Такая комбинация обеспечивает долговечность, влагостойкость и лёгкость в уходе.

Световой модуль, интегрированный в верхнюю панель устройства, обеспечивает равномерное внутреннее освещение, необходимое для роста грибов. Используются LED-лампы с возможностью настройки цветовой температуры. Тёплый рассеянный свет создаёт уютное освещение в помещении и может функционировать как декоративный элемент, усиливая визуальную привлекательность фермы в вечернее время.

Интерфейс управления расположен на фронтальной панели и выполнен в виде небольшого дисплея с сенсорными кнопками. Он лаконичен, не перегружен, и его элементы интуитивно понятны. Это позволяет сократить время обучения пользователя и повысить комфорт взаимодействия.

В целом, концепция №2 представляет собой уравновешенное решение, в котором сочетаются визуальный комфорт, технологичность и эстетическая адаптация к условиям жилого интерьера. Устройство воспринимается не как инородный технический блок, а как естественная часть домашнего пространства, вызывающая положительные ассоциации и приглашающая к взаимодействию.

С эстетической и функциональной интеграции следует рассмотреть аспект когнитивной доступности формы – её способности быть понятной и предсказуемой с точки зрения

взаимодействия. Человек на интуитивном уровне тянется к объектам, форма которых легко распознаётся, вызывает ассоциации и не требует усилий для восприятия. Именно по этой причине формы, отсылающие к знакомым типологиям – например, домик, купол, капсула или даже простой прямоугольник с мягкими гранями – оказываются предпочтительнее в бытовом контексте, нежели абстрактные или инженерные конструкции.

Грибная ферма – это не просто устройство, а новый тип предмета быта, на стыке технологии, природы и визуального комфорта. И именно от того, насколько точно её форма будет соответствовать ожиданиям, потребностям и визуальной культуре пользователя, зависит успех её адаптации в реальной домашней среде. Здесь особенно важны мягкость форм, ассоциативная близость, зрительная «лёгкость», ясность устройства и ощущение заботы, которое она визуально транслирует.

Таким образом, визуально-комфортная форма грибной фермы должна не только «вписываться» в интерьер, но и поддерживать эмоциональную гармонию между человеком и предметной средой. Это уже не просто функция, а форма визуального и психологического диалога, в котором технология становится понятной, не пугающей, не перегружающей и, в идеале – вдохновляющей. Только в этом случае автоматизированная ферма может быть не только полезной, но и эстетически ценной частью повседневной жизни.

Заключение

В результате проведённого исследования была разработана концепция автоматизированной грибной фермы, адаптированной для использования в жилом пространстве и отвечающей критериям визуального комфорта. Проект основан на принципах эргономики, эмоционального дизайна и современной интерьерной культуры, где функциональность неизбежно переплетается с эстетикой повседневной среды.

В процессе разработки особое внимание уделялось таким ключевым параметрам, как форма корпуса, характер освещения, тактильные и визуальные свойства материалов, а также способность устройства гармонично интегрироваться в интерьер без визуального напряжения или ощущения «технической инородности». Использование нейтральной цветовой палитры, плавных обводов и прозрачных конструктивных элементов позволило переосмыслить образ технического устройства, превратив его из утилитарного агрегата в выразительный, понятный и эмоционально «мягкий» объект повседневной жизни.

Проведённый анализ подтвердил, что визуальный комфорт – не второстепенное качество, а значимая категория в проектировании современных автоматизированных систем. Он влияет не только на восприятие формы, но и на общее эмоциональное отношение пользователя к технологии, формируя готовность к принятию и ежедневному взаимодействию. Разработанная концепция может служить основой для дальнейших проектных решений, направленных на адаптацию высокотехнологичных объектов под реальные потребности человека, его привычки, восприятие и эстетику пространства. Грибная ферма, таким образом, становится не просто функциональным устройством, а новой формой культурного и предметного диалога между человеком и средой его обитания.

Список использованных источников

1. Эргономичный интерьер: как создать комфортное и функциональное пространство? // Дзен: сайт. – 2023. – [Электронный ресурс]. – URL: dzen.ru/a/ZPy3X7ZlbXapu8Jo (дата обращения: 20.02.2025).

2. FLORA Jumbo Module // FLORA Space: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: floraspace.ru (дата обращения: 20.02.2025).

3. Производство грибов: условия и оборудование. Перспективы выращивания грибов // Eurasia Group: сайт. – 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: eurasia-group.ru/blog/articles/proizvodstvo-gribov-usloviya-i-oborudovanie-perspektivy-vyrashchivaniya-gribov/ (дата обращения: 20.02.2025).

ЮЗАБИЛИТИ ТЕСТИРОВАНИЕ В КОНТЕКСТЕ ВЛИЯНИЯ НА ПРОДУКТ И КОНЕЧНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Костин Д.А. [1]
Научный руководитель: Серяков В.А. [2]
[1] *Томский политехнический университет, ИШИТР, гр. 8ИМ32, студент, dak135@tpu.ru*
[2] *Томский политехнический университет, ИШИТР, к.т.н, доцент ОАР, seryakov@tpu.ru*

Аннотация

Был проведен редизайн приложения психологической диагностики на основе юзабилити тестирования текущего дизайна, оценки предпочтения и юзабилити бенчмаркинга разных сценариев нового дизайна приложения.

Ключевые слова: юзабилити тестирование, оценка предпочтений, интерфейс, приложение, психология.

Введение

Психологическая диагностика сотрудников в эпоху выгорания является одним из основных способов борьбы с текучестью кадров. Так, по данным Хэдхантера, с выгоранием сталкивалось 49 % респондентов, а проблема проявляется в большинстве сфер. В среднем по стране текучесть кадров растет, достигая 45 % в сфере продаж и 42 % в сфере производства. Наиболее частыми причинами ухода являются причины психологического характера. В такой ситуации становится актуальным решение сложившейся проблемы с применением психологических инструментов в новой форме – с помощью приложения самодиагностики.

Целью этого исследования понять влияние исследовательского подхода в дизайне на продукт и пользователей. Как методы исследования позволяют измерять эффективность применяемых инструментов психологической диагностики. Исследовательский подход применялся к приложению психологической помощи «Одеяло» в рамках проведения его редизайна. Поскольку приложение направлено на B2B-сегмент, оно имеет часть для непосредственных пользователей – сотрудников компаний и отдельный сервис для менеджеров и психологов. Конкретно, в рамках этого исследования работа велась над клиентской частью.

Основная часть

Работа над редизайном стартовала с анализа существующего на тот момент дизайна, анализа приложений конкурентов в B2C-сегменте (вместо B2B, так как получить доступ к продуктам для компаний невозможно без прямой договоренности с разработчиками), а также составления гипотез.

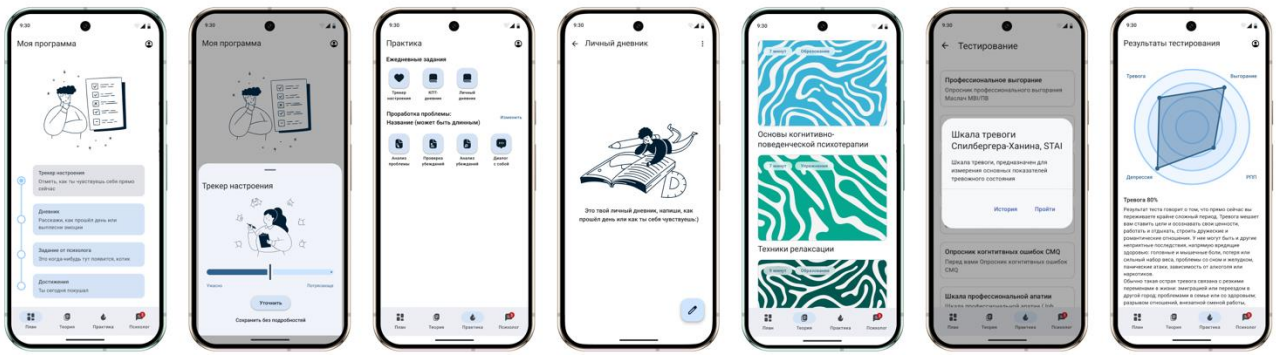


Рис. 1. Экраны приложения «Одеяло» на ноябрь 2024 года

Актуальный на ноябрь 2024 года дизайн основывался на дизайн системе Material You, используемой стандартными приложениями операционной системы Android без оболочек производителей. Приложение не имело своего стиля или айдентики на момент разработки дизайна. В качестве изображений использовались стоковые графические примитивы крайне популярные в Интернете. Такая стилистика не позволяют выделить продукт среди массы других таких же.

К ноябрю субъект уже разработал айдентику из-за чего потребовалось проведение редизайна. Помимо этого появились планы по переносу приложения на iOS, для которой Material You не является нативной дизайн-системой и идёт в разрез с требованиями к приложениям для операционной системы.

Приложение состоит из четырех ключевых разделов:

- программа работы – раздел, комбинирующий элементы других разделов, с которыми пользователь должен взаимодействовать в течении дня,
- теория – раздел со статьями по когнитивно-поведенческой психологии и практикам применяемым в приложении,
- практика – раздел с упражнениями для проверки состояния и диагностики проблем и методов их решения, опирается на теоретические знания и имеет достаточно сложную терминологию для новых пользователей,
- тесты – раздел с диагностикой состояния пользователя, осуществляемой посредством тестирования и выводом результатов для их дальнейшего сопоставления.

Было проанализировано семь приложений конкурентов: Пирожок, Антидепрессия, Mind Health, WYSA, My Possible Self, VOS, Finch – российских и зарубежных разработчиков. Их можно поделить на те, что имеют выделяющую визуальную часть и механики, погружающие пользователя и удерживающие его, а также те, которые этого не имеют. К первым относятся: Finch и VOS – продукты зарубежных разработчиков. В Finch реализована геймификация по принципу отожествления себя с питомцем в приложении: о нем необходимо заботиться и выполнять практики по контролю целей и описанию дня. VOS не имеет геймификации и работает по модели персонификации продукта за счет детализированного анкетирования на этапе регистрации и онбординга.

Для «Одеяла» геймификацию вводить было рано из-за относительно небольших ресурсов компании и маленькой базы пользователей, а вариант с персонификацией было решено тестировать в процессе редизайна. Но сначала необходимо провести юзабилити тестирование, чтобы понять слабые места приложения.

К тестированию было составлено пять гипотез:

- в приложении нужно сделать акцент на ясности состояний, чтобы пользователям были ясны значения результатов тестирования в непропорциональных шкалах, а также отказаться от непропорциональных и сложновоспринимаемых шкал в пользу процентов или стандартизированной системы баллов;
- перегруппировка элементов по смыслу поможет упростить навигацию и понимание логики работы приложения;
- простые интерфейсные иконки не передают значение психологических тестов и не помогают различать элементы с похожими названиями;
- сокращение текста, выделение ключевых идей и работа с отступами и иерархией позволит повысить читаемость и вовлеченность пользователей, а также необходимо провести работу по упрощению названий элементов и исключить похожие названия;
- необходимо упростить заполнение дневника, предоставив опции для быстрого заполнения, вопросник или готовые поля.

Тестирование проводилось на десяти студентах, только что сдавших зачет по предмету для приближения к стрессовой ситуации. Перед ними была поставлена задача представить, что они регулярно пользуются приложением и им необходимо внести свое настроение,

написать заметку по психологическому состоянию, описать процесс заполнения дневника и объяснить, где можно узнать больше о самом дневнике. Респонденты тестировали работающее приложение, а не прототип дизайна и должны были выполнить задачи без подсказок, все их действия фиксировались. А после тестирования проводилась беседа с рефлексией.

Девять из десяти респондентов нашли трекер настроения и смогли внести свое настроение, только один пользователь потерялся и рассматривал главный экран. С заполнением дневника возникли трудности, респонденты не понимали разницы между «КПТ-дневником» и обычным дневником. Один респондент решил, что «КПТ-дневник» – место, где хранятся внесенные настроения. Треть респондентов не смогла объяснить значение полей в «КПТ-дневнике», что выявило необходимость добавления подсказок.

По этому тестированию можно сделать следующие выводы:

- люди понимают суть теории по названию, даже если оно сложное и правильно объясняют, для чего она необходима;
- не все Android пользователи замечают стандартные в Material You кнопки, хотя предполагается, что они должны быть частью устоявшегося дизайн-паттерна;
- не хватает элемента истории у всех практик.

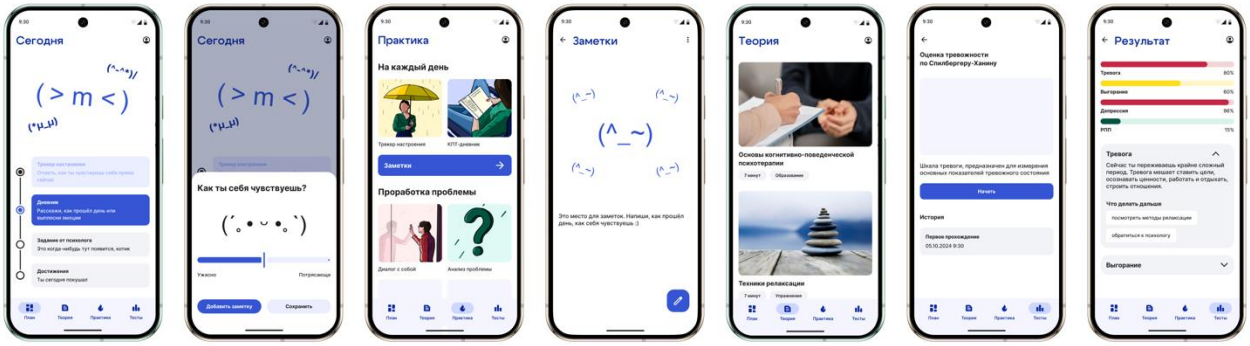


Рис. 2. Промежуточный редизайн для выверения логики работы сценариев

Все гипотезы кроме первой подтвердились, первая же не была протестирована в рамках этого тестирования. Из-за путаницы с дневниками «дневник» стал «заметками», а «КПТ-дневник» сохранил свое название. «Трекер настроения» был объединен с «заметками» для развития текущего сценария заполнения «дневника» сразу после внесения настроения. Также поведение респондентов во время тестирования дало подсказку, что они ожидают наличие этой связи. На базе этого тестирования был проведен промежуточный редизайн с учетом всех результатов, здесь ещё не применена новая айдентика, а шел поиск стиля приложения.

На этом этапе встал вопрос выбора стилистики изображений: на выбор были минималистичные иллюстрации, фотографии и каомодзи. Последние позволяли отобразить конкретную эмоцию, что должно было помочь со считыванием эмоций пользователями. Эта гипотеза была проверена оценкой предпочтений подходов к оформлению. Респондентам были показаны экраны приложения с тремя видами оформления. Каомодзи стали самым спорным вариантам, поскольку больше половины респондентов не смогли четко определить половину обозначаемых эмоций, что опровергло гипотезу. При этом между фотографиями и иллюстрациями большинство респондентов отдало предпочтение фото. Аргументация была схожей: иллюстративный стиль «милый» и «приятный», но с ним сложнее понять значение. Также респонденты указывали несерьезность иллюстраций для психологического приложения. Поэтому в дальнейшей работе предпочтение было отдано фотографиям.

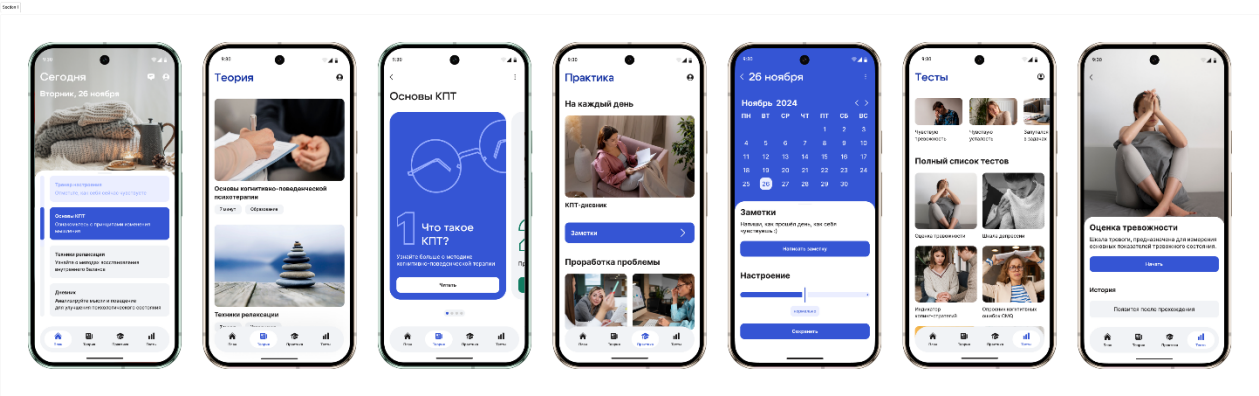


Рис. 3. Экраны редизайна приложения в новой дизайн-системе

Во время редизайна была создана дизайн-система, перекликающаяся с утвержденной айдентикой. А также проведена работа по уточнению состояний экранов для регистрации и авторизации, продуманы состояния ошибок, создан онбординг, описывающий ключевые функции приложения и как ими пользоваться. А подход к работе над экранами был изменен на сценарный. Теперь каждая логическая часть имеет свой сценарий: регистрации и авторизации, онбординг, главная, профиль и настройки, теория, практика (9 сценариев практик), тестов.

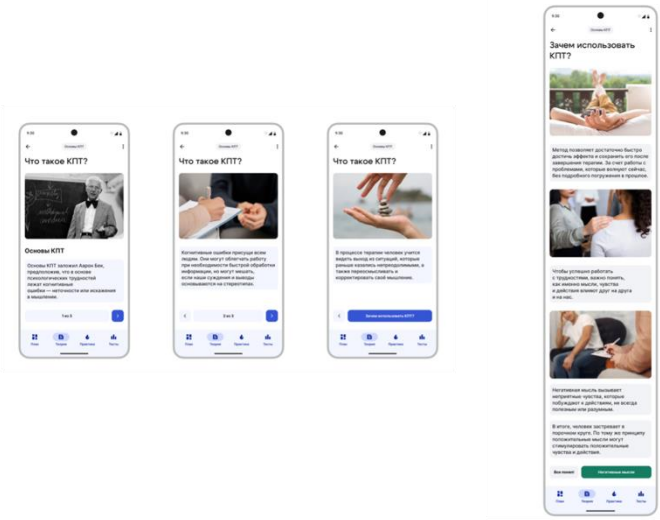


Рис. 4. Тестируемые прототипы экраны теории

В рамках пилотного тестирования «Одеяла» на базе «Газпром трансгаз Томск» был проведен юзабилити бенчмаркинг экранов теории. Всего пилот проходит 20 человек, а бенчмаркинг прошли 12 человек. Пользователи работали с двумя прототипами теории: первый с горизонтальным пролистыванием отдельных страниц и второй с вертикальным скроллом. Оба прототипа имели разные тексты и изображения, так как нельзя проверить понимание одного и того же текста дважды, но были взяты материалы одинакового уровня сложности и объема. Респондентам было необходимо прочитать оба текста и ответить, чего не было в тексте, кратко описать текст. С этой задачей респонденты справились одинаково хорошо как на первом, так и на втором прототипе. Вцифрах, это 100 % респондентов. Поэтому можно заявить, что тип прокрутки лента не влияет на качество восприятия информации и больше влияет на удобство использования. Так, 60 % респондентов отметило, что второй прототип удобнее, за счет привычной возможности прокрутки вместо необходимости использования кнопок. Горизонтальная прокрутка была менее очевидна респондентам. Именно этот вариант используется в финальной версии редизайна.

Заключение

Исследовательский подход и его инструменты в дизайне показали свою эффективность: они позволяют сделать дизайн продукта, отвечающий задачам пользователя и бизнеса. На этапе роста продукта важно увеличить DAU и MAU (количество уникальных пользователей за день и месяц), а на это напрямую влияет качество UX-составляющей продукта и удержание клиентов (Retention), проверка влияния дизайна на эти метрики возможна именно с помощью исследовательского подхода и проверки гипотез.

Также они позволяют оценить эффективность работы методик, на которых построено само приложение, не связанных с дизайном напрямую, но сильно от него зависящих, так как практика может оказаться бесполезной, если её реализация не позволяет донести ключевой терапевтических эффект и воспринять информацию должным ключом. Эти аспекты тестировались юзабилити тестированием всего приложения и небольшими юзабилити бенчмаркингами.

В совокупности, метрики и исследования позволяют добиваться ожидаемого результата и манипулировать пользователем и если в случае с приложением психологического самоконтроля это скорее пойдёт человеку на пользу, то зачастую используется во вред другими продуктами.

Список использованной литературы

1. Сгореть на работе. Хэдхантер. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: hh.ru/article/12445 (дата обращения: 12.01.2025).
2. Текучесть персонала. Результаты опроса, март 2024. ANCOR. - 2024. – [Электронный ресурс].–URL: ancor.ru/press/research/tekuchest-personala-2024/ (дата обращения: 12.01.2025).
3. Найди путь к душевному спокойствию и эмоциональной стабильности с нами! Одеяло. - 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: xn--c1ajjlbco7a.xn----gtbbcb4bjf2ak.xn--p1ai/ (дата обращения: 12.10.2024)
4. Your new self care best friend. Finch Care PBC. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: finchcare.com/ (дата обращения: 12.01.2025)
5. Your Way to Happier | You. VOS. - 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: vos.health/en/ (дата обращения: 12.01.2025)
6. Обзор 20 методов UX-исследований от NNGroup: какой метод выбрать и когда. UxJournal. – 2023. – [Электронный ресурс]. – URL: ux-journal.ru/top-20-metodov-ux-ui-issledovanij-ot-nngroup.html (дата обращения: 16.01.2025).

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТА ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ НАУШНИКОВ С ФУНКЦИЕЙ ПОРТАТИВНОЙ АКУСТИКИ

Немировский Л.С. [1], Серяков В.А. [2]
[1]ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8Д11, e-mail: Lsn3@tpu.ru
[2]ТПУ ИШИТР ОАР, доцент, e-mail: Seryakov@tpu.ru

Аннотация

Данная статья рассматривает варианты концептов трансформируемых наушников с функцией портативной акустики. В публикации представлены три варианта эскизов устройства, а также процесс формирования опроса для экспертной оценки выполненных эскизов. Выполненный опрос в дальнейшем поможет определить лучшее эскизное решение и учесть как можно больше нюансов.

Ключевые слова: форма и эргономика, концепция, формообразование, экспертная оценка, целевая аудитория.

Введение

Идея наушников, которые могут превращаться в колонку, сразу же привлекает внимание. Такая идея потенциально совершенствует возможности трансляции звука, соединяя два устройства в одно. Этот звуковой объект задуман как адаптация к различным ситуациям, улучшая музыкальные впечатления во всех из них. Однако, чтобы соответствовать не только функциональным, но и психологическим и эстетическим требованиям, важно подобрать грамотный дизайн устройства. Главной целью работы является создание хорошего дизайна концепции, дабы соответствовать эстетическим требованиям потребителя.

Основная часть

Главная причина отсутствия подобных устройств на рынке заключается в том, что такие концепции редко воплощались в жизнь. Возможно, потому что подобные устройства зачастую проектировались по принципу стандартных накладных наушников, а динамики и конструкция в них изначально спроектированы и оптимизированы для качественного звучания в ушах, а их размещение на столе – чтобы они работали как колонка – делает звук довольно слабым.

В процессе разработки художественного образа трансформируемых наушников был пересмотрен принцип их конструкции. Концепт устройства представляет собой гибрид полноразмерных наушников и портативной аудиосистемы с возможностью трансформации. Оно включает в себя два больших чашеобразных динамика, соединённых оголовьем, которое выполняет функцию крепления и управления.

Чёткое представление об основных элементах устройства необходимо для разработки эскизов. Основные элементы устройства:

1. В режиме наушников чаши динамика располагаются вокруг ушей, обеспечивая комфортную посадку и шумоизоляцию. В режиме аудиосистемы чаши разворачиваются наружу и фиксируются в устойчивом положении, предотвращая их смещение и образуя сферу.
2. Оголовье наушников имеет встроенный механизм трансформации, позволяющий плавно менять режим использования. В режиме аудиосистемы оголовье играет роль ручки, фиксирующей соединённую сферу из чаш наушников.
3. Минимальный набор кнопок: включение, регулировка громкости, переключение режимов, разъёмы USB-C для зарядки, AUX для работы в проводном режиме, а также светодиодный индикатор уровня заряда и режима работы.

Чтобы лучше понять потенциальный внешний вид и функционал устройства, был выполнен примерный эскиз, демонстрирующий визуально всё вышеизложенное. Эскиз демонстрирует положение устройства в состоянии наушников, в процессе его трансформации

в портативную аудиосистему, и положение устройства в состоянии портативной аудиосистемы. Оголовье деформирует устройство, меняя позицию чашек наушников в сферическое состояние и превращаясь в ручку для аудиосистемы. Оголовье имеет соединения, которые сгибаются вовнутрь и наружу. Сложенные чаши наушников становятся устойчивой сферической конструкцией с удобной ручкой. Рис. 1.

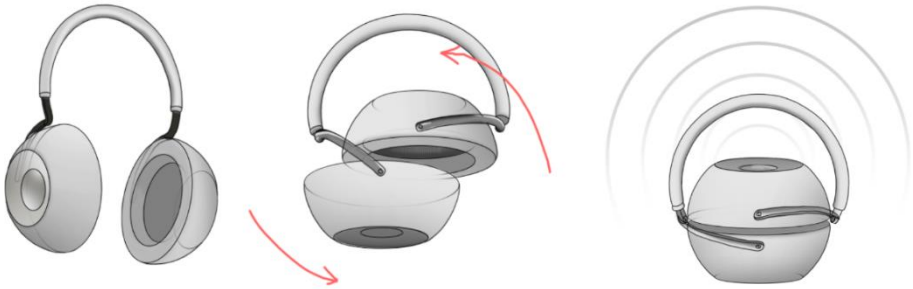


Рис. 1. Принцип работы устройства

Эскиз демонстрирует положение устройства в состоянии наушников, в процессе его трансформации в портативную аудиосистему, и положение устройства в состоянии портативной аудиосистемы. Шарниры деформируют устройство, меняя позицию чашек наушников в сферическое состояние и превращаясь в ручку для аудиосистемы. Шарниры имеют соединения, которые сгибаются вовнутрь и наружу. Сложенные чаши наушников становятся устойчивой сферической конструкцией с удобной ручкой.

Основная часть

При выборе оптимального эскиза для трансформируемых наушников важно учитывать влияние формы и цвета на восприятие пользователей.

Исследования в области психологии дизайна показали, что круглые и овальные формы чаще ассоциируются с гармонией, балансом, дружелюбием и доступностью и могут создавать ощущение комфорта и безопасности у пользователей. Прямоугольные и квадратные формы отражают стабильность, надёжность и порядок и помогают подчеркнуть прочность и структурированность устройства. В данном случае цилиндрические формы комбинируют элементы стабильности и мягкости, сочетая эстетичность и устойчивость [1]. Более наглядно сравнение форм относительно концепции аудиоустройства отображено в таблице 1.

Таблица 1. Анализ – сравнение форм.

Наименование	Ассоциации	Преимущества	Недостатки
Сфера	Гармония, баланс, дружелюбие	Эргономичность, равновесие, распределение звука	Меньшая устойчивость
Цилиндр	Устойчивость, элегантность, современность	Компактность, удобство переноски	Может быть менее удобным в трансформации
Куб	Надёжность, стильность, порядок	Устойчивость конструкции, удобство хранения	Менее дружелюбный внешний вид
Многогранник	Модульность, технологичность	Возможность стыковки с другими элементами, устойчивость	Производственная сложность, необычность может вызывать отторжение

Цвет устройства также играет большую роль в формировании эмоционального отклика и поведения пользователей. Существуют градации, в которых разные цвета вызывают разные эмоции [2]. Согласно им, например, светлые тона ассоциируются с чистотой, простотой и минимализмом, а тёмные с силой, элегантностью, формальностью. Таким образом правильный выбор цветовой палитры может значительно повысить привлекательность продукта и его соответствие ожиданиям целевой аудитории.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что различные формы и цветовые палитры вызывают определённые ассоциации. На основании этого было составлено три эскиза разных форм в разных ракурсах.

Аудиоустройство на рис. 1 имеет квадратную форму со скруглёнными углами. Динамики выходят как вовнутрь устройства, так и наружу. Такая форма обеспечивает устойчивость устройства в формате станции, но весьма большую массивность чаш в формате полноразмерных наушников. Так как внутренняя начинка устройства нуждается в большей плате и динамиках, чем у обычных наушников, то в данном смысле его форма удачна, однако она может сказаться на весе устройства, что может давать лишнюю нагрузку на шею при эксплуатации в формате наушников. Кроме того, менее скруглённая форма чаш негативно сказывается на акустике, хоть и незначительно [3].

Рис. 2. Эскиз кубической формы

Аудиоустройство на рис. 3 имеет цилиндрическую форму с динамиками по обе стороны. Устройство устойчиво в формате станции и чуть менее массивно в формате полноразмерных наушников. Такая форма более дружелюбна, компактна и эргономична, а звук должен распределяться более равномерно. Компоновка электроники при такой форме должна быть более грамотной.

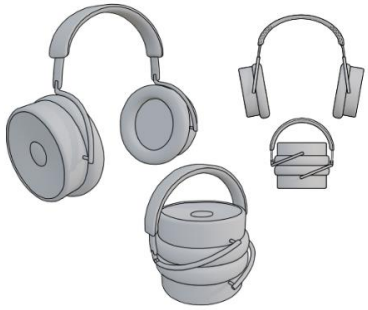


Рис. 3. Эскиз цилиндрической формы

Аудиоустройство на рис. 4 имеет сферическую форму с динамиками по обе стороны. Чтобы обеспечить устойчивость такой конструкции в формате станции, необходимо добавить к нему подставку, что усложняет всю комплектацию. Сферическая форма обеспечивает высокую эргономичность и максимально равномерное распределение звука. Устройство выглядит компактно, сбалансированно и эстетично, однако проблема компоновки в нём электроники для такой формы становится наиболее актуальной.

Рис. 4. Эскиз сферической формы

Важную роль в восприятии и привлекательности для целевой аудитории определяет выбор стилистической направленности [4]. Например, домашний и комфортный стиль будет близок взрослым пользователям, любителям уюта и семейным людям. Ему свойственны плавные, округлые, органические линии и тёплые оттенки. Примерами в индустрии могут быть смарт-колонки Google Nest и Apple HomePod. Другой подходящей устройству аудиторией могут быть подростки, молодёжь, любители спорта, путешествий и активного образа жизни. В таком случае дизайн может быть более ярким и агрессивным. Более динамичные, геометрически выразительные формы, яркие акцентные цвета. Примеры в индустрии: JBL Xtreme, Sony Extra Bass.

Метод экспертной оценки и опрос потенциальных пользователей являются важными инструментами в выборе наиболее удачного эскиза устройства. Грамотно составленный опрос позволит получить объективные данные о восприятии различных вариантов дизайна, их удобстве, эргономике и потенциальной востребованности [5]. При формировании вопросов важно учитывать несколько ключевых аспектов: визуальное восприятие, эргономику, функциональность, удобство использования и соответствие целевой аудитории.

Эти вопросы помогут определить, как потенциальные пользователи воспринимают предложенные эскизы:

1. Какие эмоции у вас вызывает каждая из представленных форм (например, цилиндр, сфера, куб)?
2. Какой из предложенных вариантов кажется вам наиболее визуально привлекательным?
3. Какой из предложенных вариантов вам кажется наиболее удобным для ношения?
4. Для каких сценариев использования вы бы предпочли это устройство?
5. Какие материалы (металл, пластик, ткань, дерево) кажутся вам наиболее уместными?
6. Насколько дизайн устройства соответствует вашим представлениям о современных аудиосистемах?

Опрос должен быть тщательно продуман и структурирован, чтобы получить максимально информативные данные. Включение как открытых, так и закрытых вопросов позволит собрать не только количественные, но и качественные показатели. Полученные результаты помогут определить наиболее удачный эскиз устройства, ориентируясь на реальные предпочтения пользователей и мнения экспертов.

Заключение

В результате был разработано три эскиза трансформируемого аудиоустройства для дальнейшей оценки. Было проанализировано влияние формы и цвета на восприятие пользователя, а также составлен план опроса для экспертной оценки и выявления лучшего варианта эскиза устройства для дальнейшей разработки.

Список использованных источников

1. Rand P. Design: Form and Chaos. // London: Yale University Press, New Heaven and London – 1993. – P. 15-26.

2. Adams S., Stone T: The Designer’s Dictionary of Color // Abrams Books – 2017. – P. 10–25.

3. ГОСТ 28278 - 89 (МЭК 268 - 7 - 84). Наушники стереофонические. Методы измерений. – Москва: – Изд-во стандартов, 2006. – 8 с.

4. Роль в восприятии привлекательности для целевой аудитории // Maximus Media: сайт. – 2023. – [Электронный ресурс]. – URL: maximusmedia.pro/blog/kakie-stili-v-graficheskom-dizajne-vliyayut-na-prodazhi/

5. Как использовать опросы в дизайнерских исследованиях. // AskUsers: сайт – 2023. – URL: askusers.ru/blog/pravila/kak-ispolzovat-oprosy-v-dizaynerskikh-issledovaniyakh-chast-i/

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ДИЗАЙНА КОМПАКТНОГО НАБОРА ПОХОДНОЙ ПОСУДЫ

Баталова Д.А. [1], *Давыдова Е.М.* [2]
[1]*ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8Д11, e-mail: dab61@tpu.ru*
[2]*ТПУ ИШИТР ОАР, старший преподаватель, e-mail: davydova@tpu.ru*

Аннотация

Статья посвящена разработке концептуального дизайна компактного набора походной посуды, рассчитанного на семью из четырёх человек. Рассматриваются актуальные потребности пользователей, анализируются существующие решения, выявляются основные критерии проектирования. В рамках исследования изучены эргономические, функциональные и эстетические аспекты конструкции, а также выбор материалов для изготовления посуды.

Ключевые слова: походная посуда, семейный кемпинг, компактность, эргономика, функциональность, промышленный дизайн, материалы.

Введение

В последние десятилетия активный отдых, включая семейный туризм и кемпинг, приобретает всё большую популярность как в мире, так и в России. Этот тренд обусловлен стремлением людей к воссоединению с природой, укреплению семейных связей и активному образу жизни. Согласно данным Росстата за 2023 год, более 15 миллионов россиян участвовали в туристических походах, из них около 40 % – семьи с детьми, что составляет примерно 6 миллионов человек [1]. Аналогичные тенденции подтверждаются международной статистикой: по отчёту Kampgrounds of America (KOA) за 2024 год, 54 % американских кемперов путешествуют семьями, а семейный отдых на природе вырос на 12 % за последние пять лет [2]. Однако специфика походных условий накладывает особые требования на туристическое снаряжение, включая посуду, которая должна сочетать прочность, лёгкость, компактность и эргономичность. Современные семьи всё чаще сталкиваются с проблемой несоответствия существующих решений их ожиданиям, особенно в условиях необходимости обеспечения комфорта нескольких человек в ограниченном пространстве для багажа.

Ранее была предпринята попытка разработки концепции походной кухни, предназначенной для использования в условиях кемпинга. Основной идеей было создание мобильного модуля, объединяющего функции приготовления пищи, хранения продуктов и организации рабочего пространства. Однако в ходе анализа потребностей пользователей и изучения рынка выяснилось, что подобный концепт обладает низкой актуальностью. Основные причины заключались в громоздкости конструкции, сложности её развёртывания в полевых условиях и недостаточной адаптации к реальным сценариям семейного туризма, где мобильность и компактность являются ключевыми приоритетами. Этот опыт выявил необходимость изменения направления исследования в сторону более практичного и компактного решения, что привело к выбору темы разработки набора походной посуды для семьи из четырёх человек.

На рынке туристического снаряжения представлены разнообразные варианты походной посуды, однако они преимущественно ориентированы либо на индивидуальных путешественников, либо на большие группы. Семьям из четырёх человек часто приходится собирать наборы из разрозненных элементов, что усложняет транспортировку, увеличивает объём багажа и снижает удобство хранения. Целью данной работы является создание концептуального дизайна такого набора с учётом современных потребностей пользователей, эргономических принципов, функциональности и эстетических аспектов. В статье анализируются существующие решения, исследуются ключевые критерии проектирования и предлагается оригинальная концепция, отличающаяся инновационным подходом к компактности и удобству использования.

Основная часть

Походная посуда играет ключевую роль в обеспечении комфорта во время кемпинга, однако её проектирование сталкивается с рядом вызовов. Основные проблемы связаны с необходимостью минимизации веса и объёма при сохранении высокой функциональности. Разрозненные элементы, характерные для большинства существующих наборов, создают дополнительные неудобства: они занимают больше места, увеличивают нагрузку на пользователя и повышают риск потери отдельных компонентов. Решением этих проблем может стать разработка модульного набора, где все элементы интегрированы в единую компактную конструкцию. Современные тенденции в области туристического снаряжения также подчёркивают важность экологичности и долговечности изделий [6]. Пластиковые наборы, несмотря на свою лёгкость и доступность, быстро изнашиваются и могут выделять вредные вещества при нагревании. Металлические комплекты, напротив, отличаются прочностью, но их вес ограничивает применимость в семейном туризме. Таким образом, актуальность исследования определяется необходимостью создания сбалансированного решения, которое сочетало бы в себе лёгкость, прочность, компактность и экологическую безопасность, отвечая запросам современных пользователей. Для разработки концепции нового набора был проведён обзор существующих типов походной посуды, представленных на рынке. Анализ позволил выделить основные категории, их преимущества и недостатки:

- Металлические наборы (нержавеющая сталь, алюминий). Характеризуются высокой прочностью, устойчивостью к высоким температурам и долговечностью. Такие изделия часто используются в профессиональном туризме и военных целях (например, армейские котелки или складные алюминиевые кружки). Однако их значительный вес делает их менее удобными для семейного отдыха, где приоритетом является минимизация нагрузки.
- Пластиковые комплекты. Отличаются малым весом и низкой стоимостью, что делает их популярными среди начинающих туристов. Примеры включают тарелки и кружки из полипропилена. Основные недостатки – низкая устойчивость к механическим повреждениям и невозможность использования при высоких температурах, что ограничивает их функциональность.
- Силиконовые складные модели. Эти изделия (например, складные миски и кружки) выигрывают за счёт компактности и гибкости, однако их термическая нестабильность и склонность к деформации при нагреве снижают универсальность применения.
- Комбинированные варианты. Сочетают материалы с различными свойствами, например, алюминиевые кастрюли с пластиковыми ручками или силиконовыми крышками. Это направление демонстрирует потенциал для создания сбалансированных решений, однако существующие модели часто лишены системного подхода к компактности и эргономике.

Анализ выявил, что большинство решений не обладают достаточной универсальностью и не учитывают специфику семейного туризма. Это подтверждает необходимость разработки нового набора, который бы интегрировал лучшие качества существующих материалов и конструкций, обеспечивая удобство и функциональность для семьи из четырёх человек.

Исследование для создания собственной концепции проводилось в несколько этапов, что позволило систематизировать подход к разработке:

- Анализ потребностей пользователей. Были изучены отзывы туристов на специализированных форумах и в интернет-магазинах. Основные выявленные проблемы: нехватка компактности, сложность хранения и недостаточная функциональность наборов.
- Обзор аналогов. Рассматривались конструктивные особенности существующих моделей, их материалы, размеры и способы упаковки. Особое внимание уделялось эргономике и удобству транспортировки.
- Выбор материалов. На основе анализа определялись материалы, соответствующие требованиям лёгкости, прочности, экологичности и устойчивости к внешним факторам (температура, влажность, механические воздействия).

• Проектирование конструкции. Разрабатывалась концепция набора с акцентом на модульность, эргономичность и компактность. Были созданы предварительные эскизы, учитывающие взаимное расположение элементов.

Такой подход обеспечил комплексное рассмотрение задачи и заложил основу для создания инновационного решения. Выбор материалов осуществлялся с учётом следующих критериев: долговечность, устойчивость к механическим и термическим воздействиям, экологичность, безопасность для контакта с пищей и минимальный вес. В результате были определены следующие материалы:

• Нержавеющая сталь. Обеспечивает высокую прочность, устойчивость к коррозии и пригодность для приготовления пищи. Используется для основного контейнера (кастрюли).

• Алюминий с анодированным покрытием. Лёгкий, термостойкий материал, не вступающий в реакцию с продуктами питания. Применяется для чайника.

• Термопластик. Устойчив к ударам и высоким температурам, обладает малым весом. Используется для кружек, тарелок и столовых приборов.

• Силикон. Гибкий, термостойкий и безопасный материал, подходящий для крышек и разделочных досок.

Комбинированное использование этих материалов позволило достичь оптимального баланса между функциональностью и компактностью. Разработанный набор включает следующие элементы, выбор которых обусловлен потребностями семьи из четырёх человек и принципами компактности:

1. Кастрюля из нержавеющей стали (1,5 л). Выполняет функцию основного контейнера для хранения остальных элементов и предназначена для приготовления горячих блюд, таких как супы или каши, что является базовой потребностью в семейном питании. Объём 1,5 литра выбран как оптимальный для приготовления еды на четверых без излишнего веса.

2. Чайник из анодированного алюминия (1 л) с силиконовой складной крышкой. Необходим для быстрого кипячения воды для чая, кофе или детского питания, что часто требуется в походе. Алюминий обеспечивает лёгкость, а складная крышка минимизирует объём при хранении.

3. Четыре термопластиковые кружки (250 мл). Компактно вкладываются внутрь кастрюли и предназначены для индивидуального использования каждым членом семьи. Объём 250 мл подходит как для горячих напитков, так и для небольших порций супа, что делает их универсальными.

4. Четыре термопластиковые тарелки (диаметр 20 см). Располагаются под кружками и служат для подачи основных блюд (гарниров, мяса, овощей). Диаметр 20 см обеспечивает достаточную площадь для комфортного приёма пищи, сохраняя компактность в сложенном виде.

5. Набор столовых приборов (вилки, ложки, ножи). Эти предметы выбраны как минимально необходимый набор для полноценного питания в походе, включая возможность резки и потребления разнообразных блюд.

6. Рразделочная доска (20 см). Служит крышкой кастрюли и защищает содержимое, одновременно выполняя функцию поверхности для нарезки хлеба, овощей или мяса. Её включение обусловлено потребностью в гигиеничной подготовке пищи в полевых условиях.

7. Контейнер для специй (солонка/перечница, 50 мл). Интегрирован в отсек для приборов и позволяет улучшить вкус блюд без необходимости носить отдельные пакеты с приправами, что особенно важно для семейного отдыха, где разнообразие питания ценится.

Конструкция базируется на принципе модульности: все элементы складываются в единый блок высотой около 20 см и диаметром 18 см, минимизируя занимаемый объём (примерно 5 литров). Кастрюля выступает основой, внутри которой размещаются кружки и тарелки, а сверху устанавливается отсек для приборов и специй, закрываемый разделочной доской. Чайник фиксируется на кастрюле, образуя компактный модуль. Для дополнительной защиты и удобства транспортировки предусмотрен чехол, объединяющий все компоненты.

Выбор именно этих предметов обусловлен их взаимодополняемостью: кастрюля и чайник покрывают потребности в приготовлении, кружки и тарелки – в подаче, приборы и доска – в обработке и потреблении пищи, а специи добавляют комфорта. Такой набор обеспечивает полный цикл питания для семьи из четырёх человек, оставаясь лёгким (около 1,2 кг) и компактным. Был создан эскиз концепции в соответствии с рис. 1.

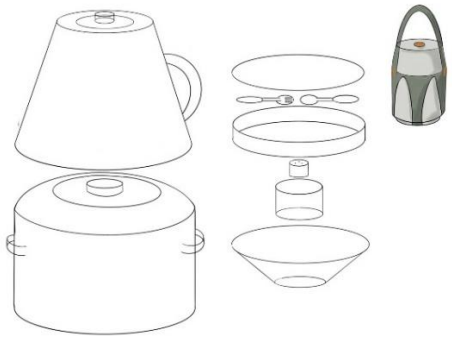


Рис. 1. Изображение эскиза

Предложенный дизайн выгодно отличается от аналогов за счёт следующих характеристик:

- Компактность. Интеграция всех элементов в единый модуль позволяет существенно сократить объём, занимаемый набором в рюкзаке или багажнике автомобиля.
- Эргономичность. Удобное расположение компонентов упрощает доступ к ним и исключает хаотичное размещение.
- Функциональность. Набор включает всё необходимое для приготовления и приёма пищи семьёй из четырёх человек.
- Долговечность. Использование прочных и устойчивых материалов гарантирует длительный срок службы изделия.

Заключение

Разработка концептуального дизайна компактного набора походной посуды продемонстрировала возможность создания сбалансированного решения, отвечающего современным требованиям семейного туризма. Переход от концепции походной кухни к более компактному набору посуды был обусловлен анализом пользовательских потребностей и выявлением недостатков предыдущего подхода. Проведённый обзор подтвердил ограничения существующих моделей и обосновал необходимость инновационного решения. Предложенная концепция сочетает в себе компактность, эргономичность, функциональность и экологичность, что делает её перспективной для практического применения.

Список использованной литературы

1. Туризм в цифрах: статистический сборник 2023 [Электронный ресурс]. – [Электронный ресурс]. – URL: rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (дата обращения: 26.02.2025).

2. 2024 North American Camping Report [Электронный ресурс] / Kampgrounds of America. – URL: koa.com/north-american-camping-report/ (дата обращения: 05.03.2025).

3. Норман, Д.А. Дизайн привычных вещей. – Санкт-Петербург : Питер, 2019. – 368 с.

4. Туристическая посуда: как выбрать [Электронный ресурс]. – [Электронный ресурс]. – URL: sport-marafon.ru/article/kak-vybrat-turisticheskuyu-posudu-ne-dlya-kostra/ (дата обращения: 15.03.2025).

5. Lancaster, L. Best Camping Cookware of 2025 [Электронный ресурс]. – [Электронный ресурс]. – URL: outdoorlife.com/gear/best-camping-cookware/ (дата обращения: 25.03.2025).

6. Как выбрать туристическую посуду [Электронный ресурс]. – [Электронный ресурс]. – URL: alpindustria.ru/articles/kak-vybrat-posudu.html (дата обращения: 25.03.2025).

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ МИКРОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Рашитов Н.И., Шкляр А.В.
e-mail: nir6@tpu.ru / e-mail: shklyarav@tpu.ru
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Аннотация
Статья посвящена исследованием универсальной системы снижения аварийности микромобильного транспорта

Ключевые слова: микромобильность, электросамокат, курьеры, безопасность, мягкая защита, поведенческие факторы.

Введение

Стремительный рост микромобильного транспорта – электросамокатов, электровелосипедов и других лёгких средств передвижения – привел к радикальному изменению городской логистики. Сегодня всё больше курьерских служб используют подобные устройства для оперативной доставки. Однако высокие скорости, отсутствие должной экипировки и специфика дорожной среды порождают новые риски для водителей и пешеходов. Сильные ограничения (например, снижение скорости до минимума) могут отрицательно сказаться на эффективности работы курьеров. Поэтому необходимы «мягкие» и универсальные методы защиты, позволяющие обеспечить баланс между безопасностью и сохранением скорости доставки. Безопасность водителей и окружающих участников движения становится важной задачей. В работе рассматривается концепция универсальной системы защиты для микромобильных средств, направленная на снижение их аварийности [1].

Итоги исследования

В ходе подготовки исследования был проведен анализ существующих решений в области безопасности микромобильного транспорта, включая законодательные нормы, инфраструктурные меры, технические инновации и организационные подходы (в том числе опыт Нидерландов и шеринговых сервисов). Особое внимание уделялось проблеме курьеров, чья деятельность связана с высокой частотой и интенсивностью поездок. А также возможность въезд на пешеходную зону с участием пешеходов приводит к повышенному шансу рисков для пешехода и водителя самоката.[2]

После эмпирической оценки влияния скорости, поведение пешеходов, и строение самоката на количество потенциальных инцидентов и рисков автором был проведен концепт идеи для снижения факторов риска. В большинстве проблемах аварии самокатов является не только высокая скорость (больше 20 км в час) но и возможность заезжать на пешеходную зону, где и происходят аварии с участием людей, и страдают не только пешеходы, но и сам водитель самоката. Анализ показал, что въезд на пешеходную зону, в купе с высокой скоростью, действительно увеличивает число критических ситуаций, однако слишком низкая скорость противоречит основной задаче доставки – быстрому доведению груза до адресата.

Концепция

Конструкция предлагаемого модуля представляет собой съёмное устройство, которое крепится к деке электросамоката, расширяя его функциональность и преобразуя в более устойчивую и безопасную платформу для курьерской доставки. Основной идеей модуля является модульная система с дополнительными опорными колёсами и совмещённым элементом, выполняющим одновременно функции грузового отсека и сиденья. Модуль имеет раму, выполненную из лёгких, но прочных материалов (в перспективе – алюминиевый сплав или усиленный пластик), которая закрепляется либо на задней оси самоката, либо под декой. Конструкция позволяет надёжно фиксироваться, не мешая штатному управлению

транспортом. Принцип крепления схож с автомобильными держателями, использующими механические «щёлкающиеся» захваты, что делает установку быстрой и универсальной для большинства моделей самокатов без необходимости в дополнительной модификации самого устройства.

Главной особенностью модуля является наличие двух дополнительных колёс, расположенных сзади или по бокам от основной оси, что существенно увеличивает устойчивость во время движения. Эти колёса создают 15 дополнительную точку опоры, позволяя курьеру сохранять баланс даже на неровных участках дороги, при резких поворотах или при резком торможении. Также модуль может быть оснащён собственными тормозами, синхронизированными с базовой системой торможения самоката, что дополнительно повышает безопасность.

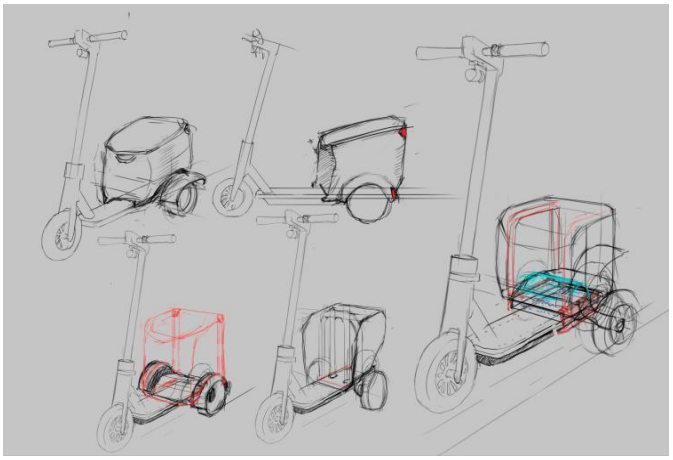


Рис. 1. Эскизы концепции

Также это имеет другие плюсы [3]:

1. Психологические приемы:

● Размещение груза спереди или сзади самоката, чтобы курьер всегда помнил о его сохранности и не рисковал при вождении.

● Возможность добавить геймификация (баллы и бонусы за аккуратную езду) вместо жестких штрафов.

2. Дизайнерские решения без сложной электроники:

● Форма платформы или специальная жёсткость колёс, создающая уверенность при агрессивной езде.

● Аэродинамические элементы, усиливающие сопротивление воздуху при попытке развить слишком высокую скорость.

Благодаря комбинированию механического, психологического и организационного воздействия можно повысить безопасность для курьеров и окружающих при минимальной потере скорости и маневренности. Также в ходе создание концепции был разработана грубая 3Д модель [4].

Рис. 2. Концепт модели

Заключение

В рамках данной работы была разработана и представлена концепция инновационного модульного решения, предназначенного для электросамокатов курьеров.

Основная идея заключается в создании съёмного модуля с дополнительными колёсами и грузовой платформой, который крепится к деке самоката – как сзади, так и спереди. Такая конструкция физически ограничивает движение по пешеходным зонам, стимулирует курьера к езде по предназначенным для транспорта маршрутам, а также повышает устойчивость устройства и облегчает транспортировку груза. Модуль решает сразу несколько ключевых задач: снижает аварийность за счёт изменения габаритов и устойчивости, улучшает управляемость транспортного средства при перевозке грузов, снижает физическую нагрузку на курьера, а также формирует более безопасную культуру вождения. Представленные эскизы и 3D модель позволяют наглядно оценить принципы функционирования конструкции и её совместимость с современными электросамокатами.

Список использованной литературы

1. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Глобальный план на Десятилетие действий в области безопасности дорожного движения 2021-2030. – [Электронный ресурс]. – URL: who.int/publications/m/item/global- plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030 (дата обращения: 25.03.2025)

2. Хенгл, С., Дэвис, Р., Уилсон, Дж. Характер травм и факторы риска при авариях на электроскутерах: A Review of Emergency Department Data // Журнал травматологии и неотложной хирургии. – 2015. – 79(1). С. 73-79.

3. Тодд Э., Янг Л., Боуман Т. Изучение причин дорожно-транспортных происшествий с участием электроскутеров с помощью новостных сообщений и анализа видео // Transportation Research Record. – 2019. – 2673(4). – 124-131. (дата обращения: 20.03.2025)

4. Yang Y., Li K., Sun H. Оценка безопасности использования электроскутеров на основе полевых наблюдений и анализа конфликтов. // Accident Analysis & Prevention. – 2020. – С. 142.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АГРОЭКОСИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПАКТНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ

Рудаченко В.В.[1], Давыдова Е.М. [2],
Научный руководитель: Давыдова Е.М.[2]
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, 8Д11, e-mail: vvr27@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет,ИШИТР,ст.преподаватель, e-mail: davydova@tpu.ru

Аннотация

В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты проектирования модульной вертикальной агроэкосистемы, предназначенной для компактного озеленения жилых и общественных пространств. Предложенная система выполнена в стилистике бамбука и состоит из взаимозаменяемых модулей различной высоты, в каждом из которых предусмотрены горшки для растений и встроенное светодиодное освещение, питаемое через круглый штекер. Ключевым элементом является эффективная система полива с датчиком уровня жидкости, исключающая риск перелива и позволяющая экономить водные ресурсы. В работе описаны особенности конструкции, используемые материалы, технологии изготовления и электронные компоненты, обеспечивающие надёжность и удобство эксплуатации. Представлены преимущества такого подхода к озеленению городской среды и обозначены перспективы внедрения разработанной агроэкосистемы в массовую эксплуатацию. Полученные результаты свидетельствуют о значительном потенциале модульных вертикальных структур для улучшения микроклимата, создания эстетически привлекательных интерьеров и повышения экологической устойчивости современных городов.

Ключевые слова: Вертикальное озеленение, модульная агроэкосистема, светодиодное освещение, интерьерная интеграция, экологичные материалы, компактное озеленение, городская среда.

Введение

В условиях стремительного роста городов и ограниченного количества доступных площадей для высадки растений вопросы компактного озеленения приобретают всё большую актуальность. Традиционные способы оформления зелёных зон, такие как клумбы, газоны и оранжереи, требуют существенных площадей и не всегда подходят для современных урбанистических пространств. Одновременно растёт потребность людей в непосредственном контакте с природой: психологические исследования указывают на значительное положительное влияние зелёных насаждений на эмоциональное состояние, уровень стресса и продуктивность человека. Более того, присутствие растений в замкнутых пространствах способствует улучшению качества воздуха, повышению влажности и поддержанию здорового микроклимата [1].

Одним из наиболее перспективных направлений, позволяющих организовать озеленение при дефиците места, выступают вертикальные агроэкосистемы, которые могут располагаться как внутри помещений. В отличие от традиционных горшечных систем, вертикальные конструкции позволяют эффективно использовать высоту комнаты или стеновую площадь, сохраняя при этом функционал и эстетику пространства. Настоящее исследование посвящено рассмотрению модульной вертикальной агроэкосистемы, основанной на принципах адаптивного дизайна. Система разработана с учётом потребностей пользователей и современной тенденции к созданию экологически ориентированных интерьеров [2].

Основной задачей данной работы является анализ конструкции, технологических решений и материалов, используемых для изготовления модулей, а также рассмотрение ключевых преимуществ предлагаемой системы.

Основная часть

В рамках проектирования агросистемы были рассмотрены аспекты, связанные с выбором материалов, спецификой размещения коммуникаций и удобством обслуживания модулей. Разработка такого рода систем требует тщательного анализа потребностей пользователей, особенностей эксплуатации и условий размещения, что обеспечивает функциональность и эстетичность конечного изделия. Особенно актуальна задача интеграции природных форм в современный дизайн интерьеров, что позволяет создавать гармоничные и экологически ориентированные решения.

1. Концепция модульной агроэкосистемы

Разрабатываемая вертикальная агроэкосистема основывается на идее создания модульной структуры, где каждый блок представляет собой автономный элемент, способный функционировать как в составе общей системы, так и самостоятельно. Форма и стилистика элементов были выбраны не случайно: вытянутые цилиндрические модули визуально напоминают стволы бамбука, символизируя природную гармонию и устойчивость. Модули отличаются по высоте, что позволяет формировать разнообразные варианты композиций, исходя из доступных площадей и дизайнерских предпочтений [3].

Благодаря такому гибкому подходу, пользователь может настраивать количество и расположение модулей по мере необходимости. При этом декоративный эффект достигается не только за счёт выращиваемых растений, но и за счёт оригинального внешнего вида элементов, которые легко вписываются как в современный минималистичный интерьер, так и в более классические или эклектичные пространства.

2. Конструкция и функциональность модулей

Каждый модуль, помимо декоративной оболочки, включает отдельную съёмную емкость для выращивания растений, что значительно облегчает процесс посадки растений и замену субстрата в соответствии с рисунком 1. За счёт этого пользователю не требуется разбирать всю конструкцию, достаточно извлечь ёмкость и произвести необходимые работы, такие как пересадка, удобрение или посадка растений. Данный подход повышает эргономичность и снижает трудозатраты на обслуживание системы.

Рис. 1. Концепция модуля для вертикальной агроэкосистемы

Важным компонентом конструкции выступает светодиодное освещение, встроенное в модульную структуру. Оно является низковольтным и подключается через круглый штекер, что обеспечивает простоту подключения. Размещение светодиодов на наружном элементе, напоминающий листик растения, позволяет направленно освещать растение, улучшая фотосинтез и поддерживая его здоровый рост даже в условиях недостаточной естественной инсоляции. При этом продуманная система кабелей и разъёмов способствует быстрому монтажу и лёгкой замене комплектующих в случае необходимости [4].

3. Система полива и контроль уровня воды

Одной из ключевых особенностей предлагаемой агроэкосистемы является простая и эффективная система полива. Вода подаётся вручную через верхний модуль, затем по специально предусмотренным каналам постепенно стекает вниз, увлажняя субстрат в каждом из последующих модулей. Такой принцип обеспечивает равномерное распределение влаги по всей системе и помогает избегать пересушивания или переувлажнения отдельных.

Излишки воды скапливаются в нижнем резервуаре, который снабжён датчиком уровня жидкости. Этот датчик, срабатывая при достижении критической отметки, подает световой или звуковой сигнал, предупреждая пользователя о необходимости слива избытка воды. Таким образом, минимизируются риски, связанные с протечками или застоем воды, что особенно важно при размещении системы на дорогих напольных покрытиях или в общественных пространствах. Кроме того, датчик способствует более экономному расходованию воды, так как исключает её избыточную подачу и позволяет своевременно контролировать наполнение резервуара.

4. Материалы и технологии изготовления

Для создания модулей будет использоваться переработанный пластик, который отличается высокой прочностью, долговечностью и устойчивостью к влаге. Кроме того, применение вторичного сырья способствует снижению экологического следа производства и поддерживает идею разумного потребления ресурсов. Формование изделий производится методом литья под давлением, что даёт возможность получать стенки заданной толщины и поддерживать стабильное качество при серийном выпуске [5].

После производства поверхность модулей подвергается дополнительной обработке – нанесению составов, защищающих пластик от ультрафиолетового излучения и механических повреждений. Таким образом, повышается срок службы изделия и сохраняется его эстетический внешний вид даже при неблагоприятных условиях эксплуатации. По желанию возможно добавление пигментов или нанесение декоративных покрытий для создания уникальных дизайнерских решений.

5. Электронные компоненты и интеграция светодиодного освещения

Важную роль в работе агроэкосистемы играет низковольтная электронная схема, обеспечивающая питание светодиодных модулей и контроль уровня жидкости. Для более наглядного представления был разработан структурный чертёж в соответствии с рисунком 2, отражающий взаимосвязь основных компонентов системы:

- Источник питания – базовый элемент, от которого запитываются все электронные узлы агроэкосистемы, включая освещение и индикатор уровня воды.
- Датчик уровня жидкости – контролирует высоту столба воды в нижнем резервуаре и генерирует сигнал при достижении критической отметки.
- Индикатор уровня жидкости – получает сигнал от датчика и при необходимости подаёт световое или звуковое оповещение пользователю о переполнении системы.
- Освещение – низковольтные светодиодные ленты или блоки, интегрированные в конструкцию каждого модуля. Они обеспечивают растениям необходимый для фотосинтеза свет и позволяют системе функционировать даже при недостаточной естественной освещённости [6].

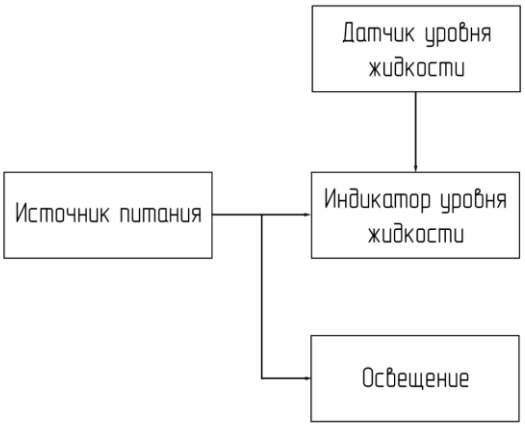


Рис. 2. Структурная схема подключения

Таким образом, структурная схема подключения демонстрирует, как все элементы электронного блока работают в комплексе: датчик уровня жидкости передаёт информацию об объёме воды, индикатор сообщает о превышении допустимого уровня, а от того же источника питания питаются и сами светодиоды. Низкое рабочее напряжение делает систему безопасной для пользователя, минимизируя риск короткого замыкания или поражения током в условиях высокой влажности.

Результаты

Комплексная оценка предложенной модульной вертикальной агроэкосистемы показала, что разработанная конструкция обеспечивает удобство и экономичность эксплуатации, гибко адаптируясь к самым разнообразным интерьерным решениям. Ручной полив через верхний модуль в сочетании с системой стекания воды позволяет эффективно увлажнять субстрат и контролировать расход жидкости, исключая необходимость в сложных насосах или трубопроводах. Наличие датчика уровня воды в нижнем резервуаре делает эксплуатацию более безопасной, поскольку сигнализирует о критическом объёме и защищает конструкцию от переливов, а окружающее пространство – от возможных протечек. Возможность комбинирования модулей разной высоты даёт широкий спектр вариантов конфигураций, позволяя легко подстраивать систему под размеры и особенности помещения либо менять облик композиции при переезде или перепланировке.

Кроме того, наличие встроенного светодиодного освещения, работающего на низком напряжении, способствует безопасной эксплуатации и благоприятно отражается на росте растений, особенно при недостатке естественного света. Использование переработанного пластика в качестве основного материала модулей обеспечивает экологичность и прочность всей конструкции, а метод литья под давлением способствует серийному производству изделий с одинаково высоким качеством. Устойчивость к влаге и ультрафиолетовому излучению достигается за счёт дополнительной обработки поверхности модулей специальными составами, благодаря чему они сохраняют привлекательный внешний вид на протяжении длительного времени.

Помимо непосредственного эстетического эффекта и улучшения микроклимата за счёт присутствия зелёных насаждений, предлагаемая модульная система отличается надёжностью и повышенной безопасностью. Низковольтная светодиодная подсветка устраняет риск поражения электрическим током, а звуковые и световые сигналы от датчика уровня жидкости упрощают уход за растениями, вовремя оповещая о необходимости слива избыточной воды. Таким образом, проект представляет собой целостное решение для вертикального озеленения, сочетающее эргономичность, экономное использование ресурсов, эстетическую привлекательность и экологически ориентированный подход к производству и эксплуатации.

Заключение

Таким образом, разрабатываемая модульная вертикальная агроэкосистема представляет собой перспективное решение для компактного озеленения жилых и общественных пространств, позволяя одновременно решать задачи улучшения микроклимата, создания визуально привлекательного интерьера и экономного использования ресурсов. Предложенная конструкция, выполненная в стилистике природных форм, сочетает в себе высокую функциональность и гибкость конфигурации, что делает её универсальной для внедрения в различные типы помещений.

Эффективность системы подтверждается продуманной технологией полива с датчиком уровня жидкости, а также безопасным и удобным светодиодным освещением, работающим на низком напряжении. Применение экологичных материалов и серийных методов производства упрощает процесс масштабирования и позволяет распространять данное решение в массовом порядке.

Список использованных источников

1. Сосунова И.А. Экодизайн в России: социально-технологические аспекты и проблемы развития / И.А. Сосунова // Вестник Международной академии наук (Русская секция). – 2015. – № 1. – С. 66–69.
2. Подольская Т.В., Васюта Е.А., Плаксина А.Ю. Вертикальные фермы как ключевое направление интенсификации сельского хозяйства в условиях урбанизации // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Том 13. – № 5А. – С. 294–304. – DOI: 10.34670/AR.2023.10.32.115.
3. Логачева Н.И., Шешко Н.Б. Энциклопедия комнатных растений / сост. Н.И. Логачева, Н.Б. Шешко. – Минск: Соврем. шк., 2006. – 271 с.
4. Бушланова К.В., Жукова О.М. Исследование влияния искусственного освещения на травянистые сельскохозяйственные растения. – [Электронный ресурс]. – URL: goo.su/mUmOO (дата обращения: 26.03.2025).
5. Дыбин В.М. Переработка углепластиков: зарубежный опыт и перспективы применения / В.М. Дыбин, Н.И. Романова, С.Ю. Кравцов // Труды ВИАМ. – 2015. – №12. – С. 100-106. – URL: cyberleninka.ru/article/n/zarubezhnyy-opyt-razvitiya-proizvodstva-izdeliy-s-ispolzovaniem-vtorichno-pererabotannyh-polimernyh-kompozitsionnyh-materialov-obzor/viewer (дата обращения: 26.03.2025).
6. Нетесов С.В., Лапшин И.П., Козлов А.В. Влияние светодиодных ламп на рост растений // Государственный аграрный университет Северного Зауралья. – Тюмень. – [Электронный ресурс]. – URL: elibrary.ru/download/elibrary_42736453_59903695.pdf (дата обращения: 26.03.2025).

СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОГО ДОСТУПА В ПОМЕЩЕНИЕ

Сарычева А.К.[1], Шкляр А.В.[2],
[1] Томский политехнический университет, ИШИТР, 8Д11, e-mail: aks@tpu.ru
[2] Томский политехнический университет, ИШИТР, ст. преподаватель, e-mail: shklyarav@tpu.ru

Аннотация
Работа направлена на создание вариантов концепций системы бесконтактного доступа в помещение, а далее выявление лучшей из них.
Ключевые слова: дверь, система, удобство, доводчик, работа

Введение

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к бесконтактным технологиям в общественных пространствах, и прежде всего, в санузлах. В статье будут рассмотрены концепции бесконтактного доступа в помещение, акцентируя внимание на их роли в обеспечении санитарно-гигиенической безопасности. Как итог, по ранее сформулированным требованиям, будет выбрана основная концепция системы.

Сценарии пользования помещением

Для начала, были рассмотрены сценарии использования прохода или двери пользователем, в соответствии с рисунком 1. В первую очередь для того, чтобы выявить, как человек конкретно взаимодействует с системой. Это в дальнейшем позволит создать наиболее удобную систему прохода в санузел.

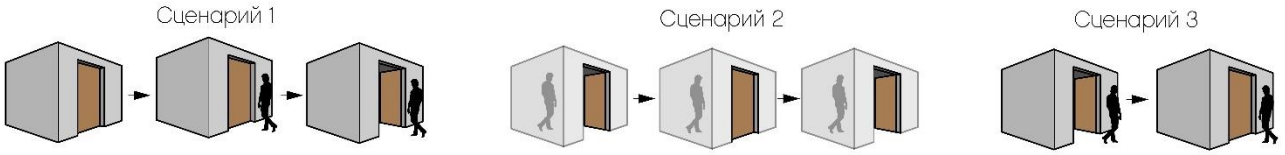


Рис. 1. Сценарии пользования помещением

Сценарий 1: Пользователь снаружи, дверь первоначально закрыта. Приблизившись к двери, пользователь замечает, что она закрыта. Данный факт может указывать на присутствие кого-то внутри или на то, что дверь просто изначально всегда остается закрытой. Так, пользователь может без колебаний попытаться открыть дверь. Обычная дверь без специальных указателей никак не помогает определить присутствие кого-либо внутри.

Сценарий 2: Пользователь внутри, дверь закрыта. Удостоверившись в отсутствии занятости помещения, пользователь открывает дверь и заходит внутрь. Далее пользователь закрывает дверь, создавая приватную обстановку. Он может спокойно пользоваться помещением, не беспокоясь о посторонних. Если необходимо выйти, пользователь готовится открыть дверь.

Сценарий 3: Пользователь выходит, закрывает дверь. Когда пользователь готов выйти, дверь открывается, и пользователь покидает помещение. А далее, он закрывает дверь за собой, возвращая ее в начальное состояние.

Необходимо обозначить, что были описаны простые взаимодействия с дверью помещения без дополнительных технологий, исходя из требования для объекта – финансовая доступность. Для разработанных далее концепций были оставлены только такие сценария пользования, как первоначально открытая дверь, когда помещение свободно, и закрытая дверь, если внутри пользователь. Другие сценарии для помещений санузла не обязательны и их отсутствие никак не повлияет на корректность работы системы.

Концепции двери

Дверь является неотъемлемой частью данной системы, поскольку она обеспечивает приватность для пользователей. Для разрабатываемой системы необходимо, чтобы контакт с дверью происходил только с помощью ног, поэтому классическая дверь не подходит из-за эргономических проблем. Далее представлены варианты, которые могут пройти на дальнейший этап проверки на соответствие требованиям.

Первый вариант – складная дверь вбок [4]. Когда конструкция начинает движение, панели складываются друг на друга и далее движутся по двум направляющим, которые установлены сверху и снизу.

Второй вариант – радиусная дверь [3]. Это полотно, которое, в первую очередь, отличается своей изогнутой формой и сдвигается вбок. Ее особенность – это то, что ее ход происходит внутри санузла, тем самым требуя минимальной площади для своей работы.

Третий вариант – поворотно-сдвижная дверь [2]. Основой конструкции служит система роликовых направляющих, которые позволяют панелям свободно скользить в сторону, а поворотный механизм обеспечивает возможность открывания двери под углом, что увеличивает ширину входа. Ее ход, так же, как и во втором варианте, не требует большого пространства.

Таким образом, были обозначены основные концепции двери для бесконтактной системы санузла, которые далее будут проанализированы с помощью определенных требований.

Концепции системы доводчиков

Главное, что отвечает за корректную работу всей системы, это доводчики двери [1]. Они определяют, каким образом пользователь будет взаимодействовать с системой. Так, для нашей системы необходимо иметь два доводчика – первый для закрытия двери, второй для открытия. Далее представлены разработанные варианты таких доводчиков.

Пружина и мускульный доводчик. Работа при такой системе будет происходить следующим образом: изначально дверь находится в открытом состоянии, механический пружинный доводчик двери взведен и от закрытия ее удерживает замок или защелка. Далее пользователь заходит в помещение и с помощью специальной ножной педали отжимает замок, дверь под силой пружины закрывается, в крайнем положении ее также удерживает защелка. Когда пользователь будет выходить, он должен заново взвести пружину, и это он сделает с помощью другой педали, которая будет иметь храповый механизм для пошагового взвода пружины. Далее он опять нажимает на педаль, которая открывает защелку и дверь открывается.

Пружина и запасенная энергия. Данная концепция исходит из идеи связать работу других компонентов системы с взводом пружинного доводчика. То есть, пользователь заходит в помещение, с помощью ножной педали отжимает замок и дверь закрывается. Далее, возможно два варианта повторного взведения пружины – бачок унитаза или раковина. В первом случае, бачок унитаза будет установлен на пружине, которая под изначальным объемом воды будет сжата и дверная пружина будет расслаблена. При смыве воды, когда бачок будет пустым, пружина будет распрямляться, ход бачка будет взводить дверную пружину. При выходе из помещения, пользователю остается только отжать защелку двери и она откроется. В случае с раковиной, вариант работы выглядит следующим образом: под самой раковиной будет резервуар на пружине, который будет связан с дверной пружиной. Когда пользователь будет мыть руки, вода будет наполнять этот резервуар, и также, как и в случае с бачком унитаза, с помощью его хода будет взводиться пружина двери.

Рычаг и мускульная работа. Данная концепция, в отличии от предыдущих, более простая в своей работе. Дверь находится на рычажной конструкции, которая крепится к потолку или к верху перегородок. Для изменения наклона рычага установлены две педали внутри помещения. Далее, пользователь заходит вовнутрь и с помощью усилия ноги изменяет

направление двери, тем самым закрывая ее. В крайнем положении она также удерживается с помощью замка. При выходе из санузла пользователь должен нажать на другую педаль, тем самым открыть дверь. Стоит отметить, что систему защелки и рычага возможно связать и контролировать от одной педали, которая отвечает за открытие.

Таким образом, разработаны концепции для работы бесконтактной системы санузла, которые далее будут проанализированы с помощью определенных требований к объекту, и, как итог, будет выбрана лучшая из представленных систем для более тщательной конструкторской и эстетичной проработки.

Анализ концепций

Необходимо обозначить конкретные требования к объектам, по которым далее будут рассматриваться представленные концепции: стоимость системы, стоимость обслуживания, приватность, удобство пользования, удобство обслуживания, интуитивность пользования системой, эргономичность, устойчивая конструкция, компактность.

Рассматривая вариант со складной дверью вбок, стоит отметить, что она достаточно компактная, не требует много места для своей работы, в теории является финансово доступной и простой в обслуживании, также, исходя из того, что пользователь должен толкать ногой между двух створок, можно сказать о достаточно понятном механизме взаимодействия с дверью для пользователя. Однако, этот механизм может оказаться не самым удобным и эргономичным, поскольку чтобы открыть дверь нужно балансировать на одной ноге, а второй аккуратно, с определенной силой толкать. Говоря о приватности, также стоит отметить, что в закрытом состоянии между створок может быть зазор, что негативно будет влиять на комфортное пребывании в помещении.

Радиусная дверь также не требует большого пространства для своей работы, однако ее стоимость может быть больше из-за гнутой конструкции, а ее обслуживание будет требовать большего внимания, так как необходимо следить за состоянием роликов, на которых выполняется ход двери. Хоть дверь и не занимает много пространства, при ее конечных состояниях могут оставаться небольшие зазоры, что плохо отразится на приватности пользования.

Последняя концепция – поворотно-сдвижная дверь имеет ряд преимуществ, таких как устойчивость конструкции благодаря нескольким направляющим и возможности крепления снизу и сверху полотна. Далее, ее цена также не особо большая, но с обслуживанием, как и в предыдущем варианте, необходимо тщательнее следить за механизмом. Она не занимает много пространства, создает хорошую приватность, а также, исходя из ее конструкции, ее не надо толкать, она будет работать от педалей.

Таким образом, исходя из проведенного анализа, лучшей концепцией для дальнейшей разработки была выбрана поворотно-сдвижная дверь, благодаря своим преимущественным качествам: надежность конструкции, удобство для пользования и компактность.

После выбора двери, необходимо проанализировать концепции работы всей системы для окончательного выбора всех компонентов для дальнейшей разработки.

$$A = \int_{\partial 1}^{\partial 2} \left(\vec{M} \right) d\partial = \left(\vec{M} \right) (\partial 2 - \partial 1) \tag{1}$$

Согласно выписке из стандарта об усилии закрывания дверных доводчиков [4], были взяты минимальные значения для расчетов работы на открытие, а именно вес двери 20 килограмм, ширина 750 миллиметров, начальный угол 4 градуса (0,017 радиан), конечный угол 90 градусов (1,54 радиан), средний показатель момента силы между 0 и 4 градусами 10 Ньютон/метр и средний показатель момента силы между 88 и 92 градусами 2 Ньютон/метр. Далее, по формуле, в соответствии с формулой 1, был выполнен расчет и, как итог, минимальное значение работы на открытие двери составил около 3 Джоулей.

Этот показатель не особо большой, однако, в первой концепции про систему пружинного доводчика и мускульной работы, чтобы взвести пружину и открыть дверь возникает вопрос о том, как и сколько по времени займет это открытие. Поскольку, средний ход поворотно-сдвижной двери составляет примерно половину от ее ширины, то есть 375 миллиметров, необходимо либо много, а значит долго жать на педаль, либо трудно. Это создает большую проблему для пользователя, так как это может занять много времени или сил, что не соответствует критерию удобства и эргономичности системы.

Анализируя вторую концепцию про систему пружины и запасенной энергии возникает большая проблема с объемом воды для взведения пружины. Исходя из полученного значения работы на открытие двери и средним значением объема воды бачка унитаза 6 литров, было вычислено значение перемещения бачка для взвода пружины в 5,5 сантиметров при условии спуска всех 6 литров, в соответствии с формулой 2.

$$A = FSg \tag{2}$$

Рассматривая ситуацию с раковиной, идея, связанная с одновременным мытьем рук и взвода пружины при расчетах оказалась отклонена, поскольку для взвода пружины необходимо либо производить перемещение контейнера на достаточно большое расстояние, либо выливать минимум около 1 литра воды, что в принципе не проходит по критерию удобства системы, в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1. Зависимость значения перемещения контейнера от объема воды

Ход системы	Объем воды
10 см.	3,25 л.
15 см.	2,2 л.
25 см.	1,3 л.
37,5 см.	0,87 л.

Анализируя последнюю концепцию про рычажную систему и мускульную работу, можно сказать, что она намного проще, чем предыдущие варианты, в соответствии с рисунком 2, потому что в ней нет пружинного доводчика, достаточно придать начальное ускорение, так как нет постоянной работы против закрывающей пружины. В данном случае, даже простое дверное полотно будет эффективно работать, если максимально упростить компоненты системы. Для перемещения двери также не должно возникать трудностей, поскольку можно для максимального упрощения перемещения тех же 20 килограмм сделать больше рычаг педали.

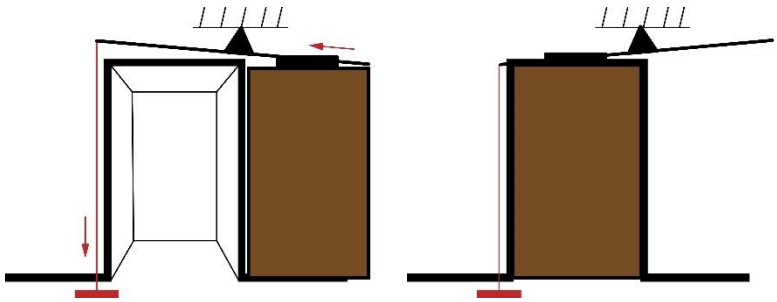


Рис. 2. Схема системы рычага и мускульной работы

В итоге, исходя из проведенного анализа и расчетов, лучшим из вариантов оказалась самая простая концепция с рычагом и мускульной работой пользователя, так как она надежнее

и удобнее других. В первом случае, как уже было сказано, требование удобства пользования и обслуживания не было выполнено, так как система оказалась трудной для быстрого понимания ее работы, а также тяжелой или долгой для самого пользователя. Во втором варианте масса проблем, связанных с экономической частью, удобством и конкретно со взводом пружины. Двигающийся бачок унитаза даже теоретически будет дорогим в производстве и трудным в установке, а ситуация с раковиной оказалась не эргономичной и даже энергозатратной, поскольку будет происходить перепотребление воды.

Заключение

В заключении подчеркнуто, что в работе была выявлена лучшая концепция системы бесконтактного прохода в помещение с помощью составленных требований к объекту.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 56177-2014. Устройства закрывания дверей (доводчики). Технические условия /Национальный стандарт Российской Федерации. – М. : Изд-во стандартов, 2014. – 3 с.

2. RU105932U1 - Дверь поворотно-сдвижная - Яндекс.Патенты. – [Электронный ресурс]. – URL: yandex.ru/patents/doc/RU105932U1_20110627?ysclid=m8oi9ifgi5392909865 (дата обращения: 25.03.2025)

3. RU108075U1. Радиусная дверь-купе: № 108075U1: заявл. 10.09.2011: опубл. 10.09.2011. – [Электронный ресурс]. – URL: yandex.ru/patents/doc/RU108075U1_20110910?ysclid=m8ogita9un178747943 (дата обращения: 25.03.2025).

4. RU2377380C2. Гибкая складная быстрозакрывающаяся дверь: № 2377380C2: заявл. 27.12.2009: опубл. 27.12.2009. – [Электронный ресурс]. – URL: yandex.ru/patents/doc/RU2377380C2_20091227 (дата обращения: 25.03.2025).

КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НАЛИЧНИКОВ ДЕРЕВЯННОЙ АРХИТЕКТУРЫ ТОМСКА

Симанович Е.Е.[1], Кухта М.С.[2]
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, гр. 8Д11, ees27@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, д. филос. н., профессор, kuhta@tpu.ru

Аннотация

Данная работа рассматривает проблему освещения фасадов деревянной архитектуры г. Томска. В работе формируются требования к светильникам, предлагаются варианты конструкции, учитывающие удобство их эксплуатации и обслуживания, а также сохранение комфорта визуальной среды города.

Ключевые слова: фасад, светильник, деревянная архитектура, конструкция, комфортная среда, культурный код.

Введение

В современном мире освещение городских улиц играет роль не только способа обеспечения видимости для водителей и пешеходов в темное время суток, но и приема создания атмосферы, акцентирования внимания на архитектурных особенностях зданий. В контексте исторической архитектуры г. Томска важно подчеркнуть уникальные формы оконных наличников, являющихся одной из визитных карточек региона. Цель данной работы состоит в том, чтобы предложить вариант конструкции светильника, не только выгодно подчеркивающий эстетику деревянной архитектуры, но и не нарушающий композиции фасада, а также не доставляющий неудобств как людям, находящимся внутри здания, так и прохожим.

Основная часть

Окно – неотъемлемая часть любого дома. Функционально оно призвано удовлетворять потребность человека в связи с окружающей средой, в естественном освещении. Оформление же окна, называемое наличником, отвечает эстетическим потребностям человека. Различные по форме и узорам наличники отражают своим многообразием ход развития и смены архитектурных стилей в городе, а также являются одним из основных элементов композиции фасада.

Среди томских домов можно найти скромные наличники в русском стиле, строгие, украшенные колоннами и «занавесками» примеры классицизма, богатые, пышные наличники в стиле барокко и куда менее декоративные, скромные украшения в стиле модерн [1]. При свете дня не составляет труда разглядеть в мельчайших подробностях все многообразие форм и мотивов. В ночное же время большинство зданий освещаются в лучшем случае утилитарными фонарями автомобильных дорог и пешеходных зон, как показано на рис. 1.

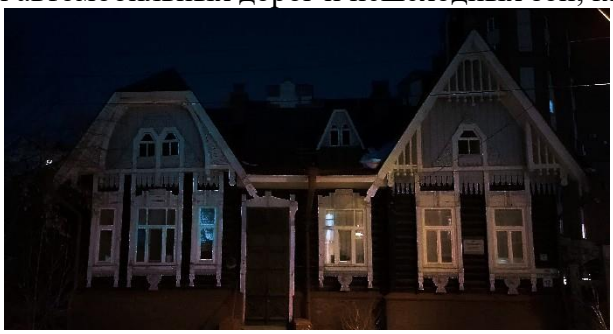


Рис. 1. Освещение деревянной архитектуры в ночное время

Как видно по примерам на рисунке, имеющийся способ освещения не позволяет в полной мере выразить красоту наличников. Современные тенденции в световом оформлении

городских пространств требуют не только функциональных решений, обеспечивающих безопасность населения в темное время суток, но и эстетических, способствующих созданию комфортной световой среды, необходимой также и для развития вечернего туризма в городах [2].

Рассматривая проблему освещения деревянных наличников, стоит уделить особое внимание композиции всего фасада. Внося в нее новый элемент в виде светильника так или иначе придется решить ряд проблем. Первая заключается в том, что композиция фасада и без того уже достаточно насыщена различными элементами и добавление нового элемента в виде светильника с легкостью может ее перегрузить.

Вторая проблема состоит в стилистическом соответствии внешнего вида проектируемого светильника стилистике оформления фасада. Современные по дизайну приборы в большинстве своем совершенно не сочетаются с элементами деревянной резьбы и своей инородностью также нарушают внешний вид здания.

Третья проблема касается людей. В Томске многие из исторических домов, украшенных резьбой, являются жилыми, в некоторых находятся офисные помещения или другие места, в которых люди пребывают на протяжении значительных временных промежутков. Свет приборов, направленный на наличник, неизбежно будет попадать внутрь здания, создавая так называемое световое загрязнение, провоцирующее у человека нарушение циркадных ритмов, снижение иммунитета, повышение раздражительности и т. д. [3].

Чтобы минимизировать влияние этих проблем, предлагается использовать не подсветку фронтальной плоскости наличника, а локальное фоновое освещение, в соответствии с рис. 2.

Рис. 2. Предлагаемый вариант освещения наличников на фасаде

Размещение светильников на изнаночной стороне наличника позволит вывести на передний план ту часть формы, которой не хватает света окружающих фонарей, подчеркнуть индивидуальные особенности за счет высветления фона.

Такое решение возможно, так как, согласно проведенным замерам, в значительной части домов с резным деревянным оформлением присутствует хоть и небольшое, но достаточное для размещения подсветки пространство глубиной 100 – 200 мм. При этом располагать светильник можно либо в верхней, либо в нижней части, потому что по бокам декоративные элементы выступают меньше. Такое сжатое пространство формирует первое функциональное требование к светильнику – его минимальный размер. Кроме него можно привести еще несколько:

• Стойкость к влаге и пыли. Светильник должен обладать классом защиты не менее IP65, что подразумевает полную защиту от пыли и защиту от струй воды слабой силы.

• Теплоотведение. Для продления срока службы источников света, выделяющих много тепла, необходимо предусматривать в конструкции радиаторы или конвекционные отверстия, отводящие тепло, если источник питания расположен непосредственно в корпусе светильника. Если же рассматривать систему освещения, в которой необходимо минимизировать размеры приборов, можно использовать решения, в которых источник питания расположен вне корпуса светильника, внутри здания или отдельно на фасаде.

• Энергоэффективность. Светильник должен давать максимально яркий свет при минимальном энергопотреблении, чтобы снизить эксплуатационные расходы и воздействие на окружающую среду [4].

• Надежность и долговечность. Корпус светильника (и конструкция, и материалы) и крепежная арматура должны выдерживать свой собственный вес, а также средовые нагрузки – снег и ветер, а также изменения температуры окружения.

• Удобство монтажа. Фиксация светильника на фасаде не должна вызывать затруднения у работников.

• Антивандальность. Для светильников, расположенных в потенциальной доступности для прохожих, кроме применения прочных материалов корпуса, рекомендуется дополнительно защищать источник света закаленным стеклом или пластиком высокой прочности от попыток намеренного повреждения.

• Простота технического обслуживания. Конструкция должна предусматривать легкий доступ для ремонта или замены внутренних элементов, а также очистки при необходимости.

Наиболее подходящим источником света будет светодиодный, рекомендованный для создания локальной и контурной подсветки деталей фасадов и элементов ландшафта [5]. Конструкция такого светильника состоит из четырех основных элементов: корпуса, блока питания, светодиодного модуля и рассеивателя.

Как уже было сказано выше, для уменьшения размеров светильника можно удалить из корпуса блок питания, что также позволит отказаться от охладительных радиаторов. В таком случае в нем останется только сама светодиодная плата и рассеивающая оптика. По форме же светильник должен быть тонким и длинным, чтобы полностью осветить пространство под наличником. Вероятно, следует предусмотреть не прямое его положение, а наклонное, чтобы пятно света на фасаде не концентрировалось строго напротив светильника, а было чуть растянуто вверх и вниз соответственно. Особенно это актуально для наличников с богатой резьбой, занимающей много места на фасаде.

Закреплять такой светильник следует на плоскостях оконной коробки, так как процесс монтажа на самой стене или изнаночной стороне наличника может быть затруднен для рабочих из-за ограниченного пространства, в котором крайне неудобно использовать какие-либо инструменты. Таким образом, можно предложить два варианта крепления светильника, представленных на рис. 3.

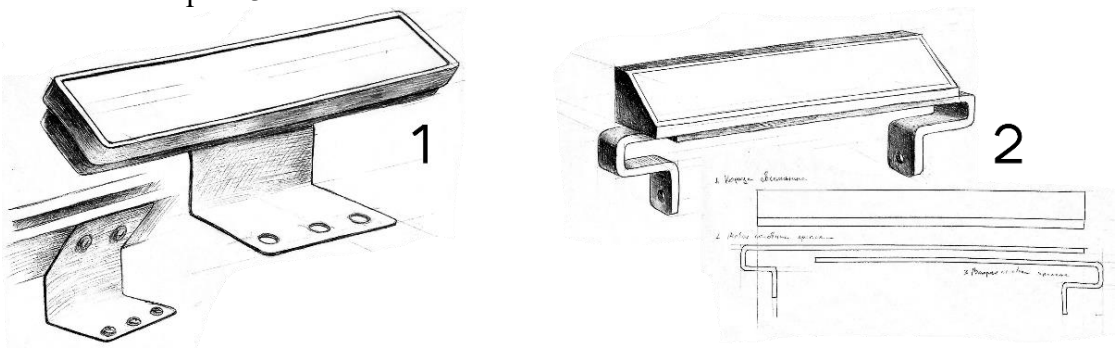


Рис. 3. Варианты крепления светильника
1 – крепление на поверхности, параллельные земле; 2 – крепление на боковые поверхности

Первый – разместить светильник на плоскостях оконной коробки, параллельных земле. Такое крепление позволяет не зависеть от конкретных размеров окна, но в нижней части может быть недостаточно надежным. Второй – разместить элементы крепления на боковых плоскостях коробки, как бы зажимая окно между ними. Зависит от размеров окна, так что при разработке подобной конструкции необходимо предусмотреть возможность регулировки ширины крепления.

Работая с культурным кодом, стоит учитывать, что он предполагает не только стагнацию на уже сформированных и устоявшихся традициях, но и развитие. Опираясь на традиции можно развивать идеи, заложенные в них, адаптируя их к условиям нового времени. Поэтому, для наилучшей демонстрации разрабатываемой подсветки, предлагаются варианты наличников, представленные на рис. 4.

Рис. 4. Варианты дизайна наличников

В представленных наличниках основной декоративный элемент – пропильная, то есть узорная резьба со сквозными отверстиями. Такие элементы декора изготавливаются из сосновой или лиственничной доски при помощи прорезания или высверливания отверстий по заранее нанесенному шаблону. Стилистика же основывается на часто встречающихся в томских наличниках, выполненных в стиле барокко, растительных узорах и традиционных узорах одного из коренных народов области – хантов.

Стоит отметить, что предложенный ранее способ подсветки позволяет украшать и глухую резьбу, но с прорезной работает наилучшим образом и позволяет достичь максимального декоративного эффекта. Разработка же собственных новых наличников дает возможность использовать светильник не только для подсветки зданий из исторического фонда, но и работать с деревянным новостроем, продолжая и развивая традиционные элементы культурного кода.

Заключение

В результате работы выдвинуты основные требования к светильникам для освещения фасадов деревянных зданий, декорированных наличниками. Предложены варианты конструкции светильников, а также варианты наличников, согласующиеся с культурным кодом региона и максимально раскрывающие предлагаемую концепцию освещения.

Список использованной литературы

1. Колосова И.И., Остроухова Е.А. Этапы становления и развития декора в деревянной архитектуре Томска (на примере наличников) // Вестник ТГАСУ. – 2013. – № 3. – С. 118 – 131.

2. Ильчук А. Освещение городов: задачи, разновидности и особенности // Diora: производство LED светильников. – [Электронный ресурс] – URL: diora.pro/blog/osveshhenie_ gorodov_zadachi, _raznovidnosti_i_osobennosti/ (Дата обращения: 10.10.2024).

3. Курочкина В.А., Жирякова А.Е. Световое загрязнение как фактор влияния на человека и окружающую среду // Вестник Евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 1. – DOI 10.15862/39nzvn122. – EDN SBGGHI.

4. Щепетков Н.И. Светодизайн города и интерьера: Учебное пособие для высших учебных заведений / Н.И. Щепетков. – Москва: Редакция журнала «Светотехника», 2021. – 456 с.

5. ПНСТ 28-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Освещение архитектурное и функционально-декоративное. Нормы и методы измерений. Дата введения: 04.02.2015. – [Электронный ресурс]. – URL: irtechnologies.ru/assets/pnst-28-2015.pdf (Дата обращения: 20.01.2025).

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕСТВА И ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ МАРШРУТОВ

Лобастова Е.С. [1], *Кухта М.С.* [2]
[1]*ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8ИМ42, e-mail: esl22@tpu.ru*
[2]*ТПУ ИШИТР ОАР, д.ф.н., профессор, e-mail: kuhta@tpu.ru*

Аннотация

Статья посвящена разработке цифровой системы "Деревянное кружево Томска", направленной на сохранение деревянного зодчества и культурного наследия города и популяризацию знаний о нем. Рассматриваются проблемы ослабления национальной идентичности и формирования псевдокультуры, а также возможность решения этих проблем с помощью цифровой платформы.

Ключевые слова: цифровая система, культурное наследие, идентичность, самобытность, деревянное зодчество, псевдокультура, интерактивный каталог, классификатор, база данных, цифровая платформа.

Введение

В эпоху стремительного развития технологий и роботизации процессов особое значение приобретает сохранение культурного наследия и идентичности регионов (осознанной принадлежности к уникальным региональным традициям в контексте отечественной культуры). Основная цель исследования – разработка интерактивного каталога, который можно использовать в образовательных целях. Основной рассматриваемый этап работы – проведение анализа деревянных памятников архитектуры города, в особенности наличников, с целью формирования базы цифрового каталога, путем классификации и группировки образцов по кластерам.

Основная часть

В Томске насчитывается около 700 памятников деревянного зодчества, что делает его одним из ведущих городов в России по количеству сохранившихся исторических деревянных построек. Эти здания построены в основном в XIX веке – начале XX века, они представляют архитектурную ценность, так как отражают традиции русского деревянного строительства, обогащённые местными особенностями и влиянием сибирской природы. Обилие резного декора, карнизы и фасады делают дома образцом декоративного искусства.

В общей архитектуре Томска особенно выделяются резные наличники на окнах, каждый из которых имеет свою историю, зашифрованную в уникальных орнаментах и мотивах, отсылающих нас к древним сибирским обычаям, поверьям, преданиям. Опуская функциональное назначение наличников – защиту от ветра и осадков, важно понимать их символику. Во времена резчиков наличники являлись особым элементом декора фасада дома и считалось, что они являются «глазами дома», обрамление, наполненное орнаментальными мотивами, несет в себе «душу дома», оберегает жителей, в зависимости от того, какие орнаменты включали в композицию.

В рамках разработки цифровой системы «Деревянное кружево Томска» проведено исследование специфики деревянной архитектуры Томска и произведен первичный отбор материала контента для дальнейшей цифровой системы на основе проведенной фотофиксации небольшой части деревянных домов в Советском и Кировском районе города.

В процессе работы была составлена структура критериев, по которым будет производится анализ наличников, резьбы и домов. В структуру критериев были вынесены такие разделы, как:

1. Формальные характеристики:

- форма (прямоугольные, арочные, фигурные).
- Геометрия узора (симметричность, асимметрия).

2. Орнаментальные мотивы:

- флоральные (растительные) узоры.
- Зооморфные мотивы (животные, птицы).
- Геометрический орнамент.
- Символические изображения (солярные знаки, традиционные обереги).

3. Материалы и технологии:

- породы дерева (лиственница, сосна и др.).
- Техника резьбы (сквозная, рельефная, глухая).
- Способы обработки (ручная резьба, машинная работа).

4. Хронология и стиль:

- исторический период (XIX, XX век).
- Архитектурный стиль (русский классицизм, модерн, эклектика).
- Влияние региональных и национальных традиций.

5. Состояние и сохранность

- первозданность (оригинальные элементы vs. реставрация).
- Степень повреждений (утраты, следы воздействия времени).
- Современные реставрационные практики.

6. Историческое влияние

- завезенные образцы;
- Смешение культур в одной области.

По данным критериям был проведен анализ 14 домов, рассмотрим некоторые из них.

Дом на улице Герцена, 9, представленный на рис. 1, отличается прямоугольными наличниками, в верхней части которых прослеживается мягкое закругление. Сохранившийся орнамент носит преимущественно симметричный характер: по бокам окон расположены вертикальные полосы с ромбовидными и треугольными вставками. Центральная часть декора содержит мотивы, напоминающие солярные знаки, что типично для народной резьбы конца XIX – начала XX века. Основной материал – сосна, на которой видны следы ручной рельефной обработки.

Рис. 1. Дом по адресу Герцена, 9 г.Томск

Здание на Белинского, 19, изображенный на рисунке 2, выделяется арочными формами верхней части наличников и лёгкой асимметрией в декоративной резьбе. Орнамент преимущественно флоральный, дополненный небольшими розетками. Использованы элементы сквозной резьбы по лиственнице – более дорогому и долговечному материалу. Датируется концом XIX века и демонстрирует сочетание традиционных мотивов с чертами европейского модерна. Часть сквозной резьбы утрачена, что требует дальнейшей реставрации.

Дом на Белинского, 27а, изображенный на рисунке 3, имеет прямоугольные наличники с выступающим козырьком, подчёркивающим верхнюю границу окна. Геометрический орнамент (ромбы, квадраты) размещён симметрично и выполнен преимущественно в технике ручной и частично машинной резьбы по сосне. Постройка, вероятно, начала XX века. Состояние декора хорошее, хотя некоторые декоративные уголки утеряны.

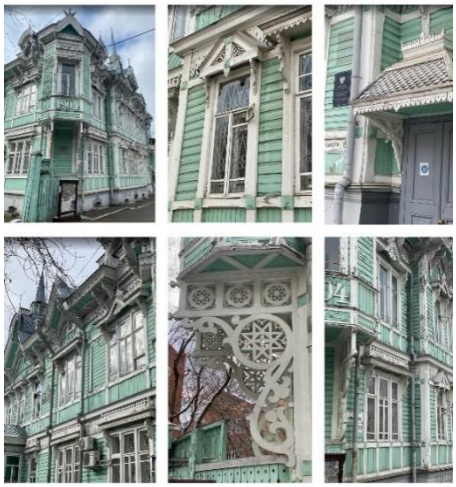


Рис. 2. Дом по адресу Белинского, 19

Рис. 3. Дом по адресу Белинского, 27а

На Карташова, 18 можно наблюдать выразительные волнообразные линии наличников и массивные столбы при входной группе. Орнамент включает зооморфные мотивы (стилизованные птицы) на фризе и сочетание рельефной и глухой резьбы. Материал – сосна. Объект относится к концу XIX – началу XX века, отражая переходный этап от традиционного народного декора к элементам русского модерна. Часть фриза нуждается в реставрации из-за потерь резных деталей (рис.4).

На доме по адресу Кузнецова, 17 преобладают геометрические орнаменты (плетёнки), распределённые асимметрично по поверхностям наличников. В верхней части фронтона встречаются мотивы, напоминающие стилизованные птичьи крылья. Деревянные элементы изготовлены из сосны, большинство деталей выполнены в технике глухой резьбы. Предположительно, дом относится к первой трети XX века и отличается частичной утратой декоративных планок (рис.5).

Рис. 4. Дом по адресу Карташова, 18

Рис. 5. Дом по адресу Кузнецова, 18

После проведенного анализа деревянных памятников архитектуры по выбранному району города, их необходимо классифицировать, для упрощения информации и оптимизации, что позволит в дальнейшем легко перевести объем наполнения в базу данных и работать с цифровым наполнением платформы.

Предлагаемая классификация основывается на мотиве орнамента – это геометрические орнаменты, флоральная резьба, зооморфные и смешанные мотивы, народная символика и солярные образы. Группа геометрических мотивов отличается повышенной «графичностью»: прямые линии, чётко очерченные формы, ромбы, треугольники. Подобные решения могли быть как результатом классических традиций (влияние русского классицизма), так и следствием упрощения декора в первой половине XX века.

Вторая группа - флоральная резьба - доминирует растительная тематика (листья, цветы, стебли). Такая резьба нередко исполнялась в более дорогом материале (лиственница), что повышало долговечность декора. Хронологически относится к концу XIX – рубежу XX века, когда эклектика с выраженными флоральными мотивами получала широкое распространение.

Третья группа - зооморфные и смешанные мотивы - характерна употреблением символических изображений птиц, зверей, иногда в сочетании с геометрической сеткой или растительными орнаментами. Подобные решения отражают народные художественные традиции Сибири, где зооморфная резьба часто имела обереговую функцию.

И, последняя, группа - народная символика и солярные образы - дома этой категории сочетают элементы нескольких типов: флоральные, геометрические и, нередко, солнце-символику. Сюда же можно отнести и здания, где один тип орнамента не превалирует, либо их мотивы комбинированы достаточно равномерно.

В ходе анализа и фотофиксации было выявлено, что геометрические мотивы широко распространены и нередко встречаются в сочетании с отдельными символическими вставками (например, солярными знаками). Флоральная резьба характерна для домов, возведённых в период активного развития эклектики (конец XIX – начало XX века), когда в Томске и близлежащих регионах формировался запрос на декоративное «оживление» фасадов. Зооморфные образы занимают особое место в сибирской резной традиции: птицы, звери и их стилизованные изображения встречаются как самостоятельные элементы или как часть более сложных композиций. Смешанные решения (солярные, флоральные, геометрические детали одновременно) особенно типичны для переходных этапов, когда мастера адаптировали народные традиции под новые архитектурные веяния.

Заключение

Таким образом, разработанная система классификации по орнаментальным мотивам позволяет структурировать разнообразие деревянного зодчества Томска. В дальнейшем данная классификация может дополняться новыми категориями или подгруппами (с учётом стиля, хронологии, технологии), а также расширяться за счёт включения дополнительной информации (исторических справок, сведений о мастерах, архивных чертежей). Конечная цель состоит в создании единой цифровой базы данных, где пользователи смогут с лёгкостью находить интересующие их объекты по конкретным признакам и глубже знакомиться с самобытным наследием деревянной архитектуры Томска.

Список использованной литературы

1. Масленникова С.Ю. Резьба по дереву в архитектуре Сибири. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010.

2. Свод памятников архитектуры и культуры России. Томская область. – М. : Наука, 2003.

3. Культурологические исследования в Сибири: к 30-летию сибирского филиала института наследия / коллективная монография. – Москва; Омск, 2023.

ФОРМ-ФАКТОР ЛИНИИ КОСМЕТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Степаненко А.А.[1], Вехтер Е.В. [2],
Научный руководитель: Вехтер Е.В.[2]
[1]Томский политехнический университет, ИШИТР, 8Д11, e-mail: aas367@tpu.ru
[2]Томский политехнический университет, ИШИТР, Доцент, e-mail: vehter@tpu.ru
[3]Томский политехнический университет, ИШИТР, Доцент, e-mail: vehter@tpu.ru

Аннотация

Проект направлен на создание серии флаконов, объединяющих эстетику и эргономику. Дизайн позволяет сохранить целостность стиля при изменении объема флакона.

Ключевые слова: форм-фактор, эргономика, стилизация, помпа, визуальная узнаваемость, масштабируемость.

Введение

Форма и дизайн упаковки играют важную роль в восприятии косметической продукции. Флакон не только защищает содержимое, но и делает его более узнаваемым. Важно, чтобы упаковка сочетала эстетическую привлекательность, удобство использования и соответствовала требованиям производства.

Создание серии флаконов, объединенных общим дизайном, позволяет сохранить целостность стиля, независимо от объема продукта. Благодаря продуманной форме и деталям упаковки повышается визуальная узнаваемость содержимого, что делает продукт более понятным для потребителя. Это усиливает связь между упаковкой и её назначением, создавая гармоничный образ линии косметической продукции.

Основная часть

Форм-фактор косметической упаковки играет ключевую роль в восприятии продукта, его удобстве использования и эмоциональном воздействии на потребителя. Выбор формы, текстуры и материалов напрямую влияет на визуальную и тактильную привлекательность упаковки.

Форм-фактор – это единый, неизменный дизайн и тип упаковки, сохраняющиеся при изменении объема продукта. Это обеспечивает визуальную целостность и позволяет потребителю легко идентифицировать продукты линии, вне зависимости от выбранного размера упаковки.

Разработанный форм-фактор включает объемы 50 мл, 100 мл и 200 мл, так как они являются наиболее востребованными. Выбор именно этих вариантов обусловлен следующими факторами: 50 мл – оптимален для компактных форматов, дорожных версий. 100 мл – универсальный объем, удобный для повседневного использования. 200 мл – подходит для средств, используемых в больших количествах.

В основе разработанного флакона лежит цилиндрическая форма. Форма флакона была выбрана благодаря её функциональной совместимости с помпой. Такая форма обеспечивает оптимальное распределение давления при активации помпы, позволяя равномерно и эффективно дозировать косметическое средство.

Дозатор типа "помпа", обеспечивает удобное и гигиеничное использование продукта. Этот тип дозатора позволяет точно дозировать необходимое количество средства, что повышает комфорт и экономичность использования. В качестве основного материала для производства флаконов был выбран пластик, поскольку он отвечает ключевым требованиям, предъявляемым к косметической упаковке [1]

Легкость – пластиковые флаконы обладают меньшим весом по сравнению со стеклянными аналогами, что снижает затраты на транспортировку и делает продукт более удобным в использовании.

Прочность – устойчивость к механическим повреждениям предотвращает разлив содержимого при падении или ударах, что особенно важно для товаров, используемых в повседневной жизни.

Химическая инертность – пластик не вступает в реакцию с косметическими средствами, обеспечивая сохранность их состава.

Влагостойкость – упаковка не подвержена воздействию влаги, что предотвращает её разрушение в условиях повышенной влажности [2].

Разработка серии флаконов, вдохновленных четырьмя природными стихиями – водой, воздухом, огнем и землей – усиливает ассоциации с их содержимым в соответствии с рисунком 1. Каждая стихия отражает характер косметического средства, что делает упаковку не просто флаконом, а частью концепции продукта.

Форма и текстура как отражение стихий:

Вода – плавные, обтекаемые линии, прозрачность, глянцевые поверхности, создающие ощущение свежести и легкости. Такой флакон идеально подходит для увлажняющих средств.

Воздух – легкость форм, утонченность, полупрозрачные или матовые покрытия, символизирующие невесомость и воздушность. Этот дизайн актуален для легких эмульсий и сывороток.

Огонь – динамичные, выразительные контуры, сочетание глянцевых и фактурных элементов, подчеркивающих энергетику. Подходит для согревающих и активных формул.

Земля – четкие, устойчивые формы, тактильно приятные матовые поверхности, ассоциирующиеся с натуральностью. Такие флаконы подходят для питательных и защитных средств.

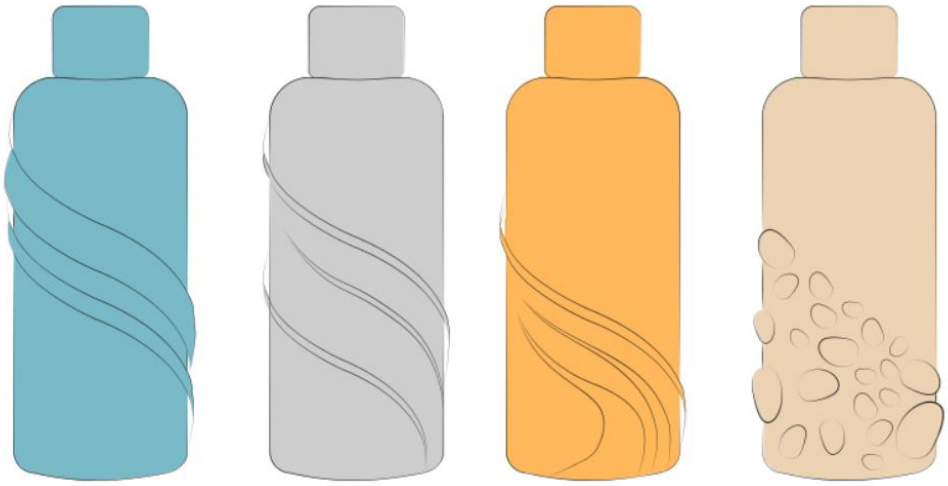


Рис. 1. Эскиз разработки серии флаконов

Разработанный форм-фактор косметических флаконов позволяет сохранять целостность дизайна независимо от изменения их объема. Выпуклые элементы, характерные линии и текстурные особенности остаются неизменными, что обеспечивает единый стиль всей серии. Независимо от размеров, пропорции флаконов сбалансированы таким образом, чтобы эргономика и удобство использования не ухудшались [3].

Результаты

В результате проектирования был разработан размерный ряд для серии косметических флаконов, вдохновлённых четырьмя природными стихиями: вода, воздух, огонь и земля в соответствии с рисунком 2.

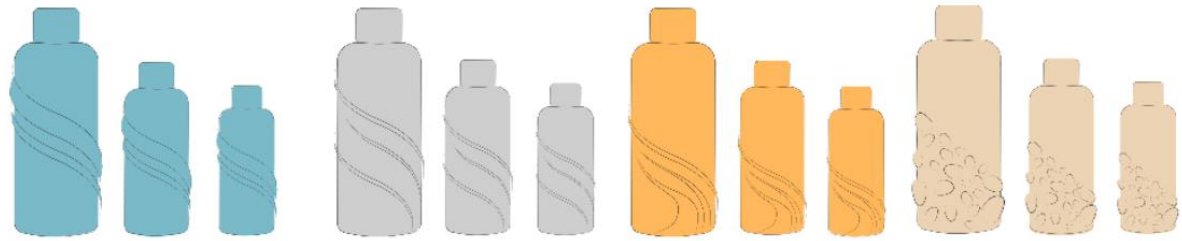


Рис. 2. Линия косметических флаконов

Разработанный размерный ряд представлен тремя объемами – 50 мл, 100 мл и 200 мл, что делает серию флаконов универсальной и адаптируемой к разным потребностям пользователей. Проработанная форма и пропорции обеспечивают гармоничное восприятие каждого объёма, исключая визуальные искажения.

В основе каждого флакона серии заложена динамичная линия, которая формирует единый стилистический концепт и объединяет всю коллекцию в целостную композицию. Она передаёт движение и характер каждой стихии – воды, огня, воздуха и земли – создавая визуальную гармонию между различными формами [4].

Благодаря этому решению все флаконы, несмотря на уникальные черты, воспринимаются как элементы одной дизайн-системы, обеспечивая узнаваемость серии и подчёркивая её концептуальную целостность. И все ключевые элементы, такие как выступающие и декоративные элементы, были спроектированы таким образом, чтобы их внешний вид оставался гармоничным и не изменялся при масштабировании объема упаковки. Это решение имеет большое значение, так как позволяет производить различные размеры бутылок, сохраняя при этом целостность и узнаваемость дизайна [5].

Заключение

Разработка форм-фактора косметической упаковки, основанная на стилизации под природные стихии, улучшила восприятие продукции. Использование уникальных форм и текстур для каждого флакона облегчает выбор для потребителя и помогает выделить продукт на полке. Масштабируемость дизайна сохраняет целостность стиля при разных объемах, а помпа обеспечивает удобное и гигиеничное извлечение содержимого. Предложенная концепция упаковки сочетает эстетические и функциональные качества, что делает её удобной в использовании и привлекательной для потребителей.

Список использованных источников

1. Анализ рынка пластмассовых бутылей, бутылок и флаконов в России в 2019-2023 гг, прогноз на 2024-2028 гг: аналитический отчет / BusinesStat. – Москва, 2024. – 70 с.

2. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д., Крыжановская Ю.В. Технические свойства полимерных материалов. – Санкт-Петербург: 2007. – 240

3. Сипайло С.В. Проектирование и дизайн упаковки и тары: учебно-методическое пособие для студентов. – Минск: БГТУ, 2017. – 99 с.

4. Благова Т.Ю. Теория и методология дизайна. – Благовещенск : 2008. – 71 с.

5. Каким должен быть дизайн косметической упаковки. – [Электронный ресурс]. – URL: somewang.com/ru/blog/how-should-cosmetic-packaging-design-be-done (дата обращения: 27.03.2025).

СВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ С ИЗМЕНЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ: ПРИНЦИПЫ ТРАНСФОРМАЦИИ И УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ

Тарасова А. Д.[1], Васильева М.О.[2]
[1]ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8Д11, e-mail: adt14@tpu.ru
[2]ТПУ ИШИТР ОАР, старший преподаватель, e-mail: vasilevamo@tpu.ru

Аннотация

Статья исследует световые системы с изменяемой структурой, их принципы трансформации и универсальность. Рассмотрены ключевые технологии, адаптивность к различным сценариям использования и преимущества перед традиционными решениями. Особое внимание уделено инновационным подходам в проектировании и применению в современных интерьерах.

Ключевые слова: световые системы, соединения, светильник, эскиз, трансформация, концепция.

Введение

Свет давно перестал быть просто функцией – сегодня это язык, с помощью которого пространство обретает характер. Современные системы превратили жесткие правила освещения в подвижную игру, где форма и сценарий диктуются не проводами, а воображением. Гибкость модульного и трансформируемого освещения определяется не только дизайном, но и способом соединения элементов. От этого зависит, можно ли собрать систему в воздушную люстру или развернуть её в световую стену.

Основная часть

Современные трансформируемые световые системы функционируют на основе трех ключевых принципов: модульной конструкции, адаптивных свойств и автоматизированного управления. Модульность достигается за счет использования отдельных взаимозаменяемых элементов, соединенных механическими, магнитными или беспроводными креплениями, что обеспечивает возможность изменения формы и размеров системы. Адаптивные характеристики проявляются в способности динамически регулировать световые параметры - интенсивность, цветовую температуру и направленность светового потока - с помощью программируемых светодиодных матриц и механических систем позиционирования [1].

В световых системах могут использоваться несколько разных подходов к организации электропроводящих соединений:

1. Магнитные соединения – самый интуитивно понятный и удобный для пользователя вариант. В таких системах модули оснащаются встроенными неодимовыми магнитами, что позволяет легко соединять и разъединять элементы без дополнительных инструментов. Это идеальное решение для домашнего использования, где важно быстро менять конфигурацию освещения под настроение или интерьер. Магниты обеспечивают достаточную прочность для настенного крепления, но у них есть ограничения: они не подходят для тяжёлых конструкций, а сильные вибрации могут привести к случайному отсоединению. Кроме того, такие системы обычно требуют металлической поверхности для надёжного монтажа, что сужает варианты размещения [2].

2. Механические соединения – это более традиционный, но проверенный временем подход. Здесь используются различные защёлки, клипсы, шарниры или резьбовые крепления, обеспечивающие жёсткую фиксацию модулей. Подобные системы часто встречаются в профессиональном освещении. Механические соединения выдерживают большие нагрузки и менее чувствительны к внешним воздействиям, что делает их предпочтительными для коммерческих помещений и уличного использования. Однако у них есть и недостатки: сборка требует больше времени и усилий, а для изменения конфигурации часто нужна частичная разборка [3].

3. Беспроводные соединения – это следующий шаг в эволюции модульного света, где передача энергии и данных происходит без физических проводов. Технологии наподобие pogo-pin контактов или адаптированных стандартов беспроводной зарядки (например, Qi) позволяют модулям автоматически подключаться друг к другу при сближении. Это открывает совершенно новые возможности для дизайна: световые элементы можно свободно перемещать, поворачивать и комбинировать, не задумываясь о кабелях. Такие системы выглядят максимально эстетично и часто используются в премиальных решениях, например, в концептах от LG или экспериментальных разработках вроде Moonside. Но и здесь есть свои сложности: беспроводная передача энергии пока менее эффективна, чем проводная, что ограничивает мощность освещения. Кроме того, контактные площадки требуют чистоты – пыль или окисление могут нарушить соединение. Стоимость таких систем также остаётся высокой, что пока сдерживает их массовое распространение [4].

Современные осветительные системы сталкиваются с рядом существенных ограничений:

1. Основная проблема заключается в их статичности - традиционные светильники имеют фиксированные размеры и форму, что резко ограничивает их функциональные возможности.

Жёстко зафиксированные габариты и неизменная форма светильников существенно сужают спектр их применения, делая невозможной адаптацию к изменяющимся требованиям пространства и различным сценариям освещения. Такая конструктивная ограниченность приводит к необходимости использования множества специализированных устройств - отдельных настольных ламп, подвесных и напольных светильников, каждый из которых выполняет строго определённую функцию.

2. Другой важный недостаток - узкая специализация: настольные лампы, торшеры и потолочные светильники представляют собой отдельные устройства, не способные трансформироваться друг в друга.

В современных интерьерах приходится одновременно использовать несколько отдельных устройств - настольные лампы для локального освещения рабочих зон, торшеры для создания атмосферного света и потолочные светильники для общего освещения. Каждое из этих устройств обладает жестко заданной конструкцией и предназначено для выполнения строго определенной задачи. Такой подход не только увеличивает затраты на приобретение и обслуживание нескольких приборов вместо одного, но и создает сложности при необходимости оперативно изменить световой сценарий или адаптировать освещение под новые функциональные зоны помещения.

3) Существующие решения плохо адаптируются к изменяющимся требованиям пространства и часто остаются статичными элементами интерьера, не учитывающими динамику современных архитектурных решений.

Жестко закрепленные конструкции светильников превращаются в статичные, нефункциональные элементы, сохраняющие неизменное положение и параметры освещения независимо от трансформации окружающей среды. Эта проблема особенно остро проявляется в мобильных и многофункциональных интерьерах, где зонирование и назначение пространств может меняться несколько раз в течение дня. Традиционные осветительные системы, будучи физически и функционально фиксированными, не только не способствуют адаптации помещений под новые задачи, но и становятся препятствием для реализации гибких архитектурных решений.

Для решения этих проблем была разработана серия эскизных решений трансформируемых светильников.

Предлагаемые концепции основаны на принципах модульности и адаптивной трансформации, позволяющих одному устройству выполнять функции различных типов освещения. Разработанные эскизы демонстрируют возможности изменения геометрических параметров и светотехнических характеристик в зависимости от конкретных задач. Особое

внимание уделено вопросам универсальности применения, энергоэффективности и эргономичности конструктивных решений.

Среди проработанных эскизов трансформируемых светильников окончательный выбор пал на конструкцию, вдохновленную принципом работы сферы Хобермана.

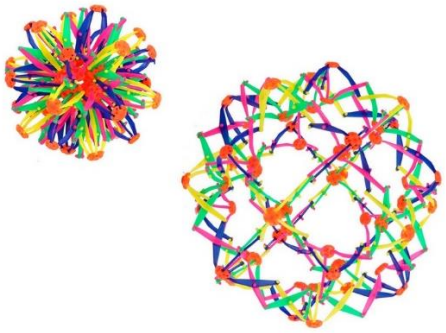


Рис. 1. Сфера Хобермана

Данное решение было выбрано благодаря ряду ключевых преимуществ:

1. Максимальная адаптивность

Механизм сферы Хобермана позволяет плавно изменять размер светильника в широком диапазоне – от компактного состояния (аналог настольной лампы) до развернутой сферической формы (торшер или потолочный светильник). Это обеспечивает универсальность, недостижимую для жестких конструкций.

2. Динамическое управление светом

При раскрытии/закрытии сферы автоматически меняется плотность структуры, что создает различные световые эффекты: от направленного луча в сложенном состоянии до мягкого рассеянного освещения в развернутом.

3. Эргономичность и интуитивность

Простота трансформации (аналогичная классической игрушке-трансформеру) делает управление светильником доступным без дополнительных инструкций.

4. Эстетическая выразительность

Геометрия сферы в движении создает кинетический арт-объект, визуально преображающий пространство.

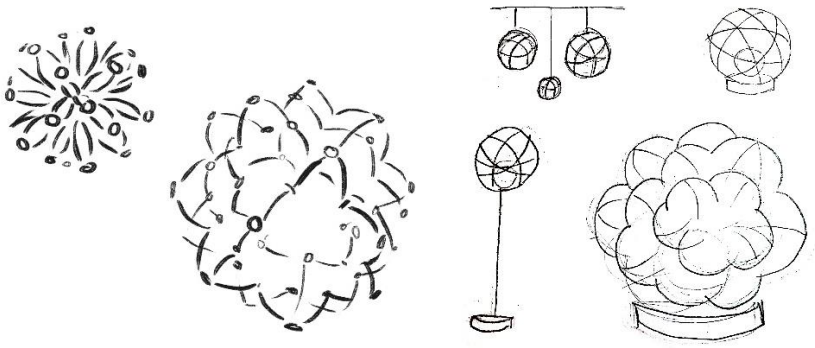


Рис. 2. Разработанная концепция

Заключение

Проведенная работа позволила разработать инновационную концепцию трансформируемого светильника, решающую ключевые проблемы современных осветительных систем. Анализ существующих решений выявил три основных ограничения:

статичность конструкции, узкую специализацию устройств и неспособность адаптироваться к динамичным условиям пространства. Разработанное решение на основе принципа сферы-трансформера демонстрирует принципиально новые возможности: универсальность применения (замена нескольких типов светильников), плавную регулировку световых параметров за счет изменения геометрии, и энергоэффективность благодаря адаптивному распределению светового потока. Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале трансформируемых структур в светодизайне и перспективности их разработки.

Список использованной литературы

1. Модульные системы освещения // Электромонтаж: сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: electro-mpo.ru/info/article/modulnye-sistemy-osveshcheniya-/ (дата обращения: 01.04.2025).

2. Что такое магнитные трековые системы освещения и почему они становятся трендом? // Ulight: сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: ulight.ru/blog/chto-takoe-magnitnye-trekovye-sistemy-osveshcheniya?ysclid=m95c7eaya2618378924 (Дата обращения: 01.04.2025).

3. Основы подключения светильника бра // Ru design shop: сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: rudesignshop.ru/blog/kak-soedinit-pravilno-svetilnik-bra/ (дата обращения: 01.04.2025).

4. Как работают беспроводные светильники // Ru design shop: сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: rudesignshop.ru/blog/kak-rabotajut-besprovodnye-svetilniki/ (дата обращения: 01.04.2025).

5. Васильева М.О. Принципы разработки световых сценариев: управление светом в интерьере / М.С. Кухта, М.О.Васильева // Академический Вестник УРАЛНИИПРОЕКТ / РААСН – 2019. – № 1 (40). – С. 88-93.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАНЦЕВОГО ЛЕСНОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ

Шейкина Е.А. [1], *Серяков В.А.* [2]
Научный руководитель: Серяков В.А. [2]
[1]*Томский политехнический университет, ИШИТР, 8Д11, e-mail: eas142@tpu.ru*
[2]*Томский политехнический университет, ИШИТР, доцент, e-mail: seryakov@tpu.ru*

Аннотация

Лесные пожары представляют серьезную угрозу экосистеме, экономике и безопасности населения. Для их эффективного тушения необходимо использовать современные мобильные средства пожаротушения [1]. В данной работе представлена разработка нового лесного ранцевого огнетушителя (РЛО), учитывающего основные требования к удобству эксплуатации, надежности и эффективности тушения.

Ключевые слова: Лесные пожары, ранцевый лесной огнетушитель, эргономика, модульная система, резервуар, ременная система.

Анализ существующих конструкций

Современные модели РЛО имеют ряд недостатков, таких как неудобное крепление, значительная масса, ограниченный срок службы материалов, сложность замены деталей и невозможность ремонта. Анализ аналогов РЛО показал, что наиболее перспективным направлением для усовершенствования конструкции является работа над модульностью и эргономикой устройства.

Описание конструкции

Разработанный вариант включает:

1. Мягкий каркас в виде эргономичной ременной системы с поясной поддержкой.
2. Жесткий резервуар с желобами для надежного крепления в ременной системе.

Главными преимуществами такой конструкции являются:

1. Удобное хранение за счет раздельного размещения ремней и резервуара.
2. Возможность быстрой замены пустого резервуара на заполненный.
3.Замена отдельных частей без необходимости смены всего оборудования.
4. Отсутствие намокания ременной системы при наполнении резервуара.

Материалы и способы изготовления

Для изготовления корпуса резервуара используются:

1. Полимеры высокой прочности (полиэтилен высокой плотности ГОСТ 16338-85[2], полиамид ГОСТ 10589-2016[3]. Сравнения пластиков приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнения пластиков для производства

Пластик	Преимущества	Недостатки	Области применения
Полиамид (ПА)	Высокая прочность, износостойкость, устойчивость к химическим веществам, широкий температурный диапазон. Возможность литья	Гигроскопичность может снижать прочность при длительном воздействии влаги.	Автомобильная промышленность, электроника, машиностроение.
Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП)	Высокая прочность и жесткость. устойчивость к воздействию химических веществ, хорошая устойчивость к старению, возможность переработки	Низкая устойчивость к ультрафиолетовому излучению, использование до 60-80 градусов	Упаковка, трубопроводы, канистры, емкости

Процесс производства включает:

2. Литье под давлением для формирования основной конструкции резервуара;

Литье под давлением имеет несколько преимуществ по сравнению с другими методами производства. Во-первых, этот процесс обеспечивает высокую скорость производства, что делает его особенно эффективным для серийного изготовления деталей. Во-вторых, литье под давлением обеспечивает точную геометрию изделий, позволяя получать детали с мелкими элементами и сложной конфигурацией. К тому же изделия, полученные таким образом, имеют гладкую и качественную поверхность, что снижает необходимость в последующей обработке.

Еще одним преимуществом является минимизация отходов: при литье под давлением образуется меньше отходов по сравнению с механической обработкой, что делает процесс более экономически выгодным. Кроме того, использование различных термопластов и термореактивных смол расширяет область применения данного метода. Продукция, изготовленная методом литья под давлением, демонстрирует хорошую прочность и устойчивость к деформациям, а также позволяет создавать сложные конструкции, которые трудно или невозможно изготовить другими методами.

Функциональные требования

Для обеспечения надежности и удобства эксплуатации были сформированы ключевые требования к конструкции, материалам и функциональности устройства на основе экспертной оценки. Экспертами выступили 5 специалистов имеющие практический опыт использования РЛО (Таблица 2).

Таблица 2. Требования к разработке лесного ранцевого огнетушителя

Категория	Требования
Корпус	Устойчивость к механическим повреждениям, сохранение формы независимо от уровня наполненности, антикоррозийные свойства.
Ремни и крепления	Широкие эргономичные ремни с регулировкой, надежные застежки, поясная поддержка для распределения веса.
Гидропульт и сопло	Фильтр для предотвращения засоров, удобство использования в перчатках, антикоррозийное покрытие.
Емкость и расход	Объем резервуара 15-20 литров.
Прочность и надежность	Долговечность соединений и шлангов, устойчивость к экстремальным условиям.
Удобство эксплуатации	Легкость заправки из природных водоемов или резервуаров (широкое горлышко, удобная крышка)
Дополнительные функции	Возможность ремонта
Хранение и транспортировка	Удобство перевозки, устойчивость на неровных поверхностях.

Комплекс функциональных условий

Комплекс функциональных условий, в соответствии с рисунком 1, позволяет определить критические требования к эксплуатации ранцевого огнетушителя, учесть его использование в различных сценариях, улучшить эргономику и удобство эксплуатации, а также повысить эффективность тушения пожаров за счет продуманной конструкции. Эти выводы основаны на анализе существующих моделей РЛО и их недостатков, исследованиях удобства работы с пожарным оборудованием, обзора опытных испытаниях прототипов в полевых условиях и опросу пожарных.

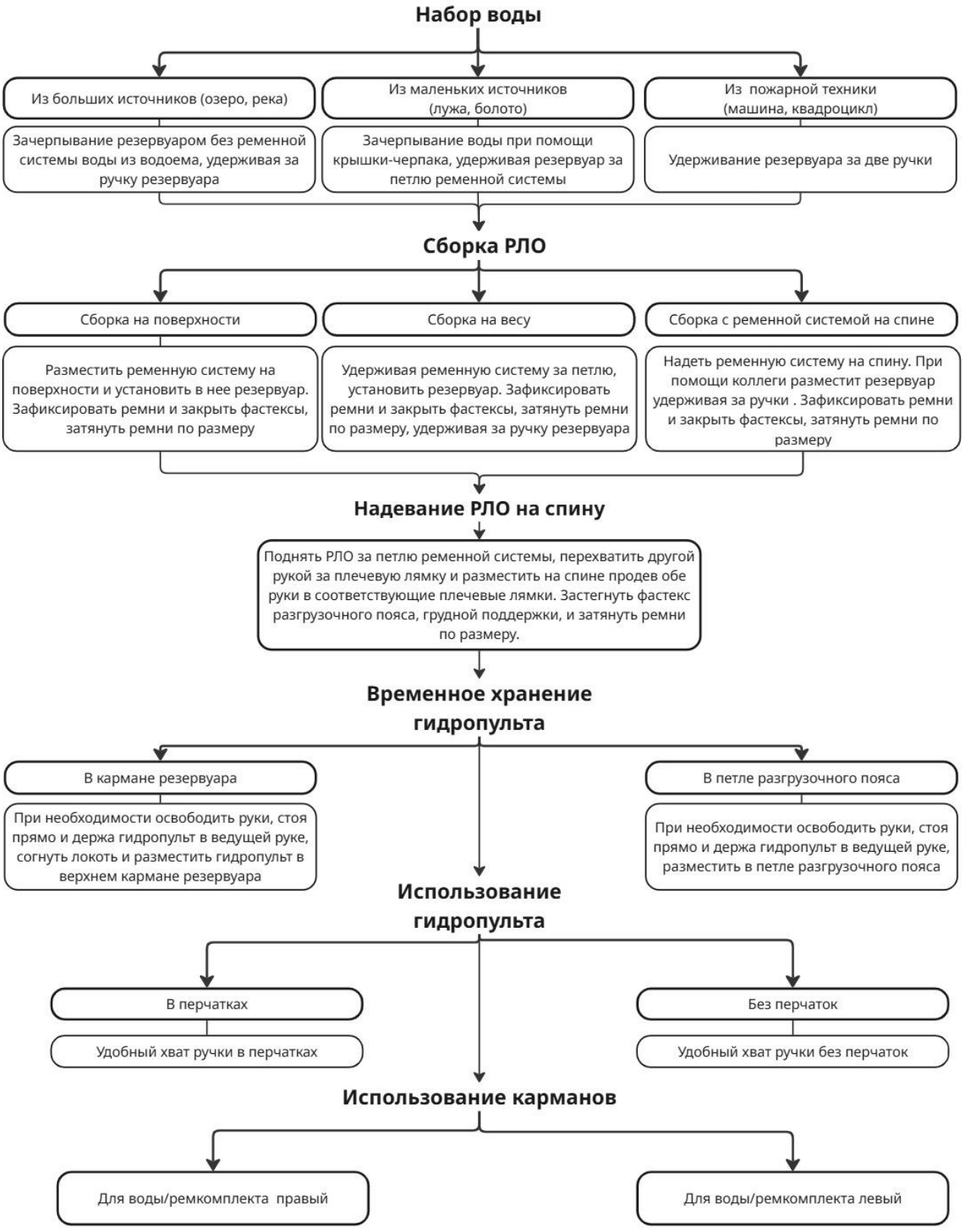


Рис. 1. Комплекс функциональных требований

Разработка

На основе проведенного анализа была сформирована концепция внешнего вида РЛО, в соответствии с представленным рисунком 2.

Рис. 2. Внешний вид РЛО

1. Конструкция и основные компоненты

Разработанный ранцевый огнетушитель представляет собой модульную систему, состоящую из:

а) Мягкого каркаса с эргономичной ременной системой, включающей:

- Широкие регулируемые плечевые лямки;
- Разгрузочный пояс для равномерного распределения веса;
- Петли и фастексы (застежки) для быстрой фиксации.

б) Жесткого модульного резервуара 15л оснащенного:

- Ручками для переноски и наполнения;
- Желобами для фиксации ремней;
- Крышкой-черпаком для забора воды из мелких источников;
- Карманами для хранения гидропульта и дополнительного оборудования;
- Отверстиями для оттока воды и вентиляции;
- Упором для устойчивости при установке на землю.

Цветовое решение соответствует ГОСТ 12.4.281–2014[4].

2.Эргономика:

а) Форма резервуара – резервуар с расширяющейся к низу формой, в соответствии с рисунком 3. нацелен на оптимизацию размещения и распределения веса.

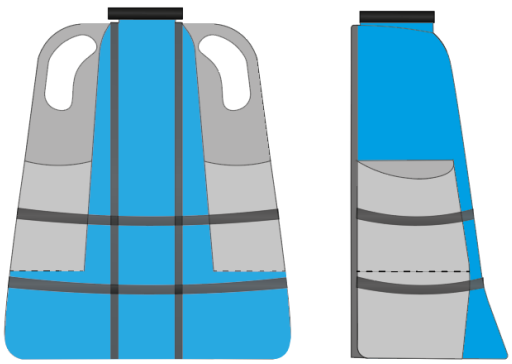


Рис. 3. Объем воды резервуара

Формат резервуара позволяет разместить больший вес ближе к центру тяжести человека, что значительно улучшает стабильность ношения:

На рисунке 4 представлены габаритные размеры РЛО и соответствие антропометрическими данными человека разных перцентилей [5].

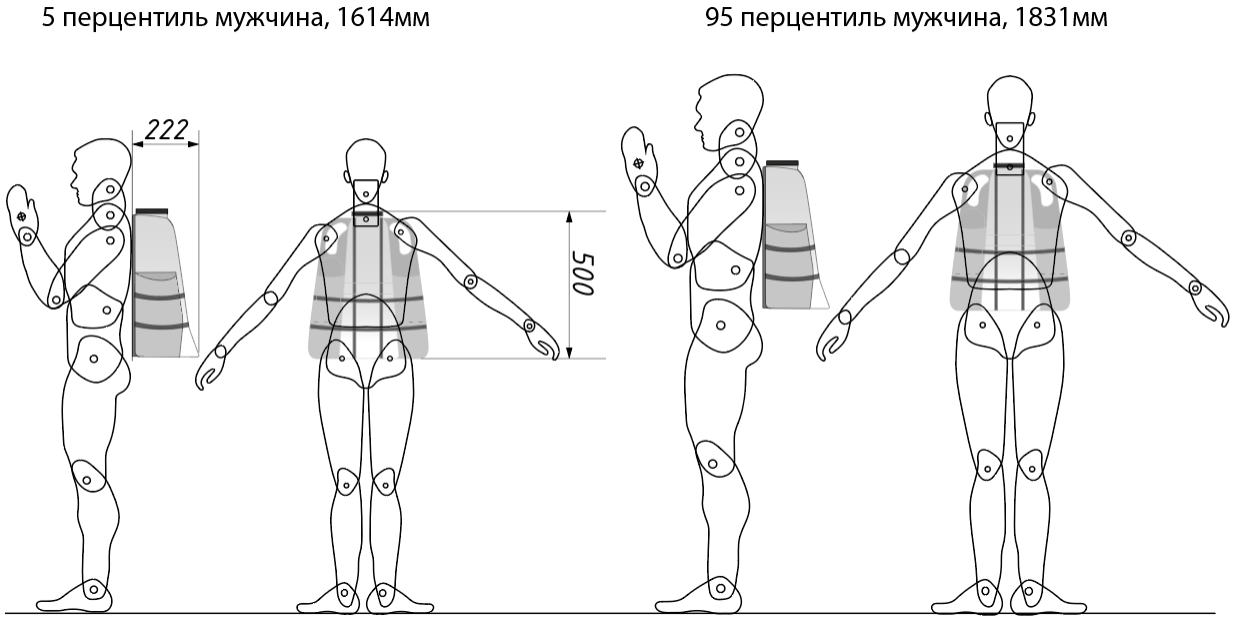


Рис. 4. Эргономический анализ

б) Ременная система – разгрузочный поясной ремень и грудная стяжка необходимы для равномерного распределения веса рюкзака по телу. Поясной ремень переносит часть нагрузки с плеч на таз, снижая давление на позвоночник и помогая сохранить правильную осанку. Грудная стяжка фиксирует лямки и предотвращает их сползание, уменьшая напряжение в плечах и стабилизируя рюкзак при движении. В результате снижается утомляемость, повышается комфорт и уменьшается риск болей в спине при длительном ношении рюкзака [6].

За основу ременной системы ранцевого огнетушителя была взята проверенная временем конструкция системы поддержки баллонов со сжатым воздухом ПТС "Профи-МП", которая успешно применяется в пожарной отрасли, в соответствии с рисунком 5[7].

Рис. 5. ПТС «Профи-МП»

Эта система включает:

Широкие регулируемые лямки (ширина 75-100 мм) с анатомическими изгибами

- Нагрудную фиксирующую пряжку быстрого расстегивания
- Разгрузочный пояс с усиленной конструкцией
- Систему ремней для фиксации баллона

Для адаптации под ранцевый огнетушитель были внесены следующие усовершенствования:

- Увеличенное количество точек крепления – 8 точек по окончании ремней крепления;
- Добавлены 2 дополнительных ремня крепления резервуара.
- Многослойная прокладка из неопрена и фольгированного материала.
- Вентилируемые каналы для отвода влаги.
- Петли для крепления гидропульта.

3. Преимущества перед аналогами

Надежность: Полимерный корпус устойчив к ударам и коррозии;

Ремонтопригодность: Замена отдельных компонентов (ремней, резервуара, штуцера, частей гидроопульта) без замены всей системы;

Безопасность: Теплоизоляционная прокладка на спине предотвращает переохлаждение, что важно при длительной работе;

Эффективность: Оптимизированная форма резервуара упрощает работу.

4. Внедрение и перспективы

Разработка предназначена для:

Пожарных бригад, работающих в лесистой местности.

Служб МЧС и лесных хозяйств.

Заключение

Разработка нового поколения лесного ранцевого огнетушителя направлена на повышение эффективности и удобства тушения лесных пожаров. Модульная конструкция, использование современных материалов и удобная эргономика позволят значительно улучшить эксплуатационные характеристики устройства. Внедрение данной разработки поможет минимизировать ущерб от пожаров и повысить мобильность пожарных бригад.

Список использованных источников

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары в Российской Федерации (состояние и последствия) // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – № 4. – URL: cyberleninka.ru/article/n/lesnye-pozhary-v-rossiyskoy-federatsii-sostoyanie-i-posledstviya (дата обращения: 02.03.2025).

2. ГОСТ 16338-85. Полиэтилен низкого давления. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 15 с.

3. ГОСТ 10589–2016. Полиамид 610 литьевой. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2016. – 12 с.

4. ГОСТ 12.4.281-2014. Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная повышенной видимости. Технические требования. – М. : Стандартинформ, 2014. – 18 с.

5. Курбацкая Т. Б. Эргономика: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1. Теория / Т. Б. Курбацкая. – Набережные Челны : Набережночелнинский институт КФУ, 2013. – 213 с.

6. Effect of load distribution of the backpack: A design study // ResearchGate. URL: researchgate.net/publication/251993262_Effect_of_load_distribution_of_the_backpack-_A_design_study (дата обращения: 03.03.2025)

7. Аппарат дыхательный со сжатым воздухом для пожарных ПТС «Профи»-МП: руководство по эксплуатации ПТС14.00.00.000РЭ // АО «ПТС»: сайт. – 2017. – 45 с. – [Электронный ресурс]. – URL: pto-pts.ru/dykhatelnye-apparaty-so-szhatym-vozdukhom/tproduct/581077099-816376717431-pts-profi-mp?ysclid=m8obk7c3qw575128721 (дата обращения: 04.03.2025).

Научное издание

МОЛОДЕЖЬ И СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сборник трудов
XXII Международной научно-практической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *В.М. Саклаков*

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ