

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭКОНОМИКА  
И ОБРАЗОВАНИЕ**

Сборник материалов  
II Всероссийской научно-методической конференции

**2–4 сентября 2020 г.**

Томск 2020

УДК 62.001.5+330+37(063)

ББК 30.6+65+74л0

С56

- Современные технологии, экономика и образование** : сборник материалов  
 С56 II Всероссийской научно-методической конференции / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 300 с.  
 ISBN 978-5-4387-0969-5

Сборник содержит научные доклады аспирантов и ученых – участников II Всероссийской научно-методической конференции «Современные технологии, экономика и образование», разделенные по научным направлениям: измерительные системы и автоматизация; робототехнические и вычислительные системы; современная энергетика; химические технологии; машиностроение и автоматизация производств; экология и нефтегазовое дело; инженерное предпринимательство и цифровая экономика; физика и ядерные технологии; образовательные технологии.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, исследователей в сфере энергетики, приборостроения, медицинской техники, химических технологий и новых материалов, физики и ядерных технологий, безопасности окружающей среды, машиностроения, автоматизации, робототехники и экономики. Материалы, представленные в сборнике, также будут полезны преподавателям с точки зрения внедрения образовательных технологий в инженерное образование.

**УДК 62.001.5+330+37(063)**

**ББК 30.6+65+74л0**

*Редакционная коллегия*

А.Г. Фефелова, эксперт орг. отдела ИШХБМТ  
 Е.А. Покровская, начальник орг. отдела ИШФВП  
 И.О. Болотина, к. т. н., доцент, зам. начальника орг. отдела ИШНКБ  
 И.В. Петлин, к. т. н., доцент, начальник орг. отдела ИЯТШ  
 Д.С. Шевченко, начальник орг. отдела ИШЭ  
 Т.Г. Тен, к. г.-м. н., доцент, начальник орг. отдела ИШПР  
 М.С.Тукеева, к. ф.-м. н., начальник орг. отдела ИШИТР  
 М.С. Петюкевич, к. т. н, доцент, начальник орг. отдела ИШНПТ  
 И.Ю. Герасимчук, к. пед. н., начальник орг. отдела ШБИП  
 Н.В. Шаповалова, стар. преподаватель, начальник орг. отдела ШИП  
 И.А. Лариошина, к. т. н., начальник ОРПА УН

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

**ISBN 978-5-4387-0969-5**

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2020

## Содержание

М.А. Костина, Ю.В. Шульгина, Е.С. Солдатова_Двухчастотный ультразвуковой локатор.....	7
Д.А. Сорокин_Измерительные системы и автоматизация систем управления .....	9
Чэнь Цзинь, А.И. Шерстнёва, И.А. Ботыгин_Разработка алгоритма управления пассажирским лифтом на базе регулятора с нечеткой логикой.....	16
Е.А. Исаченко, Г.В. Вавилова, В.А. Скрипниченко_Влияние краевых эффектов на значение емкости конденсаторов .....	17
И.К. Ступин, Е. Юлаев, И.А. Ботыгин_Метаэвристические методы оптимизации.....	20
И.С. Антонова, Е.А. Малеева, С.Н. Попова_Моделирование доли «скрытой» моноотрасли на примере моногородов в сопоставлении с предприятиями-флагманами .....	21
И. В. Раков, Д.С. Буньков, И.А. Набунский, С.В. Колесников_Линейная аппроксимация заданной функции нейронной сетью .....	23
С.В. Леонов, Е.А. Кривошеева_Автоматизация экспресс-контроля магнитных характеристик мехатронных систем.....	26
Инь Юйкай, Л.А. Редько, И.А. Ботыгин_Конструирование лазерного доплеровского измерителя скорости .....	27
И.Б. Величкович, А.А Швейцер, Б.Б. Мойзес_Измерение параметров вибрации при физическом моделировании .....	29
А. С. Нораев, Е.А. Шутов_Применение SCADA TRACE MODE для автоматизации ячеек КРУЭ.....	32
А.И. Пушкарев, А.И. Прима_Измерительно-диагностический комплекс генератора сильноточных электронных пучков.....	34
А.А. Сидорова, А.И. Васин_Методы настройки пид-регулятора для горизонтального двухфазного сепаратора.....	36
А.А. Сидорова, М.К. Беликов_Разработка хоккейного тренажера «имитатор соперника» .....	38
И. Мухамад, И.А. Ботыгин_Макет государственной заказной электронной почты.....	41
В. Н. Марков_Алгоритм определения различий дублированных медиаматериалов в библиотеке фотографий.....	42
Ю.В. Шульгина, О.Ю. Терентьева, Е.М. Шульгин, М.А. Костина_Применение свойств эллипса при построении изображения объекта по данным с многоэлементного датчика.....	44
К.А. Лемешонок, Ф.В. Саврасов_Организация процессов интеграции данных со смежными системами и устройствами на примере «химик-аналитик» .....	47
О.М. Гергет_Сегментация мультимодальных изображений на основе методов машинного обучения .....	49
Г.А. Блейхер, В.П. Кривобоков, А.В. Юрьева_Анализ возможностей магнетронных распылительных систем для высокоскоростного осаждения функциональных покрытий.....	51
Е.И. Губин_Использование программных инструментов SAS для подготовки больших данных.....	52
Д.И. Коваль, В.Л. Ким_Реализация сбора данных в программном обеспечении стенда для испытания наносенсоров .....	54
А.П. Леонов, М.А. Муравьев_Альтернатива полужестким радиочастотным коаксиальным кабелям .....	58
Р.П. Затеев, Е.А. Кочегурова_Непрерывная идентификация пользователей на основе динамических характеристик клавиатурного почерка .....	60
Я.Ю. Малькова, Р.А. Уфа, А.С. Гусев_Изучение влияния возобновляемой генерации на уровень напряжения узлов электроэнергетической системы.....	62
В.Е. Губин, Д.В. Гвоздяков, К.Б. Ларионов_Опытно-промышленная установка газификации твердых топлив и производственных отходов .....	63
Е. Г. Брындин_Технология повышения безопасности региональных роботизированных производств ....	66
А.В. Калганова, Е.А. Шутов, Е. Д. Капустина_Сравнение аналитических и численных методов расчета заземления .....	73
О.Р. Крашенко_Внедрение щелочных электролизеров на АЭС.....	75
П.А. Малофеева, Д.В. Купцова, Р.Б. Абеуов_Автоматическое устройство оптимизации потерь электрической энергии в электрической сети энергосистемы.....	77
А.А. Правикова, Д.Ю. Ляпунов_Система электроснабжения телеуправляемого подводного аппарата ....	80
И.А. Разживин, Н.Ю. Рубан, А.С. Гусев_Универсальная модель аэродинамического преобразования для специализированного процессора ветроэнергетической установки .....	82
А.М. Антонова, А.С. Мережко, А.В. Воробьев_Эффективность энергоблока с пароохлаждаемым ядерным реактором и газотурбинной надстройкой .....	85
Е.А. Цыденов, А.В. Прохоров_Автоматизация расчета коэффициентов долевого участия электростанций для настройки системы автоматического регулирования частоты и мощности.....	87
А.А. Сидорова, Э.Р. Керимов_Получение холода из солнечной энергии .....	88
В.Р. Галеев, О.В. Казьмина_Использование бурового шлама для частичной замены цемента в бетонной смеси .....	91
И.М. Богачков, Р.Н. Хамитов, Д.Р. Валеева_Расчета оптимального напряжения для системы электроснабжения газовых месторождений с помощью программы «прон» .....	93

Д.М. Лукьянов, И.А. Богданов_Исследование влияния температуры на направления превращений стабильного газового конденсата в процессе цеоформинга .....	96
С.И. Скрипко, А.С. Гордынец, А.С. Киселев_Управление проплавающей способностью дуги при сварке неплавящимся электродом в среде аргона.....	97
С.А. Белякович, А. В. Мостовщиков, Ю.А. Мировой_Характеристики материала на основе диборида гафния, полученного прессованием смеси с микропорошком алюминия в условиях подогрева.....	100
Н.В. Мартюшев, В.С. Башев_Модифицирование силумина АК12 УДП вольфрама.....	101
В. Ю. Боровой, О.В. Казьмина_Химически стойкое покрытие на основе эмали системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{V}_2\text{O}_5 - \text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$ .....	104
В.А. Полюшко, А.С. Разва, М.В. Василевский, А.В. Мартынова_Технико-аэромеханические показатели противоточных мельниц.....	106
С.Н. Сорокова, В.Л. Попов_Математическое моделирование влияния нанопорошков на динамику спекания алюмосиликатной керамики.....	109
А.А. Ушаков, А.А. Орлов, В.П. Совач_Нестационарный перенос компонентов изотопной смеси в результате изменения потоков каскада.....	111
А.О. Чудинова_Синтез тугоплавких нитридов ванадия, ниобия и тантала в условиях теплового взрыва в воздухе смесей нанопорошка алюминия и соответствующих оксидов .....	113
П.Я. Крауиньш, Д.М. Козарь_Имитационный анализ нагружения зубьев кинематического волнового редуктора при вращении .....	114
В.С. Коротков, Гуаньцин Лао_Уравнения профиля венца для волновой передачи .....	117
Г.Р. Зиякаев, Ф.А. Симанкин, К.К. Манабаев, Е.Ю. Валитова_Общая схема распределения нагрузки в транспортном механизме орбитального движения.....	120
Ф.А. Симанкин, К.К. Манабаев, Е.Ю. Валитова, С.А. Курнашов_Энергоэффективная опора дефектоскопа для контроля сварных соединений трубопровода.....	122
А.Е. Каташова_Осуществление регионального государственного экологического надзора в области обращения с отходами животноводства .....	124
В.В. Матвиенко, В.Г. Крец, А.В. Шадрин_Совершенствование технологии обетонирования трубопровода для надежной и безопасной его эксплуатации в условиях мелководного шельфа .....	126
И.И. Романцов, О.А. Антонец, И.И. Авдеева, А.А. Аверкиев_Формы подготовки в области гражданской обороны работающего и неработающего населения .....	127
И.И. Романцов, О.А. Антонец, И.И. Авдеева, А.А. Аверкиев_Возникающие проблемы при подготовке населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.....	130
Е.А. Краснокутская, В.Д. Филимонов, А.Н. Санжиев_Арил- и гетероарилдиазоний сульфаты – удобные строительные блоки органического синтеза .....	132
А.Э. Ульяновская, А.Н. Мальчуков_Реализация декодера сообщений для системы автоматического зависимого наблюдения-вещания на ПЛИС.....	134
И.А. Набунский, К.В. Образцов, А.С. Глазырин, И.В. Раков, Д.С. Буньков_Измерение мгновенных значений магнитного поля в асинхронном двигателе с помощью измерительных обмоток.....	136
И.И. Романцов, О.А. Антонец, И.И. Авдеева, А.А. Аверкиев_Прогнозирование чрезвычайных ситуаций .....	138
Н.А. Алексеев_Применение мобильных устройств в диагностике и лечении ХОБЛ .....	140
В.Ю. Бабьшев_Занятость лиц пожилого возраста в условиях цифровизации экономики .....	142
А.И. Полисадова_Сравнительный анализ показателей интеллектуального потенциала регионов.....	144
Е.Г. Брылин_Цифровая циклическая экологическая региональная экономика .....	146
М.В. Верлинский, А.А. Орлов, Р.В. Малюгин_Аппроксимирующая зависимость скорости десублимации гексафторида урана от времени, толщины стенки емкости и ее теплофизических свойств.....	155
О. В. Семченко, Л. О. Роот_Получение и свойства нитридов хрома .....	156
Е.И. Короткова, В.А. Попова, А.А. Кривошеина, Е.В. Дорожко, Е.В. Михеева_Определение N-ацетил-L-цистеина в водном растворе методом вольтамперометрии .....	158
А.М. Герасимчук, А.О. Семенов_Исследование скорости выщелачивания образцов на основе аллюмината неодима со структурой перовскита синтезированного методом СВС .....	160
М. И. Волков_Анализ особенностей восстановления спектров из экспериментальных интерферограмм в миллиметровом диапазоне длин волн .....	162
Я. Гударзи, Ю. Б. Чертков_Разработка гибридной конструкции термоядерного реактора с инерционным удержанием.....	165
Ю. Б. Чертков, Т. Т. Элзаят_Исследование режимов работы энергетического ядерного реактора со спектральным регулированием для повышения глубины выгорания топлива .....	167
М.Д. Юрченко_Использование технологии СВ-синтеза при изготовлении интерметаллидных матриц дисперсионного ядерного топлива .....	169
О.А. Пасько, В.Ф. Ковязин_Анализ кадровой обеспеченности земель лесного фонда России.....	170

Е.А. Суханов, О.В. Селиваникова_Разработка модуля программного комплекса по трехмерному проектированию системы физической защиты периметра ядерного объекта.....	171
Е.А. Исаева, Н.Б. Егоров_Фотохимический синтез наночастиц $Re_2S_7$ .....	174
А.Е. Кулагин, А.Ю. Трифионов_Формирование квазичастиц в решениях нелокального уравнения гросс-пиптаевского.....	176
С.И. Маковой, Б.П. Степанов_Обеспечение защищенности объектов использования атомной энергии. ....	179
Е.А. Маренкова_Исследование эффективности регистрации гамма-квантов полупроводниковым германиевым детектором .....	181
С.Д. Полозков, И.В. Шаманин, С.В. Беденко_Поддержание гибридной установки с торий-содержащим топливом в околокритическом состоянии за счёт управляемого источника термоядерных нейтронов... ..	183
Л.А. Святкин, И.П. Чернов_Температурная зависимость коэффициента диффузии водорода в альфа-цирконии .....	185
И.Б. Ардашкин, М.А. Халдеева_Критерии для построения личного бренда: роль образовательного фактора .....	187
М.В. Нетесова, И.Б. Ардашкин_Смена парадигмы: от классической модели образования к смарт образованию .....	188
И.А. Гиберт_Автоматизация оценки уровня психологических компетенций обучающихся.....	190
И.С. Астафьева_Дидактический потенциал проектных технологий в формировании профессиональных компетенций в инженерном образовании.....	192
Э.И. Бейшенбаев_Разработка образовательного мобильного приложения для профилактики детской цифровой зависимости .....	194
О.М. Демидова_Использование социальной сети «вконтакте» в процессе обучения студентов неязыковых специальностей иностранным языкам .....	197
Е.К. Краева_Разработка и реализация плана внедрения нового цифрового продукта в деятельность томского центра подготовки к ЕГЭ/ОГЭ «школа Квентин».....	199
М.И. Пищанская, В.С. Иванова, П.Ф. Баранов_Организация внутригруппового взаимодействия, направленного на выработку инженерного решения, при дистанционной форме обучения .....	201
О.В. Санфирова_Технология развития аналитического нелинейного мышления студентов в системе преподавания дисциплин экономического профиля .....	203
М.Е. Семенов, Г.С. Чурсин_Использование микроконтроллеров в обучающих компьютерных играх ... ..	206
А.В. Мытников, В.В. Стругов_Измерительный комплекс для обнаружения дефектов витковой изоляции высоковольтных трансформаторов .....	208
Е.Г. Язиков_Переподготовка кадров в урановой отрасли на базе томского политехнического университета .....	210
А.П. Леонов, А.Ю. Юшков_Совершенствование магистерской программы «электроизоляционная, высоковольтная и кабельная техника».....	212
Т.М. Солдатенко, А.А. Самойлов_Определение энергии активации этиленпропиленовой резины .....	214
М.А. Меркулова, О.В. Громова, Е.С. Бехтерева, О.Н. Улеников_Анализ спектра высокого разрешения молекул в дублетных электронных состояниях: фундаментальная полоса $\nu_3$ диоксида ( $^{16}O^{35}Cl^{16}O$ ) в основном электронном состоянии $X2B1$ .....	216
Е.Н. Акерман, А.А. Михальчук, В.В. Спицын_Оценка DEA-эффективности ведущих отраслей экономики России на периоде 2018-2019 гг .....	218
И.В. Слесаренко, А.В. Мытников_Совершенствование технологии преподавания специальных дисциплин в условиях интернационализации образования .....	220
И.Е. Никулина_Рынок труда как триггер изменения дополнительного образования .....	222
И.В. Слесаренко_Активизация самостоятельного онлайн изучения английского языка .....	226
И.В. Слесаренко_Комплексная система подготовки сотрудников университета по иностранным языкам .....	229
Е.Ю. Пасечник, О.Г. Савичев_Опыт проведения научно-исследовательских работ с магистрантами обучающихся по направлению природообустройство и водопользование .....	232
С.В. Лавриненко_Смешанное и гибридное обучение в современном вузе .....	234
А.А. Башлыков, В.Г. Спицын_Аннотирование объектов на медицинских изображениях рентгенографии грудной клетки с применением нейронных сетей .....	235
Гао Жэньцзе, И.А. Ботыгин, А.И. Шерстнёва_Система распознавания отпечатков пальцев на базе семейства микроконтроллеров STM32 .....	238
А.М. Мальшенко_Типизация компьютерного представления математических моделей «вход-состояние-выход» линейных стационарных динамических систем и ее практическое использование.....	239
Р.Г. Калинин, В.И. Корепанов_Светодиодный модуль для освещения складских помещений .....	242
Н.О. Чистякова, А.Б. Жданова, И.А. Павлова_Ценностная детерминанта глобальной конкурентоспособности региона .....	245

В.В. Верхотурова_Использование программных пакетов mcs и mcp при решении задач ядерной радиационной безопасности .....	247
А.Б. Жданова_Трансформация организационной модели инжиниринговой компании .....	248
С.И. Скрипко, А.С. Гордынец, А.С. Киселев_Влияние угла заточки рабочей части неплавящегося электрода на давление дуги при аргонодуговой сварке .....	250
В.А. Зайцев, И.А. Ботыгин, Ю.В. Волков_Мониторинг изменения положения и границ климатических кластеров в разные временные интервалы .....	252
Д. И. Кочетов, Г. В. Арышева_Концепт-проект цифрового спекл-флуориметрического дерматоскопа ..	254
Ю.В. Анищенко, А.Н. Вторушина_Разработка модуля дополнительной специализации по формированию компетенций в области безопасности .....	256
Л.И. Дорофеева, А.П. Вергун_Применение опыта физико-технического образования при разработке инновационных программ по направлению «Ядерная физика и технологии».....	258
С.В. Силушкин, Н.С. Сомов_Система контроля доступа с использованием метода распознавания лиц ..	260
Н.В. Барановская, А.И. Беляновская, Д.В. Наркович_О подходе к трансформированию магистерской программы направления «экология и природопользование» в Томском политехническом университете.....	263
А.В. Мытников, В.В. Стругов_Технология контроля прессовки обмоток силовых трансформаторов на основе импульсного метода .....	265
О.Т. Лойко, В.В. Сизов_Интеллектуальный капитал современного инженера: социально-философский анализ .....	267
А.В. Мытников_Исследование эффективности входного контроля как пути повышения уровня инженерной подготовки .....	269
А.В. Мытников_Совершенствование методики преподавания специальных дисциплин на основе базовых принципов инженерной педагогики.....	271
В.Ю. Половников, С.Д. Шелемехова_Сложный теплообмен в слое тонкопленочной тепловой изоляции ..	273
Е.А. Ефременков_Оценка максимальных контактных напряжений в зацеплении циклоидальной передачи.....	275
А. А. Вазим_Развитие навыков бизнес-стартапа у студентов тпу: научить предпринимательству в стенах вуза .....	277
А. Ломыгин, А.М. Лидер, В.Н. Кудияров_Исследование методом термодесорбционной спектроскопии особенностей накопления водорода в циркониевом сплаве ZR-1%Nb при газофазном гидрировании....	280
С.Р. Курбанов_Развитие личностно-профессиональной компетентности учителя математики на курсах повышения квалификации педагогических кадров .....	282
О.В. Колесников, А.И. Фикс_Динамика системы пяти бозонов .....	283
В.В. Верхотурова_Практико-ориентированная методика томского политехнического университета по подготовке медицинских физиков в области ядерной медицины и лучевой терапии.....	285
А.В. Кудряшова_Интегрированный предметно-языковой подход (CLIL): зарубежные практики .....	287
А. И. Солдатов, Г.Н. Нариманова, М. А. Костина, В.Ю.Борталевич_Интернет-технологии при выполнении лабораторных работ с использованием комплекса физического моделирования электронных схем.....	289
И.А. Рахматуллин, М.А. Сурков, Б.В. Лукутин, С.Г. Обухов_Реализация практик в электронной среде в рамках совместной магистерской программы в области электротехники.....	291
Е.Ф. Полисадова, А.В. Ермолаев, В.М. Лисицын_Способ получения люминесцентной керамики методом электронно-лучевого синтеза. ....	293
С.А. Гайворонский, Т.А. Езангина_Параметрический синтез линейного регулятора на основе робастного d-разбиения_ .....	295
И.А. Лариошина, М.Н. Янушевская_Кейс-метод - современная образовательная технология.....	297

## ДВУХЧАСТОТНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЛОКАТОР

М.А. Костина<sup>1,2</sup>, Ю.В. Шульгина<sup>2</sup>, Е.С. Солдатова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mashenkasoldatova@mail.ru

## DUAL-FREQUENCY ULTRASONIC LOCATOR

M.A. Kostina<sup>1</sup>, Yu.V. Shulgina<sup>2</sup>, E.S. Soldatova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The article describes the new method for determining the time coordinate of the moment of arrival of the echo pulse. The essence of the method consists in sequential sounding of the well with signals of different frequencies and analysis of the received reflected signals.*

Эхо-импульсные акустические локации получили широкое распространение в современной промышленности из-за своих преимуществ: достаточная точность, ограниченная длиной волны излучателя, бесконтактность, возможность измерять геометрические параметры объектов, большой динамический диапазон. Особенностью таких локации является возможное снижение точности определения расстояния, вследствие неправильного определения момента прихода отраженного импульса. При прохождении по волноводному акустическому тракту, сигнал искажается, происходит затягивание переднего фронта огибающей, вследствие задержки в распространении мод различных порядков [1]. Разработка универсального способа анализа акустического импульса, позволяющего получить информацию о глубине или расстоянии до объекта с надлежащей точностью, является актуальной задачей.

Суть нового способа состоит в излучении двух сигналов на разных частотах и измерении двух временных интервалов между излученным и принятым сигналом по моменту достижения сигналом установленного порогового значения (рис.1).

В результате имеем 2 временных координаты  $t_1$  и  $t_2$ , разница между которыми будет зависеть от зондирующих частот и от номера периода, в который произошло срабатывание компаратора. Относительно временных промежутков  $t_1$  и  $t_2$  строится расчет временного положения принятого эхо-импульса.

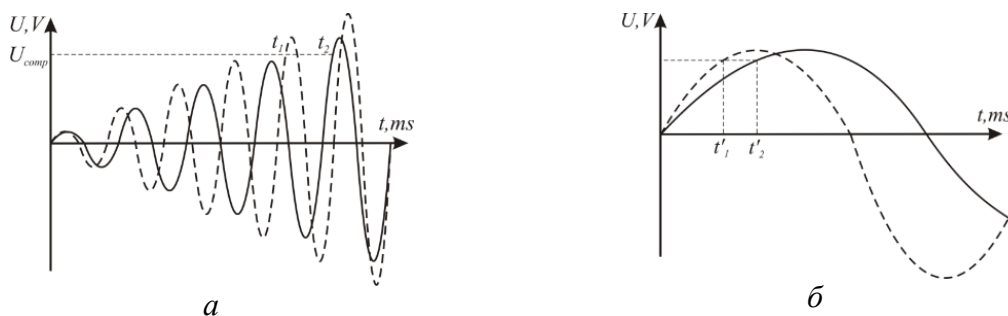


Рис. 1. Осциллограммы начальной части двух эхо-сигналов (сплошная линия – первый эхо-сигнал с периодом повторения  $T_2$ , пунктирная линия – второй эхо-сигнал с периодом повторения  $T_1$ ), а – момент срабатывания компаратора, б – результат выполнения корректировки, где  $U_{comp}$  – пороговое напряжение компаратора;  $t_1, t_2$  – время срабатывания компаратора для 1 и 2 частоты соответственно;  $t'_1, t'_2$  – временные интервалы после проведения корректировки

После измерения временных интервалов между излученным и принятым сигналами производят сравнение этих временных интервалов и их коррекцию в соответствии с выражением:

$$(\Delta t_1 - i \cdot T_1) - (\Delta t_2 - i \cdot T_2) = \min, \quad (1)$$

где  $T_1$  – период колебаний первой ультразвуковой волны,  $T_2$  – период колебаний второй ультразвуковой волны,  $i$  – номер коррекции,  $\Delta t_1$  – первый измеренный временной интервал,  $\Delta t_2$  – второй измеренный временной интервал. Выражение  $(\Delta t_1 - i \cdot T_1)$  используют при определении расстояния до отражающей поверхности.

Погрешность измерения метода обусловлена фазой, в которую произошло срабатывание компаратора. Если срабатывание компаратора для сигналов двух разных частот происходит в одинаковом по счету периоде сигнала от момента его возникновения, то погрешность будет лежать в диапазоне  $0 - T/4$ . Для снижения погрешности следует увеличивать частоту излучаемого сигнала, однако это снижает диапазон измеряемых расстояний [2]. Другой вариант – введение фазовой коррекции в обработку данных. Определение фазы сигнала, в которой произошло срабатывание компаратора возможно по анализу сигнала на выходе компаратора. Рис. 2 поясняет принцип вычисления фазы сигнала, которая участвует в коррекции вычисленного расстояния.

Два действия позволяют достичь высокой точности, не оказывая существенного влияния на ресурс, потраченный на вычисление: определение временной координаты точки первого периода принятого сигнала, и фазовая корректировка найденной временной координаты [3].

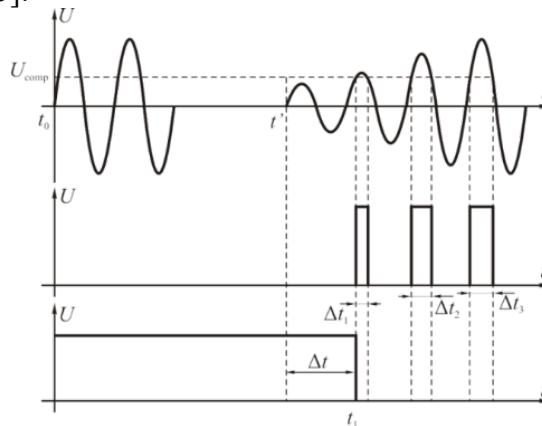


Рис. 2. Фазовая коррекция результата измерения на основе анализа сигнала на выходе компаратора

Время распространения сигнала при использовании фазовой коррекции будет вычисляться по формуле:  $t_0 = (\Delta t_1 - i \cdot T_1) - t_k$ , где  $t_k$  – коррекционный коэффициент, который пропорционален фазе сигнала в момент срабатывания компаратора:  $t_k = \frac{T/2 - \Delta t}{2}$ .

Описанный в статье метод двухчастотного зондирования при правильно выбранном пороговом напряжении и соотношении частот дает погрешность менее 1% от измеряемой глубины. Повысить точность акустических измерений при применении метода двухчастотного зондирования помогает введение фазовой коррекции в обработку принятых сигналов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thomenius K. Evolution of ultrasound beamformers // Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium. – 1996. – vol.2. – P. 1615–1622.
2. Huang, S. S., Huang, C. F., Huang, K. N., & Young, M. S. A high accuracy ultrasonic distance measurement system using binary frequency shift-keyed signal and phase detection // Review of Scientific Instruments. – 2002. – vol.73. –no.10.–Article number 3671.



3. Shulgina Y.V., Starostin A.L., Kostina M.A., Soldatov A.I., Mylnikova T.S. Simulation of acoustic signals in a waveguide of circular cross section // Mechanical engineering, automation and control systems (MEACS): Proceedings of the International conference. – 2016. – Article number 7414918.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Д.А. Сорокин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: das97@tpu.ru

## MEASURING SYSTEMS AND AUTOMATION OF CONTROL SYSTEMS

D.A. Sorokin

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This article provides definitions, structural schemes, types and purpose for automation control and measurement systems at nuclear power plants.*

Система – совокупность нематериальных и материальных, объединённых общими свойствами, признаками, назначением или условиями функционирования, которые при этом образуют единое целое. Автоматизированная система – система, включающая в себя объект управления и технические средства автоматизации. При этом часть функций управления выполняется человеком – оператором. Автоматическая система – система, объединяющая в себе объект управления и технические средства автоматизации, функционирующая при этом без участия человека. Система управления – система, представляющая собой совокупность аппаратных и программных средств и предназначенная для управления технологическими объектами (оптимизации или поддержания его работы). Автоматизированная система, обладающая обратной связью, и/или система, для которой не предусмотрено расширение, называются замкнутыми. Если после сбоя или отказа система способна вернуться к нормальной работе, её называют восстанавливаемой. Работу оператора в рамках автоматизированной системы обеспечивает комплекс программных и технических средств (предназначенных для поиска подготовки, редактирования и выдачи необходимых данных и документов), называемый автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ). Автоматизированная система, предназначенная для управления различными объектами и объединяющая комплекс программных и технических средств, а также различные информационные и организационные средства, называется автоматизированной системой управления (АСУ). Автоматическая система управления – система, представляющая собой комплекс программных и технических средств, предназначенных для воздействия на один или несколько параметров объекта управления для оптимизации или поддержания его работы в определённом режиме, при чём воздействие на процесс или объект осуществляется без участия человека. Если система работает на поддержании заданного значения той или иной регулируемой величины, то она называется системой стабилизации или следящей системой. Если функционирование системы направлено на оптимизацию определённого критерия качества управления, то она называется системой автоматической оптимизации, или системой экстремального регулирования. Комплекс информационных, технических, технологических и программных средств (включающих в себя в том числе проектно-конструкторскую документацию), предназначенный для автоматизации процесса проектирования системы автоматизации, разработки проектно-конструкторской документации, называется системой автоматизированного проектирования (САПР).

Автоматизированные системы управления в зависимости от их назначения и объекта управления делятся на:

- 1) автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП);
- 2) автоматизированную систему управления учреждением;
- 3) автоматизированную систему управления предприятием (АСУП);
- 4) автоматизированную систему управления отраслью (ОАСУ).

Упрощённый порядок обработки информации в АСУ приведён на рис. 1. На первом этапе **1** осуществляется получение информации о состоянии объекта управления в текущий момент. Затем осуществляется первичная обработка данных **2**. На основании полученных данных производится определение параметров объекта управления с учётом возмущений **3**. При сравнении текущих значений параметров с заданными **4**, осуществляется оценка величины рассогласования **5**. После этого производится определение возможных вариантов действия системы для достижения цели управления **6**. Затем принимается решение о выборе варианта решения **7** и выработка управляющего воздействия **8**, выполняемого органами управления **9**.



Рис. 1. Порядок обработки информации в АСУ ТП

Любой объект управления не может существовать отдельно от окружающей среды, в следствие чего на систему оказывают влияние внешние возмущения, которые влияют на результат регулирования. Большинство возмущений нельзя измерить или управлять ими. В общем виде структурная схема системы управления показана на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема системы автоматического управления

Известно два принципа управления: принцип управления по отклонению и принцип управления по возмущению. В случае управления по отклонению регулирование объекта происходит на основании отклонения регулируемой величины от заданного значения, невзирая на причины, вызвавшие эти отклонения. Такие системы относят к замкнутым системам. На рис. 3 приведена структурная схема системы управления по отклонению.

В случае управления по возмущению результат регулирования зависит от величины возмущения. Такие системы называются разомкнутыми, и их структурная схема представлена на рис. 4.

Применение системы управления по возмущению возможно только в том случае, если эти возмущения можно измерять.



Рис. 3. Структурная схема замкнутой системы

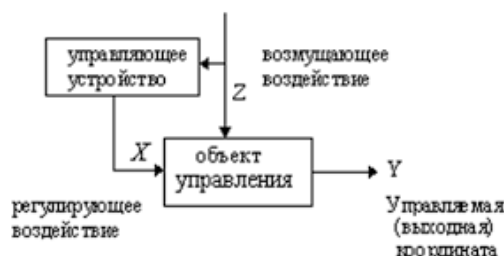


Рис. 4. Структурная схема разомкнутой системы

Тем не менее в разомкнутых системах компенсация всех возможных возмущений, влияющих на объект управления, практически не реализуема, т.к. многие из них нельзя измерить. На отклонение регулируемого параметра от заданного, часто оказывает влияние большое количество различных возмущений (такими возмущениями могут быть изменения атмосферных условий), которые нельзя стабилизировать. В замкнутых системах управления такой недостаток отсутствует, т.к. управление зависит от отклонения регулируемой величины без связи с причинами, его вызвавшими. Но всё же в таких системах трудно добиться необходимой точности регулирования и высокого быстродействия. В связи с этим, самыми эффективными считаются комбинированные системы регулирования, в которых реализованы сразу два принципа управления. Особенностью таких систем является то, что в состав таких систем входит несколько управляющих свойств. Часть возмущений, которые можно измерить, компенсируется одним управляющим устройством, а отклонение регулируемой величины – другим (рис. 5).



Рис. 5. Структурная схема управления с обратной связью и компенсацией возмущений

Известно большое количество классификаций систем управления, одна из которых показана на рис. 6. Закон управления есть некая зависимость, на основании которой производится управление объектом регулирования.

Задачами теории управления являются:

- а) анализ системы управления;
- б) синтез системы управления.



Рис. 6. Классификация систем управления

Наиболее распространены следующие законы управления:

1. Пропорциональный –  $W(P)=k_p$  ( $k_p$  – коэффициент передачи).

2. Интегральный –  $W(P)=\frac{1}{T_u P}$  ( $T_u$  – постоянная времени интегрирования).

3. Пропорционально-интегральный –  $W(P)=k_p + \frac{k_p}{T_u P}$ .

4. Пропорционально-интегральный-дифференциальный –  $W(P)=k_p + \frac{k_p}{T_u P} + k_p * T_d * P$ .

Анализ системы управления состоит в определении устойчивости и качества системы управления при закреплённой структуре и зафиксированных значениях настроечных параметров системы. Синтез системы управления состоит в выборе такой структуры и таких значений настроечных параметров, при которых система управления удовлетворяет заданным требованиям по устойчивости и качеству управления. В энергоблоке АЭС производится преобразование вырабатываемой в ядерном реакторе тепловой энергии в механическую энергию вращения вала турбины, преобразуемую в электрическую энергию в электрогенераторе. Основной задачей управления паросиловой установкой является поддержание соответствия потребляемой энергии производимой. Для двухконтурных АЭС несоответствие вырабатываемой в реакторе энергии потребляемой турбиной выражается в изменении температуры насыщенного пара во втором контуре. Такое несоответствие устраняется регулятором мощности реактора, воздействующим на турбину или реактор в зависимости от режима работы энергоблока. Мощность энергоблока определяется заданным значением и может быть постоянной в базовом режиме работы энергоблока или переменной в регулирующем режиме. Т.к. с точки зрения управления электрогенератор является практически безынерционным, электрическая мощность, поступающая в энергосистему равна механической энергии вращения ротора турбины. Энергосистемы, получающие электрическую энергию от энергоблоков АЭС, имеют большое количество потребителей, что вызывает постоянно изменяющуюся величину потребления энергии. Несоответствие количества выработанной энергии, потребляемой оценивается по отклонению частоты в сети от номинального значения. Допускаемое отклонение частоты в энергосистеме от номинального значения, равного 50 Гц, составляет  $\pm 0,5$  Гц. Основная задача регулирования турбоустановок заключается в поддержании соответствия между вырабатываемой и потребляемой энергией. Для решения этой задачи применяются регуляторы частоты мощности турбины, а также регулятор мощности энергосистемы. При построении АСУ энергоблоком электростанции необходимо учитывать то, что скорость вращения турбины определяет частота сети, т.е. все турбогенераторы, включенные в энергосистему, имеют одну и ту же частоту вращения. Регуляторы частоты вращения турбогенераторов реализуют пропорциональный закон регулирования. Турбины оснащаются механизмом управления турбины для изменения задания регулятору частоты вращения при изменении частоты сети. Таким образом, АСУ

энергоблоком обязательно включает в себя регуляторы частоты и мощности турбогенератора, давления пара, мощности реактора и другие регуляторы.

Система «Скала-микро» построена на основе микропроцессорных модульных средств управляющей вычислительной техники (МСУВТ) серии В10Р и персональных компьютеров в промышленном исполнении (ККСН «ЭКСПРО»). Эти вычислительные средства были разработаны специально для неё, но в последствии применены на изготовлении комплекса электрооборудования СУЗ для зарубежных АЭС и для третьего блока Калининской АЭС. Каждый зарубежный заказчик требовал специальных испытаний на устойчивость к воздействию вредных внешних факторов помимо общепринятых испытаний, проводимых при квалификации. Благодаря этому на сегодняшний день оборудование, применяемое в составе системы «Скала-микро», успешно прошло такие физические испытания как воздействие морского климата (хлориды – 0,0011 мг/м<sup>3</sup>, сульфиты – 0,029 мг/м<sup>3</sup>, сернистый газ – 0,006 мг/м<sup>3</sup> и окислы азота – 0,004 мг/м<sup>3</sup>), устойчивость к механическим воздействиям от удара падающего самолёта и воздушной ударной волны и стойкость к воздействию плесневых грибов. МСУВТ серии В10Р разработки и изготовления НПП ВНИИЭМ имеют в своём составе микропроцессорные устройства и устройства дискретного и аналогового ввода-вывода, объединённые шиной внутриконтроллерной магистрали (ВКМ). Протокол взаимодействия устройств по шине ВКМ разработан в НПП ВНИИЭМ. Устройства ввода-вывода работают под управлением процессорного устройства (обычно один процессор обслуживает до 16 устройств ввода-вывода). Это процессорное устройство выполняет роль шлюза с одним из стандартных интерфейсов (это может быть ETHERNET либо последовательный интерфейс). Персональные компьютеры в промышленном исполнении ККСН «ЭКСПРО» выполнены с использованием комплектующих изделий фирм Portwell (корпус, объединительная панель, процессорная плата) и Advantech (устройства ввода-вывода). Сборка ККСН «ЭКСПРО» производится в НПП ВНИИЭМ. Это позволяет создавать ЭВМ, максимально соответствующие решаемым задачам. Структура системы «Скала-микро» разработана на основе следующих концептуальных положений:

- 1) все компоненты системы, включая электропитание, реализованы с повышенной надёжностью, все устройства резервированы (дублированы). Это обеспечивает непрерывное функционирование системы «Скала-микро» при сбоях или отказах в отдельных устройствах и частичной потере электропитания;
- 2) система обладает свойством открытости, обеспечивающим возможность расширения объёма контролируемых параметров системы в короткие сроки;
- 3) компоненты системы постоянно ведут самодиагностику, вплоть до типового узла замены, её результаты в удобной форме представляются обслуживающему персоналу. Это минимизирует время восстановления отказавших элементов системы;
- 4) при конструкции системы сохранены старые кабельные связи с объектом. Структура системы «Скала-микро» представлена на рис. 7.

Система реализована в виде локальной управляющей вычислительной сети с четырьмя уровнями обработки информации. Первый уровень (нижний) – уровень приёма и первичной обработки информации, поступающей от индивидуальных датчиков (в дальнейшем этот уровень может именоваться как уровень первичной обработки информации). Второй уровень – уровень диагностической обработки информации с формированием диагностического архива (в дальнейшем этот уровень может именоваться как уровень формирования диагностического архива). Третий уровень – уровень формирования базы данных. Четвёртый уровень (верхний) – уровень представления информации оперативному и ремонтному персоналу. Каждый уровень реализован на основе небольшого количества однотипных устройств, при этом при расширении объёма контролируемой информации возможно добавление одной или

нескольких единиц оборудования, что требует доработки аппаратной базы на заводе-изготовителе.

Таким образом, к числу основных функций, выполняемых системой можно отнести:

- 1) приём информации от внешних систем;
- 2) оперативные и неоперативные расчёты параметров реакторной установки;
- 3) периодическая регистрация предыстории и развития аварийных ситуаций;
- 4) контроль канальных параметров (расход воды, температура газа, мощность ТК, температура графита и т.д.) с представлением информации на мнемотабло;
- 5) запись установок сигнализации;
- 6) контроль оперативного запаса реактивности на стрежнях СУЗ с выдачей на индивидуальное табло, самописец и цифровой прибор;
- 7) представление информации на мониторах рабочих станций отображения;
- 8) передача данных в общестанционную сеть.

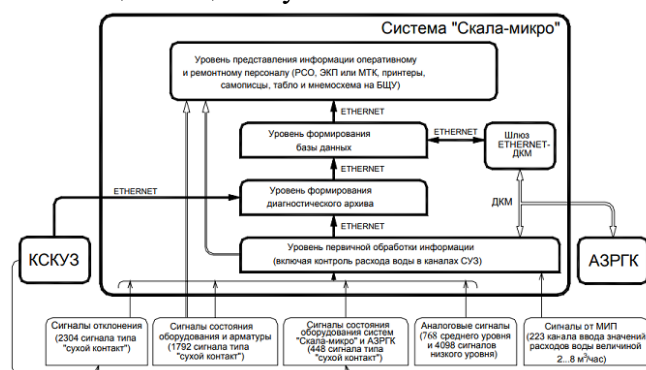


Рис. 7. Структура системы «Скала-микро»: АЗРГК – аварийная защита по расходу в групповых коллекторах; БЩУ – блочный щит управления; ДКМ – дистанционная контроллерная магистраль; КСКУЗ – комплексная система контроля, управления и защиты; МИП – магнитоиндукционный преобразователь; МТК – мнемотабло каналов; PCO – рабочая станция оператора; СУЗ – система управления и защиты; ЭКП – экран коллективного пользования

Модернизации систем «Скала» произошла на новых базовых средствах при условии использования существующих на АЭС первичных датчиков локальной автоматики и большей части коммуникационных связей. Отдельные элементы системы «Скала-микро» были внедрены в 2002 г. На первом энергоблоке Курской АЭС, в июне 2004 г. Завершена модернизация второго энергоблока Курской АЭС, в октябре 2004 г. – первого блока ЛАЭС, в октябре 2006 г. – второго блока ЛАЭС. В настоящее время система «Скала-микро» внедряется на третьем блоке Ленинградской АЭС. В результате внедрения системы «Скала-микро» существенно повышены эксплуатационная надёжность и качество контроля энергоблока, в том числе:

- 1) обеспечена толерантность системы к одиночным отказам, включая потерю одного из вводов энергопитания;
- 2) сохранены существующие кабельные присоединения при замене устройств нижнего уровня;
- 3) обеспечен оперативный обмен информацией с новой системой управления и защиты реактора (двухкомплектной КСКУЗ) по цифровому каналу связи;
- 4) обеспечен приём информации непосредственно от датчиков расхода воды в каналах реактора с исключением промежуточных преобразователей;
- 5) существенно повышена оперативность контроля измеряемых параметров – период контроля канальных расходов воды снижен до 2 с (вместо 60), температурных параметров до 4 с (вместо 60), индивидуальных аналоговых параметров до 1 с (вместо 10) и дискретных параметров до 0,5 с (вместо 10);

6) реализован оперативный контроль трёхмерного энергораспределения реактора с циклом 5 с (ранее цикл контроля двумерного энергораспределения составлял 5 мин);

7) реализована развитая система информационной поддержки операторов энергоблока с применением индивидуальных (двухэкранные рабочие станции отображения) и коллективных (экран коллективного пользования) средств предоставления информации;

8) расширен объём и увеличена разрешающая способность системы диагностической регистрации (количество контролируемых параметров увеличено в 2–3 раза, существенно возросла глубина архивирования).

Так, по приёму и сигнализации, а также по функции ведения аварийного архива в проекте заложено время непрерывной работы не менее 20000 ч. Реально, на сегодняшний день, по приёму дискретных параметров получено время более 200 тыс.ч., по сигнализации от внешних систем – более 250 тыс.ч., по вводу аналоговых параметров – 150 тыс.ч., сигнализация параметров поканального контроля на ЭКП – более 200 тыс.ч., ввод расходов – более 200 тыс.ч. Функция оперативного расчёта параметров реакторной установки имеет время непрерывной работы более 70 тыс.ч. (вместо 10 тыс.ч., заложенных в проекте), сигнализация по расчётным параметрам – более 100 тыс.ч. Помимо оценки новых проектных решений, были проведены всесторонняя оценка качества продукции, выпускаемой НПП ВНИИЭМ, и анализ комплектующих изделий. Уже в результате эксплуатации были выявлены недобросовестные поставщики и ненадёжные комплектующие, а также не совсем удачные конструкторские решения. Были проведены необходимые доработки оборудования, уже находившегося на площадке (в первую очередь на Курской АЭС), и увеличен объём приемо-сдаточных испытаний, которые проходит каждая единица продукции, поставляемая на АЭС. К числу основных направлений развития системы можно отнести:

- 1) совершенствование системы температурного контроля;
- 2) переход на автоматический ввод резерва в устройствах нижнего уровня;
- 3) смену сетевого протокола;
- 4) переход на автоматическую загрузку/реконфигурацию системы;
- 5) дисплейное управление управляющими системами нормальной эксплуатации;
- 6) совершенствование технических средств;
- 7) совершенствование программного обеспечения.

Выбывание действующих мощностей в период с 2017 по 2031 гг. практически полностью (это касается не только блоков с реактором РБМК, но и ВВЭР) делает неизбежным бурное развитие атомной энергетики в последующие два-три десятка лет. Опыт, накопленный при создании и эксплуатации системы «Скала-микро», должен быть учтён при разработке комплекса электрооборудования СУЗ нового поколения. Его цифровая часть строится в основном на тех же средствах, что и система «Скала-микро», но при этом последняя гораздо устойчива к изменениям в режиме работы энергоблока и обладает гораздо более развитой системой самодиагностики. Таким образом, основными векторами развития работ по системе «Скала-микро» должно стать повышение качества эксплуатации системы при уменьшении её стоимости с тем, чтобы атомная энергетика в конечном итоге была не только безопасна, но и оставалась эффективной.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Джумаев С.Д., Десятников И.И., Петров А.В. Информационно-измерительные системы нового поколения для энергоблоков АЭС с реактором типа РБМК-1000. Результаты внедрения и перспективы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_12328278\\_77384316.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12328278_77384316.pdf)
2. Атрошенко Ю.К., Иванова Е.В. Автоматизированные системы управления АЭС [Электронный курс]. – Режим доступа: [https://portal.tpu.ru/SHARED/j/JULIE55/stud\\_work/tech\\_izm/books/%D0%90%D0%A1%D0%A3%20%D0%90%D0%AD%D0%A1.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/j/JULIE55/stud_work/tech_izm/books/%D0%90%D0%A1%D0%A3%20%D0%90%D0%AD%D0%A1.pdf)

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИМ ЛИФТОМ НА БАЗЕ РЕГУЛЯТОРА С НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКОЙ

Чэнь Цзинь, А.И. Шерстнёва, И.А. Ботыгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: czin2@tpu.ru

## DEVELOPMENT OF A CONTROL ALGORITHM FOR PASSENGER LIFTS BASED ON A FUZZY LOGIC REGULATOR

Chen Jin, I.A. Sherstneva, I.A. Botygin

Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The possibility of applying fuzzy logic to the task of efficient passenger lift management was considered. The structural scheme of the fuzzy regulator has been designed. The main stages of an algorithm for the operation of the lift control loop based on the fuzzy logic output have been developed.

В настоящее время инновационные технологии активно применяются и в лифтостроении. Такие технологии особенно актуальны при строительстве высотных зданий. Безусловно, очень многие факторы влияют на безопасность и надежную эксплуатацию лифтов. Именно поэтому управлению лифтом, как техническом объектом, необходимы интеллектуальные системы. Одним из таких подходов являются действия контура управления лифтом на основе нечеткого логического вывода.

Управление процессами на основе нечеткой логики осуществляется на основе правил, а нечеткий регулятор может обрабатывать неограниченное число входных сигналов [1, 2]. На рис.1 представлена функциональная структура системы управления с регулятором на основе нечеткой логики с двумя входными сигналами.



Рис. 1. Функциональная структура системы управления с нечетким регулятором:  $g$  – входной сигнал,  $f_1$  – внешний сигнал шумовых помех,  $f_2$  – помехи сигнала управления,  $u$  – сигнал управления,  $y$  – выходной сигнал. Для обеспечения стабилизации выходного сигнала блоком нечеткой логики (БНЛ) используются две входных переменных – ошибка  $e(n)$  и скорость изменения ошибки  $de(n)/dt$

Основными этапами алгоритма управления пассажирским лифтом на базе нечеткой логики являются:

Этап 1. Формирование базы правил. Содержит в формате нечетких продукций формальное представление эмпирических знаний об объекте управления.

Этап 2. Фаззификация. Представляет собой процедуру установления соответствия значений между входными переменными системы нечеткого вывода и значениями функции принадлежности соответствующих им выражений формального языка входных лингвистических переменных.

Этап 3. Агрегирование. Процедура, которая определяет степень истинности условий по всем правилам системы нечеткого вывода.

Этап 4. Активизация. Процедура, которая определяет степень истинности каждого из подзаключений правил нечетких продукций.

Этап 5. Аккумуляция. Процедура, которая находит функции принадлежности для каждой из выходных лингвистических переменных.



Этап 6. Дефазификация. Процедура, которая находит обычные управляющие воздействия (значения) для каждой из выходных лингвистических переменных.

Исследования показали, что при использовании описанной выше методологии можно за короткие сроки разрабатывать и вводить в эксплуатацию системы управления, наделенные элементами искусственного интеллекта в виде нечетких регуляторов целевой функции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зак Ю.А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии. – М.: «ЛИБРОКОМ», 2013. – 352 с.
2. Новак В., Перфильева И., Мочкрож И. Математические принципы нечёткой логики = Mathematical Principles of Fuzzy Logic. – Физматлит, 2006. – 352 с.

### ВЛИЯНИЕ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ НА ЗНАЧЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

Е.А. Исаченко, Г.В. Вавилова, В.А. Скрипниченко  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: wgw@tpu.ru

### INFLUENCE OF EDGE EFFECTS ON THE CAPACITANCE VALUE OF CAPACITORS

E.A. Isachenko, G.V. Vavilova, V.A. Skripnichenko  
National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* The study is devoted to determining the degree of edge effect influence on the electrical capacitance value of simple capacitors. In the environment of numerical simulation, models of a plane-parallel capacitor with round and square plates are build. As a result, it was shown that the presence of edge effects causes a change in the capacitance of the capacitor, and the effect also depends on the shape of the capacitor.

Емкостный метод является одним из основных методов неразрушающего контроля. Данный метод активно используется для решения широкого спектра задач:

- измерение геометрических размеров объекта контроля;
- измерение уровня жидкости или сыпучих материалов;
- контроль свойств и состава диэлектрических материалов;
- измерение влажности объектов контроля;
- и т.д [1–3].

Емкостный метод основан на преобразованиях измеряемой неэлектрической величины в емкостное сопротивление [4]. Емкостный датчик представляет собой конденсатор, у которого происходит изменение размеров обкладок, расстояния между ними, диэлектрической проницаемости среды между обкладками под влиянием измеряемой неэлектрической величины [2, 5].

В данной работе уделяется внимание плоскопараллельным конденсаторам, емкость которых рассчитывается по классической формуле

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{\delta} \quad (1)$$

где  $S$  – площадь обкладки конденсатора,  $\delta$  – расстояние между обкладками,  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость [6].

При использовании емкостных датчиков следует учитывать наличие краевых эффектов, которые возникают вследствие того, что электрическое поле внутри конденсатора отличается от однородного и проникает в наружное пространство

конденсатора [6, 7]. При расчете емкости по формуле (1) влияние краевых эффектов не учитывается [4, 8].

Цель данной работы провести исследование по определению степени влияния краевых эффектов на значение емкости плоскопараллельного конденсатора. Исследование проводилось путем численного моделирования [9, 10] в среде Comsol Multiphysics. В качестве модели использованы конденсаторы с обкладками разной формы, которые имеют следующие герметические размеры:

- Плоский конденсатор с обкладками квадратной формы с габаритными размерами: обкладки с длиной стороны  $l = 20$  см; расстоянием между обкладками  $\delta = 4$  см.
- Плоский конденсатор с обкладками круглой формы с габаритными размерами - обкладки с радиусом  $R = 10$  см; расстоянием между обкладками  $\delta = 4$  см;

Среда Comsol Multiphysics позволяет увидеть картину поля, которое возникает внутри и вокруг конденсатора [11, 12]. На рис. 1 показаны картины поля для конденсаторов с различными формами обкладок.

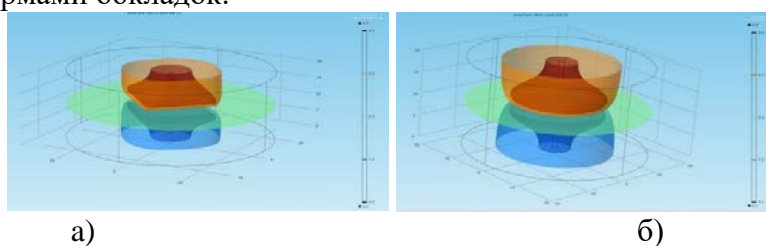


Рис. 1. Картина поля для плоскопараллельного конденсаторов при проявлении краевых эффектов: а – обкладка квадратной формы, б – обкладка круглой формы

Из рис.1 видно, что внутри конденсатора электрическое поле однородное, а на краях наблюдается его растекание. Оценить проявление краевых эффектов можно используя рассчитанные в среде Comsol Multiphysics значения емкости конденсатора. Значение емкости конденсатора при ограничении зоны расчета границами конденсатора принимается за исходное значение  $C_0$ , изменение относительно которого можно принять за количественную оценку степени влияния краевых эффектов. Полученные значения проверены путем расчета емкости по формуле (1).

В таблице 1 приведены значения емкости конденсаторов разной формы при учете краевых эффектов и без их учета, а также значения погрешности, возникающей при отсутствии учета влияния краевых эффектов.

Таблица 1 – Значение емкости различных конденсаторов

Форма конденсатора	Полученные значения без воздействия краевых эффектов, пФ	Полученные значения с воздействием краевых эффектов, пФ	Погрешность, %
Плоский конденсатор с обкладками квадратной формы	6,419	8,847	36,295
Плоский конденсатор с обкладками круглой формы	4,033	4,568	13,278

Анализ данных показывает, что наличие краевых эффектов искажает значение емкости конденсатора, причем степень влияния зависит от формы обкладок конденсатора.

В работе проведены исследование влияния краевых эффектов на емкость плоскопараллельных конденсаторов различных форм. Для оценки влияния были рассмотрены плоскопараллельные конденсаторы с обкладками квадратной формы и плоскопараллельные конденсаторы обкладками круглой формы.

При сравнении формы плоскопараллельного конденсатора можно сделать вывод, что в конденсаторах с обкладками квадратной формы краевые эффекты оказывают большее

влияние на емкость, чем в конденсаторе с обкладками круглой формы при равных значениях площадей обкладок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн А.Е., Абрашкина И.А. Физические основы измерительных преобразований. Моделирование измерительных преобразований и решение практических задач: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 139 с.
2. Джежора А.А. Моделирование и методы электроемкостного контроля ортотропных сред на основе применения зеркально-симметричных преобразователей: автореф. дисс. д-ра техн наук: 05.11.13/ А.А. Джежора; ИПФ НАН Беларуси. – М., 2013. – 44 с.
3. Восколович Д.А., Вавилова Г.В., Белик М.Н. Контроль толщины гальванических покрытий // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации (Сагиновские чтения №12): труды Международной научно-практической online-конференции: в 2-х ч. – Караганда: Издательство КарГТУ–2020. – Ч. 1. – С. 908–910.
4. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учебник в электронном формате. – М.: Академия, 2014. – 720 с.
5. Гольдштейн А. Е. Физические основы получения информации: учебник для прикладного бакалавриата. – М.: Юрайт, 2020. – 292 с.
6. Иоссель Ю.Я., Кочанов, Э.С., Струнский. М.Г. Расчет электрической емкости. – Л.: Энергоиздат, 1981.– 288 с.
7. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1968. – 487 с.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017614049 Российская Федерация. Виброрегистратор-М2 / А.Н. Гаврилин, К.В. Серябряков, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин, Б.Б. Мойзес; заявитель и правообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». – № 2017611112; заявл. 13.02.2017; опубл. 05.04.2017. – 1 с.
9. Самарский А.А. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры. – М.: Физматгиз, 2002. – 320 с.
10. Goldshtein A.E., Vavilova G.V., Belyankov V.Y. An electro-capacitive measuring transducer for the process inspection of the cable capacitance per unit length in the process of production // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – vol.51. –no.2. – P. 86-93.
11. Вавилова Г.В., Чапайкина А.В. Моделирование электроемкостного измерительного преобразователя для контроля погонной емкости электрического кабеля в процессе производства // Вестник науки Сибири: электронный научный журнал. – 2014. – № 4 (14). – С. 44–52
12. Исаченко Е.А., Вавилова Г.В., Белик М.Н. Исследование влияния краевых эффектов на значение емкости конденсатора // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации (Сагиновские чтения №12): труды Международной научно-практической online-конференции: в 2-х ч. – Караганда: Издательство КарГТУ– 2020. – Ч. 1. – С. 928–930.

## МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

И.К. Ступин, Е. Юлаев, И.А. Ботыгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: stupin.il@yandex.ru

## METANEURISTIC OPTIMIZATION METHODS

I.K. Stupin, E. Yulaev, I.A. Botygin

Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** A comparative study of optimization algorithms based on bee colony methods and scattered search is presented. The Himmelblau function is used as a target function. The developed optimization algorithms were implemented using the C# programming language.

Теория оптимизации как наука сформировалась в середине 60-х годов прошлого столетия [1]. Несмотря на это в последнее время появилось множество эвристических алгоритмов, показатели которых сравнимы с «классическими» методами оптимизациями (МО), а иногда и превосходят их [2]. Эвристические методы построены на рассудительности и логике, иногда интуитивности, но полученный результат достигает поставленные цели. В настоящей работе приведены результаты исследования алгоритмов оптимизации на базе метода разбросанного поиска и метод пчелиных колоний [3, 4]. В качестве целевой функции используется функция Химмельблау:

$$f(x, y) = (x^2 + y - 11)^2 + (x + y^2 - 7)^2$$

Функция имеет четыре равнозначных минимума:  $f^*(3, 2) = 0$ ;  $f^*(-2.8051.., 3.1313..) = 0$ ;  $f^*(-3.7793.., -3.2831) = 0$ ;  $f^*(3.5844.., -1.8484..) = 0$ .

Графическая иллюстрация функции Химмельблау построена с помощью разработанного на языке C# программного обеспечения и приведена на рис. 1.

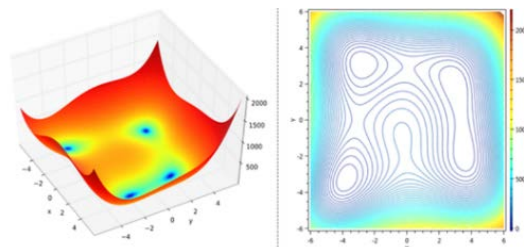


Рис. 1. Демонстрация вида целевой функции и линий уровня

Промежуточные результаты работы алгоритмов по методам пчелиных колоний и разбросанного поиска представлены на рис.2.

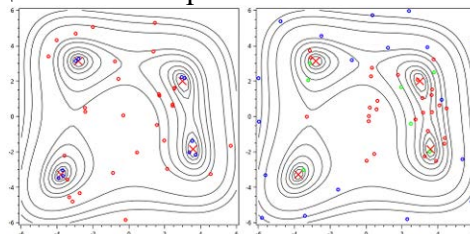


Рис. 2. Промежуточные результаты работы алгоритмов: слева) метод пчелиных колоний; справа) метод разбросанного поиска

Ниже представлена сводная таблица результата экспериментального исследования метода пчелиных колоний и метода разбросанного поиска. Столбцы  $x$ ,  $y$ ,  $f(x, y)$  характеризуют найденный глобальный экстремум. Количество точек в методе пчелиных колоний установлено равным 50, а количество итераций – 30. Количество точек в методе

разбросанного поиска варьировалась от 157660 до 175626, а количество итераций – от 69 до 75.

Таблица 1– Результаты работы алгоритмов

Имя метода	Полученные значения			Количество о точек	Количество о итераций
	$x$	$y$	$f(x, y)$		
Метод пчелиных колоний	3,002802	1,995160	0,000737	50	30
	3,002130	1,996375	0,000210	50	30
	3,580356	-1,848560	0,000675	50	30
Метод разбросанного поиска	2,999727	1,998079	0,000071	175626	75
	3,580356	1,848184	0,000014	170218	74
	2,991343	2,001283	0,002479	157660	69

Исследования показали, что при рассмотрении целевой функции Химмельблау лучшие результаты показал алгоритм оптимизации на базе метода разбросанного поиска.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мицель А.А., Шелестов А.А, Романенко В.В., Мицель А.А. Методы оптимизации: учебное пособие. – Томск: ФДО, ТУСУР, 2017. – 198 с.
2. Пантелеев А.В., Метлицкая Д.В., Алешина Е.А. Пантелеев А.В. Методы глобальной оптимизации. Метаэвристические стратегии и алгоритмы. – М.: Вузовская книга, 2013. – 244 с.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛИ «СКРЫТОЙ» МОНООТРАСЛИ НА ПРИМЕРЕ МОНОГОРОДОВ В СОПОСТАВЛЕНИИ С ПРЕДПРИЯТИЯМИ- ФЛАГМАНАМИ

И.С. Антонова, Е.А. Малеева, С.Н. Попова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: antonova\_is@mail.ru

#### THE MODEL OF “SHADING” CORE INDUSTRY IN COMPANY TOWNS IN COMPARISON TO THE FLAGSHIP ENTERPRISES

I.S. Antonova, E.A. Maleeva, S.N. Popova

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The article describes the possibility of restoring zero values of the share of the single-industry sector indicator in terms of revenue, fixed assets and salary for the single-industry town Taiga from 2013 to 2017, using the machine-learning model. Using the obtained indicator the share of the single-industry sector was determined that the flagship enterprise of the Taiginsky district would be included in the sample of flagship enterprises of Tomsk, Kemerovo and Chelyabinsk regions.*

#### Введение.

Ограниченное количество данных крайне ограничивает исследование экономического и пространственного развития моногородов [1]. Расчет показателей концентрации и диверсификации повышает качество данных о моногородах, но рассчитать данные показатели для моногородов, градообразующим предприятием которых является филиал другого предприятия, расположенного вне муниципального образования, невозможно. В данной работе примером такого моногорода являлся Тайгинский городской округ (Тайгинский ГО), градообразующее предприятия которого является комплекс структурных подразделений ОАО «Российские железные дороги». Целью работы являлось построение регрессионной модели, применяя методы

машинного обучения, для предсказания доли моноотрасли Тайгинского ГО, определение места его градообразующего предприятия в выборке предприятий-флагманов.

В исследовании использовались данные бухгалтерской отчетности предприятий, представленные в аналитической системе «СПАРК-Интерфакс» за период 2013–2017 гг. для моногородов Кемеровской, Челябинской и Свердловской областей, так как у данных регионов наблюдается самая высокая концентрация моногородов.

#### **Материалы и методы исследования.**

Для городов были рассчитаны показатели концентрации и диверсификации: доля моноотрасли [2], индекс Херфиндаля-Хиршмана (ННИ) и энтропия на основе данных о выручке, оплате труда и основных средствах предприятий. Для того, чтобы избежать искажений при подстановке данных Тайгинского ГО в модель, было предложено использовать модифицированный ННИ, т.е. вычесть квадрат доли моноотрасли из выражения:  $ННИ' = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - CR^2$ , где  $Y_i$  – доля  $i$ -го предприятия в общем объеме моногородов,  $n$  – общее число предприятий.

В данной работе использовались следующие алгоритмы машинного обучения: линейная регрессия, нейронные сети прямого распространения, метод ближайших соседей, случайный лес. Все расчеты и построение моделей проводились на языке программирования Python.

#### **Результаты и выводы.**

Для построения моделей были выбраны следующие параметры: число действующих предприятий и ННИ'. Для проверки качества моделей были рассчитаны коэффициент детерминации и среднеквадратичное отклонение. Из полученных результатов наилучшим образом показал алгоритм случайный лес. Но так как полученная модель является набором решающих правил, следовательно, она не может быть записана в виде функциональной зависимости. Для Тайгинского ГО были получены следующие значения, результаты представлены в таблице 1.

*Таблица 1 – Предсказанные моделью значения для Тайгинского ГО*

	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Предсказанное значение	Доля выручки моноотрасли				
	0,54	0,59	0,46	0,34	0,30
	Доля основных средств моноотрасли				
	0,79	0,78	0,69	0,60	0,57
	Доля оплаты труда моноотрасли				
	0,67	0,72	0,55	0,47	0,46

Используя полученную долю моноотрасли, можно определить долю выручки градообразующего предприятия ОАО «РЖД» Тайгинского ГО. Рассчитав выручку, как доля выручки моноотрасли\*общая выручка Тайгинского ГО. Были получены следующие результаты (таблица 2).

*Таблица 2 – Рассчитанная выручка комплекса структурных подразделений ОАО «РЖД»*

	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Рассчитанная выручка, руб.	348087780	405590780	293336940	234784960	187243800

Полученные результаты позволяют сопоставить результаты с уровнем выручки на примере предприятий-флагманов и определить место доли «скрытой» моноотрасли среди них. В рамках указанного в разделе «Благодарность» гранта для оценки числа предприятий-флагманов Сибирского федерального округа применялась следующая схема. Под предприятиями-флагманами понимались лидирующие предприятия с наибольшими объемами годовой выручки. На основе данных финансовой отчетности за период 2013–2017 гг. определялись 200 крупнейших предприятий по выручке трех ведущих и крупных регионов СФО: Новосибирской, Томской и Кемеровской областей. Градообразующее предприятие Тайгинского ГО не входило в выборку. Сопоставив

полученные значения (таблица 2) со значениями выручки предприятий-флагманов, было получено, что ОАО «РЖД» Тайгинского ГО входил бы в число флагманов в 2014 г. (175 место), 2015 г. (185 место), 2016 г. (198 место).

#### **Заключение.**

Используя полученную модель, были восстановлены нулевые значения доли выручки, основных средств и оплаты труда моноотрасли для Тайгинского ГО, что повысило его качество данных, позволяющая оценивать уровень его диверсификации. На основе данных результатов было получено, что предприятие Тайгинского ГО попало бы в выборку предприятий-флагманов Новосибирской, Кемеровской и Томской областей в 2014, 2015 и 2016 гг.

#### **Благодарности.**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-исследовательского проекта РФФИ «Роль флагманских предприятий в экономическом развитии регионов: Экономико-математический анализ панельных данных на примере России и США», проект № 18-010-01123 а.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гаврильева Т.Н., Бочкарев Н.В., Афанасьева Я.В. Механизмы пространственной концентрации и децентрации экономической активности в Якутии // Экономика Востока России. – 2018. - №2(10). – С. 46-56.
2. Bikker, J. A., & Haaf, K. Competition, concentration and their relationship: An empirical analysis of the banking industry // Journal of Banking & Finance. – 2002. – Vol. 26 (11). – P. 2191-2214.

### **ЛИНЕЙНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ЗАДАННОЙ ФУНКЦИИ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ**

И. В. Раков, Д.С. Буньков, И.А. Набунский, С.В. Колесников  
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
 E-mail: rakovivan@live.com

### **NEURAL NETWORK LINEAR APPROXIMATION OF A GIVEN FUNCTION**

I. V. Rakov, D. S. Bunkov, I.A. Nabunsky, S.V. Kolesnikov  
 National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** Data obtained in the course of a real experiment contains a certain error. Real data there are noises that introduce additional errors in the final values. It is possible to level the errors and noises that arise during the experiment for practical work by approximating the experimental data.*

Для аппроксимации данных, полученных в ходе эксперимента, используют следующие виды регрессии: линейная, полиномиальная, гиперболическая, экспоненциальная, степенная и линейная регрессия общего вида [1]. Математическая запись простейшей линейной регрессии представлена в уравнении 1.

$$\varphi(x) = kx_i + b \quad (1)$$

где  $k$ ,  $b$  – коэффициенты линейной регрессии определяемые из условия минимизации.

Для минимизации отклонения функции линейной регрессии от заданной функции в некоторых случаях используется метод наименьших квадратов (МНК). Математическая запись МНК представлена в уравнении 2.

$$Q = \sum_{i=1}^n \varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (f(x) - \varphi(x))^2 \Rightarrow \min \quad (2)$$

где  $f(x)$  – значения заданной функции,  $\varphi(x)$  – значения аппроксимирующей линейной функции.

Таблица 1 – Значения заданной функции  $y_i = \sqrt{1 - x_i^2}$ 

$x_i$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$y_i$	1	0,98	0,917	0,8	0,6	0

После того как задали функцию, необходимо на основе МНК определить коэффициенты линейной регрессии  $k$  и  $b$  таким образом, чтобы минимизировать сумму квадратов отклонений от точек, заданных в таблице 1. Для этого необходимо подставить (1) в (2), затем раскрыть скобки в полученном уравнении, упростить его, вычислить производные по  $k$  и  $b$ , и решить систему алгебраических уравнений. После выполнения операций описанных выше получим уравнение 3.

$$\begin{vmatrix} k \\ b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{2 \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - 2n \sum_{i=1}^n (x_i y_i)}{2(\sum_{i=1}^n x_i)^2 - 2n \sum_{i=1}^n (x_i)^2} \\ \frac{2 \sum_{i=1}^n (x_i y_i) \sum_{i=1}^n x_i - 2(\sum_{i=1}^n x_i)^2 \sum_{i=1}^n y_i}{2(\sum_{i=1}^n x_i)^2 - 2n \sum_{i=1}^n (x_i)^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -0,893 \\ 1,163 \end{vmatrix} \quad (3)$$

Подставим полученные коэффициенты в (1) и вычислим среднеквадратичную погрешность аппроксимации заданной функции с помощью линейной регрессии для дальнейшего численного сравнения качества работы нейронной сети (НС) по формуле 4.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (|y_i - \varphi(x)|)}{n}} \cdot 100 \% = 16,559 \% \quad (4)$$

Произведем линейную аппроксимацию заданной функции, указанной в таблице 1 с помощью НС. Создадим НС, состоящую из одного нейрона и зададим случайные веса  $k$ ,  $b$ . НС изображена на рис.1.

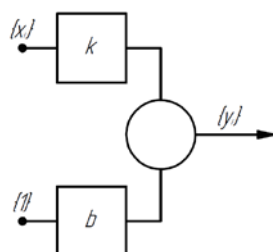


Рис. 1. Структура нейронной сети для линейной аппроксимации заданной функции

Процессы, происходящие в представленной выше НС описаны в уравнении 5.

$$y_{nni} = k \cdot x_{nni} + 1 \cdot b \quad (5)$$

Входной набор данных и выходные значения НС представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты работы необученной нейронной сети

Вход нейронной сети №1 ( $x_{nni}$ )	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Вход нейронной сети №2 (1)	1	1	1	1	1	1
Выход нейронной сети при $k = 1, b = 0$ ( $y_{nni}$ )	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1

Вычислим среднеквадратичную погрешность аппроксимации заданной функции с помощью необученной НС по формуле 4. Погрешность составляет  $S = 70,1768$  %, что на  $53,6178$  % больше, чем погрешность при аппроксимации заданной функции с помощью линейной регрессии. Для минимизации погрешности аппроксимации проведем обучение НС методом градиентного спуска. Процесс обучения изменит весовые коэффициенты  $k$  и  $b$  таким образом, чтобы выходные значения НС были наиболее близкими к целевым значениям  $y_i$ . Шаг градиентного спуска для данной НС представлен в системе уравнений 6.



$$\begin{cases} k_{j+1} = k_j - \lambda \cdot x_{nni} \cdot (y_{nni} - y_i) \\ b_{j+1} = b_j - \lambda \cdot x_{nni} \cdot (y_{nni} - y_i) \end{cases} \quad (6)$$

где  $k_j, b_j$  – значение весов нейронной сети,  $k_{j+1}, b_{j+1}$  – новое значение весов нейронной сети,  $y_{nni}$  – выходные значения нейронной сети при  $k_j, b_j$ ,  $y_i$  – целевое значение нейронной сети (значение заданной функции),  $\lambda$  – скорость обучения нейронной сети.

Проведя обучение методом, указанным выше, были получены графики значений выхода обученной нейронной сети, график изменения весов нейронной сети в процессе обучения, график ошибки нейронной сети в процессе обучения. Параметры обучения: количество эпох обучения – 5000, скорость обучения нейронной сети – 0,003.

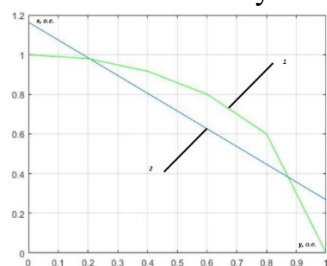


Рис. 2. 1 – график заданной функции, 2 – график линейной аппроксимации заданной функции нейронной сетью после обучения

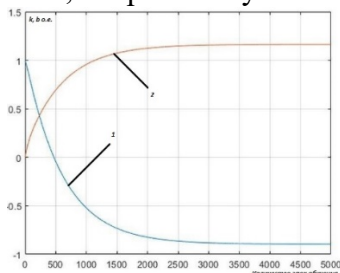


Рис. 3. График изменения весовых коэффициентов от эпохи обучения, 1 – вес  $k$ , 2 – вес  $b$ . Веса до обучения  $k = 1, b = 0$ , веса после обучения  $k = -0,8949, b = 1,1633$

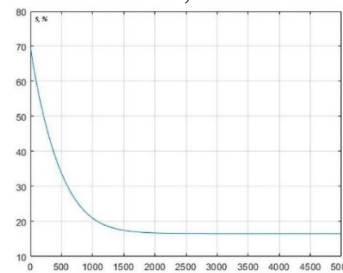


Рис. 4. График изменения погрешности нейронной сети от эпохи обучения. Погрешность до обучения  $S = 70,1768 \%$ , погрешность после обучения  $S = 16,5595 \%$

Таблица 3 – Сравнение результатов аппроксимации заданной функции

	Аппроксимация заданной функции с помощью линейной регрессии (МНК)	Аппроксимация заданной функции с помощью нейронной сети (метод градиентного спуска)	Разница между значениями, %
$k, o.e.$	-0,893	-0,8949	-0,21231
$b, o.e.$	1,163	1,1633	0,02579
$S, \%$	16,559	16,5595	0,00302

Как видно в таблице 3 разница между параметрами  $k$  и  $b$  аппроксимирующих функций, вычисленных разными методами, составляет не более 0,5%. В свою очередь разница между среднеквадратичными погрешностями этих же функций не превышает 0,005%. Исходя из этого можно сказать о том, что для аппроксимации заданной функции возможно применять как аналитический подход при помощи МНК, так и итерационный при помощи обученной нейронной сети.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцева О. П., Кояин Н.В., Удут Л.С. Численные методы в электротехнике: компьютерный лабораторный практикум. — Томск: ТПУ, 2003. –100 с.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

С.В. Леонов, Е.А. Кривошеева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: leonov@tpu.ru

## AUTOMATION OF EXPRESS CONTROL OF MAGNETIC CHARACTERISTICS OF MECHATRONIC SYSTEMS

S.V. Leonov, E.A. Krivosheyeva

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* The paper presents the concept of an automated system for monitoring the magnetic characteristics of electromechanical and mechatronic systems.

В производстве электромеханических и мехатронных изделий уровень использования материалов не всегда оптимален. Существенная часть материала уходит в отходы, а в самих конструкциях далеко не в полной мере используются его свойства. Кроме этого, характеристики электротехнических материалов изменяются не только от партии к партии, но и есть случаи, когда каждый изготавливаемый образец изделия уже по-своему оригинален. Причиной этому являются производственные дефекты, которые могут возникнуть вследствие отступления от размеров и допусков на изготовление и ремонт деталей, нарушения технологии механической или термической обработки деталей, нарушения технологических процессов сборки или регулировки изделия, или его узлов и блоков, а также свойства и особенности отдельных ферромагнетиков. Все эти факторы вынуждают проектировать конструкции электромеханических и мехатронных систем с преимущественным запасом.

Для быстрой неразрушающей оценки свойств готового изделия предлагается производить измерение напряженности магнитного поля образца посредством матрицы с датчиками Холла размерностью  $[n, m, k]$  и последующее сравнение результатов измерения с расчетными данными, полученными на основе использования эталонной модели. В результате сравнения результатов измерения и расчета эталонной модели можно сделать вывод о качестве изготовления образца и его текущем состоянии [1].

Система экспресс-контроля базируется на решении известного интегро-дифференциального уравнения с расчетом напряженности магнитного поля при известном «эталонном» распределении вектора намагниченности вещества [2]. По степени отклонения результатов измерений от расчетных значений можно судить о качестве производимых изделий, наличии или отсутствии запасов мощности, вероятности безотказной работы устройства [3].

Представленный концепт системы оперативной оценки качества изготовления электромеханических и мехатронных устройств имеет следующие отличительные особенности:

- не требуется точное позиционирование образца относительно центра измерительной системы, т.е. можно анализировать образцы любой формы без применения дополнительной оснастки и центрирующих элементов;
- возможен анализ образцов как в статических, так и динамических режимах работы с оценкой степени энергоэффективности и плавности производимых перемещений;
- формирование цифрового «двойника» изделия с поддержкой CALS-технологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муравлев О.П., Леонов С.В., Полуниин Д.В., Фокин В.В. Численное исследование проблем концентрации магнитного потока для синтеза высокоэффективных магнитных систем // Проблемы информатики. – 2012. – № S3 (17). – С. 30–35.

2. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019610011, 09.01.2019. Расчет и моделирование трехмерных электромеханических систем // И.А. Кремлев, С.В. Леонов, А.А. Сидорова Заявка № 2018664485 от 18.12.2018.
3. Муравлев О.П., Леонов С.В., Фокин В.В. Расчёт статических характеристик низкоскоростного синхронного двигателя с концентрацией магнитного потока // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2009. – № 6. – С. 32–35.

## КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ

Инь Юйкай, Л.А. Редько, И.А. Ботыгин  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: yuykay1@tpu.ru

### DESIGN OF A LASER DOPPLER SPEED METER

Yin Yuikai, L.A. Redko, I.A. Botygin  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** An overview of methods for measuring the length and speed of cable products has been made. The calculations required to determine the design logic of a laser Doppler speed meter have been performed. The Doppler frequency and lens parameters were determined based on the best samples on the market.*

В настоящее время лазерные доплеровские измерители скорости (ЛДИС) широко используются в промышленной сфере. Современные ЛДИС представляют собой сложные оптико-электронные измерительные комплексы и системы, сочетающие в себе передовые технические решения [1–3]. Представленные на рынке приборы имеют высокую стоимость, поэтому разработка более конкурентоспособных образцов приборов является актуальной задачей. В настоящей работе проведено исследование теоретических и практических аспектов создания прибора для технологического контроля скорости и длины протяжённых изделий на основе лазерного доплеровского метода.

Структурная схема лазерного доплеровского измерителя скорости представлена на рис. 1. Ключевые компоненты схемы: источник когерентного оптического излучения (полупроводниковый лазер), призма-делитель оптического излучения, собирающая линза, собирающая линза, фотоприемник.

Структура оптической части ЛДИС приведена на рис. 2.

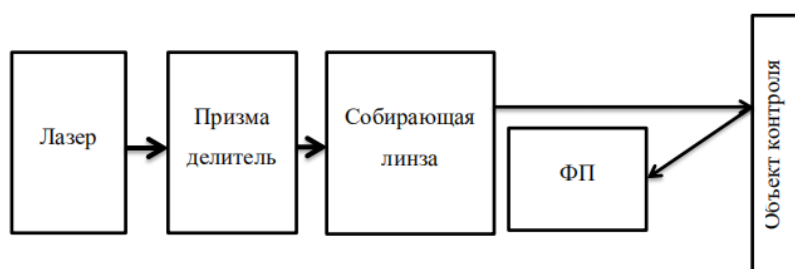


Рис. 1. Структурная схема лазерного доплеровского измерителя скорости

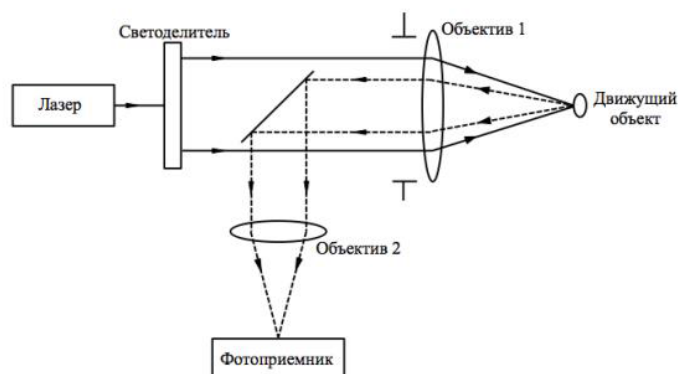


Рис. 2. Оптическая схема лазерного доплеровского измерителя скорости

После того, как лазерный луч входит в светоделитель, образуются два луча. Два лазерных луча фокусируются линзой 1 в области измерения. Они образуют интерференционную картину. Излучение, рассеянное неоднородностями на поверхности объекта, собирается объективом в пределах щелеобразной диафрагмы и после отражения от зеркала направляется объективом 2 на фотоприемник, где преобразуется в электрический сигнал, частота которого пропорциональна скорости движения объекта.

Все основные методы обработки доплеровского сигнала можно разделить на несколько основных групп: спектральный или корреляционный анализ, следящие фильтры-демодуляторы, корреляторы фотоотсчетов и др. В последнее время для промышленных приборов наибольшее распространение получили различные варианты счетно-импульсных процессоров, основанные на выделении переходов доплеровского сигнала через нулевое значение.

Моделирование зависимости доплеровской частоты от скорости движения объекта представлено на рис. 3.

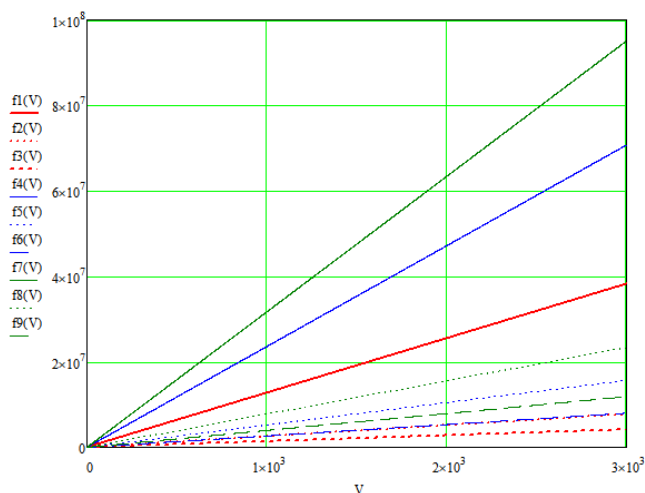


Рис. 3. Графики зависимости доплеровской частоты от скорости движения объекта

Необходимо отметить, что конструирование лазерного доплеровского измерителя скорости технологии в макетном исполнении явилось оптимальным вариантом решения поставленной задачи с позиций финансовой и ресурсной эффективности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосов И.В. Лазерный доплеровский анемометр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://optics.sgu.ru/\\_media/library/education/metod\\_doppler.pdf](http://optics.sgu.ru/_media/library/education/metod_doppler.pdf) (дата обращения: 12.09.2020).

2. Дубнищев Ю.Н., Шибяев А.А. Лазерный доплеровский измеритель скорости // Патентный поиск, поиск патентов на изобретения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/263/2638580.html> (дата обращения: 12.09.2020).
3. Лазерная доплеровская измерительная система для диагностики газожидкостных потоков ЛАД-056 // Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itp.nsc.ru/applied-exploit/lazernaya-doplerovskaya-izmeritel'naya-sistema-dlya-diagnostiki-gazozhidkostnich-potokov-lad-056> (дата обращения: 12.09.2020).

## **ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ**

И.Б. Величкович, А.А Швейцер, Б.Б. Мойзес

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mbb@tpu.ru

## **VIBRATION PARAMETERS MEASUREMENT DURING PHYSICAL MODELING**

I.B. Velichkovich, A.A SHvejtser, B.B. Moyzes

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** One of the subjects of vibration process research is the physical modeling of real objects using experimental stands. In this case, the target is to apply information-measuring systems for recording vibration parameters. The future efficiency of using the mobile diagnostic complex "Viroregistrator" of the special software and mathematical software "Vibroregistrator-M2" was shown in the article.*

В процессе проектирования новых механизмов и машин для прогнозирования значения будущих параметров применяется такой метод исследования, как моделирование. При этом активно развиваются два направления моделирования, дополняющие друг друга: математическое и физическое.

Целью математического моделирования является описание математическими зависимостями закономерностей функционирования исследуемого объекта. Суть физического моделирования заключается в создании испытательного стенда, имитирующего работу существующего или проектируемого объекта.

Известно, что работу любого технического объекта сопровождает процесс появления вибрации, который для большинства объектов является нежелательным. В связи с этим ведется большая работа по созданию новых виброустойчивых конструкций объектов [1], виброгашению и вибродемпфированию в имеющихся устройствах [2,3], выбору технологических параметров, позволяющих работать с меньшим уровнем вибрации [4].

Второе направление, связанное с изучением значений параметров вибрации, связано с технологическими машинами, возбуждающими «полезную» вибрацию. Примером могут стать вибрационные конвейеры, вибрационные прессы, установки для сейсмической разведки [5,6] и т.д.

Активно ведутся исследования в области определения собственных частот объектов [7,8].

Во всех направлениях, связанных с изучением вибрации, требуется проводить измерение виброперемещения, виброскорости либо виброускорения; вести расчет среднеквадратичного значения (СКЗ) данных параметров, определять значения частот колебаний и т.д. Таким образом актуально иметь мобильный информационно-измерительный комплекс с возможностью измерения параметров вибрации различных устройств, а также специальное программно-математическое обеспечение для обработки данных (СПМО).

Авторским коллективом разработан мобильный диагностический комплекс «Виброрегистратор» [4] со СПМО «Виброрегистратор-М2» [9].

Данная информационно-измерительная система позволяет:

- регистрировать колебания с любого работающего агрегата, устройства, механизма в трех направлениях [4] в частотном диапазоне 0,5...10000 Гц;
- выбирать необходимый параметр вибрации: виброперемещение, виброскорость либо виброускорение;
- производить настройку фильтрации сигналов;
- выводить на экран временную и спектральную диаграммы (рис. 1);
- формировать отчет в формате текстового редактора MS Word с выводом информации о пиковом значении параметра вибрации, СКЗ, мощности сигнала (таблица 1), а также строить временную и спектральную диаграммы для каждого канала (рис. 2).

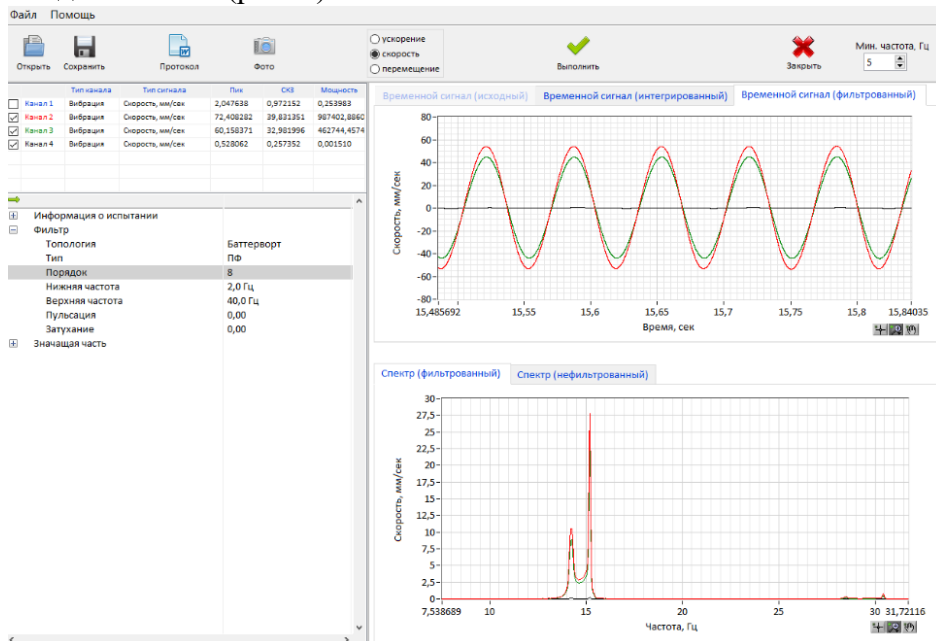


Рис. 1. Окно программного обеспечения

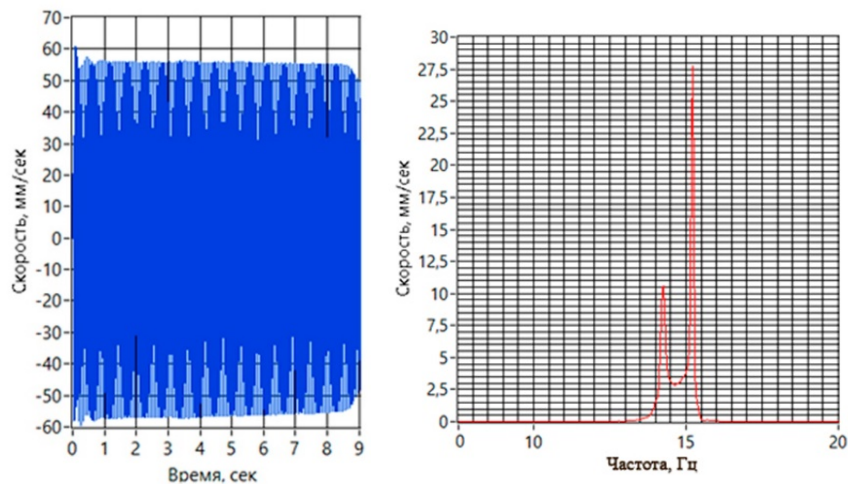


Рис. 2. Диаграмма: а – временная; б – спектральная

Таблица 1 – Данные однократного измерения вибрации

Канал	Тип	Пик	СКЗ	Мощность
1	Скорость, мм/сек	2,047638	0,972152	0,253983
2	Скорость, мм/сек	72,408282	39,831351	987402,886002
3	Скорость, мм/сек	60,158371	32,981996	462744,457421
4	Скорость, мм/сек	0,528062	0,257352	0,001510

Применение данной системы апробировано при вибродиагностике элементов гидравлического привода, узлов и агрегатов металлорежущих станков [4], при работе испытательных и имитационных гидравлических стендов [7, 8].

Таким образом, перспективно применение представленной информационно-измерительной системы для измерения параметров вибрации при физическом моделировании процессов различных технических систем [1, 4, 6–8].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б., Черкасов А.И. Конструктивные методы повышения виброустойчивости металлорежущего оборудования // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – С. 82–87.
2. Пат. 2340811 Российская Федерация, F16F 15/023. Гидропневматический амортизатор с безинерционным гасителем / Крауиньш П.Я., Смайлов С.А., Иоппа А.В., Кувшинов К.А., Супрунов А.Ю., Дерюшева В.Н. Заявл. 06.06.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. №34. – 5 с.
3. Гаврилин А.Н., Рожков П.С., Ангаткина О.О., Мойзес Б.Б. Динамический виброгаситель с системой автоматической настройки на частоту колебаний // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318.–№ 2. –С. 26–29.
4. Иванов С.Е., Гаврилин А.Н., Козырев А.Н., Мойзес Б.Б. Повышение эффективности фрезерной обработки путём снижения ударно-вибрационных нагрузок // Ползуновский вестник. – 2018. – № 1. – С. 77–81.
5. Gavrilin A.N., Chuprin E.A., Moyzes B.B., Halabuzar E.A. Land-based sources of seismic signals // Mechanical engineering, automation and control systems (MEACS): Proceedings of the International conference. – 2014. – Article number 6986947.
6. Кувшинов К.А., Мойзес Б.Б., Крауиньш П.Я. Импульсно-вибрационный источник сейсмических сигналов // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 77–81.
7. Nizhegorodov A.I., Gavrilin A.I., Moyzes B.B., Ditenberg I., Zharkevich O., Zhetessova G., Muravyov O., Bets M. Stand for dynamic tests of technical products in the mode of amplitude-frequency modulation with hydrostatic vibratory drive // Journal of Vibroengineering. – 2016. – vol. 18. –no.6. – P. 3734–3742.
8. Nizhegorodov A.I., Gavrilin A.N., Moyzes B.B. Hydraulic power of vibration test stand with vibration generator based on switching device // Key Engineering Materials. – 2016. – vol. 685. – P. 320–324.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017614049 Российская Федерация. Виброрегистратор-М2 / А.Н. Гаврилин, К.В. Серябряков, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин, Б.Б. Мойзес; заявитель и правообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». – № 2017611112; заявл. 13.02.2017; опубл. 05.04.2017. – 1 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ SCADA TRACE MODE ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЯЧЕЕК КРУЭ

А. С. Нораев, Е.А. Шутов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: asn28@tpu.ru

## AUTOMATION OF GIS OPERATION BY SCADA TRACE MODE

A.S. Noraev, E.A. Shutov

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The article discusses the advantages of developing control system for a gas-insulated switchgear (GIS) in SCADA Trace mode. The main advantage is to save money on designing and programming each cell. The purpose of the work is to design automation circuits, equipment and mnemonic circuits for each individual cell element using editing capabilities of Trace mode program.*

Современные системы управления на основе SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* — диспетчерское управление и сбор данных) являются общепринятым стандартом для большинства промышленных объектов [1]. SCADA системы требуют индивидуальный подход к проектированию, разработке шкафов управления и созданию мнемосхем. К таким промышленным объектам можно отнести элегазовые комплектные распределительные устройства (КРУЭ) [2].

В помещениях распределительных устройств могут находиться десятки ячеек КРУЭ имеющих в своем составе различные типы компонентов в зависимости от функций, предъявляемых к распределению. В таблице 1 приведена спецификация исполнительных элементов линейной ячейки КРУЭ 110 с двойной системы шин. Это наиболее популярная компоновка ячеек. Для нужд распределительной станции также используются модификации в следующем исполнении:

1. Линейная или трансформаторная ячейка с выключателем в цепи присоединения.
2. Секционная ячейка.
3. Шиносоединительная ячейка.
4. Измерительная ячейка.
5. Линейная или трансформаторная ячейка с выключателями на каждую систему сборных шин [3].

Таблица 1 – Исполнительные элементы ячейки КРУЭ 110кВ с двойной системой шин

№	Наименование компонента ячейки	Кол-во,	Эл.мех. устройств а	Тип двигателя	Сигнал управления
1	Отсек сборных шин	2	-	-	-
2	Отсек шинного разъединителя-заземлителя	2	Привод РЗ	Серводвигатель с блоком управления	Цифровой
3	Отсек выключателя с отсеком трансформатора тока (ТТ)	1	Привод В	Пружинный	Аналоговый
4	Отсек линейного разъединителя-заземлителя	1	Привод РЗ	Серводвигатель с блоком управления	Цифровой
5	Отсек изм. трансформатора напряжения (ТН)	1	-	-	-
6	Отсек быстродействующего заземлителя (БЗ)	1	Привод БЗ	Пружинный	Аналоговый
7	Отсек подключения (элегаз-кабель или воздух)	1	-	-	-

Для автоматизации работы ячеек КРУЭ в системе электроснабжения с применением SCADA Trace mode был выполнен ряд задач:

- 1) Составление перечня оборудования контроллеров для приема всех типов



сигналов. Связь между устройствами самой ячейки и устройствами на уровне всего КРУЭ предусмотрена с использованием стандартных протоколов связи МЭК 61850, *Modbus*, *Profibus*. Подключение производится через интерфейсы связи *RS-485* (*RS-232* для *KVM* оборудования), *Ethernet* и радиоканал *GSM*.

- 2) Построена схем автоматизации для описания условий работы ячейки, показано взаимодействие сигналов всех узлов ячейки и требования к блокировкам, определено количество и тип входных и выходных сигналов (*AI*, *AO*, *DI*, *DO*).
- 3) В прикладном ПО *Excel* была составлена конструкторская документация с возможностью динамического редактирования числа и типа контроллеров, мощности ИБП, количества, напряжения и мощности блоков питания.
- 4) В *Trace mode* построена мнемосхема ячейки для каждого отсека (рис.1), с беспрепятственным соединением с другими отсеками, главный экран с обобщенной информацией о состоянии системы электроснабжения, а также предусмотрен экран для мониторинга необходимых параметров каждой ячейки собираемой контроллером.
- 5) Различные виды событий и значений дискретных параметров выделены на экране дисплея различными цветами и изменением вида объекта (Цветовое выделение силовой части цепей под напряжением, размыкание цепи выключателем или разъединителем) [4].

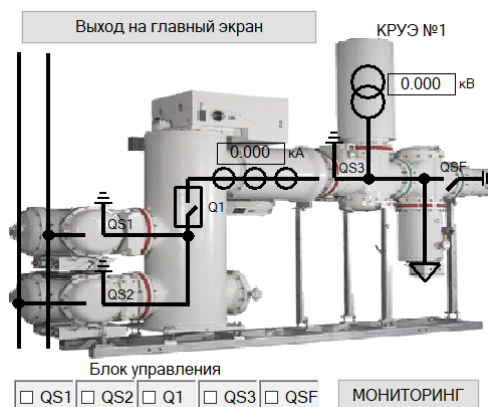


Рис. 1. Экран монитора диспетчерского пульта, реализованного в SCADA для ячейки с двойной системой шин

Таким образом, автоматизация ячейки КРУЭ в *Trace mode* позволило использовать оптимальный подход к проектированию мнемосхем и программированию: использование динамического редактирования, деление мнемосхем на взаимно подключаемые секции, а также создание архивов данных для модификаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SIMATIC SCADA Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrysoftware/automation-software/scada.html> (дата обращения: 15.08.2020).
2. SCADA System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.plcademy.com/scada-system/> (дата обращения: 19.08.2020)
3. СТО 56947007-29.240.35.184-2014 Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией в металлической оболочке (КРУЭ) 110 кВ и выше. Общие технические условия. – Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», 2014. – 78 с.
4. Gas insulated switchgear. General presentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/eventos/power-energy-daycolombia/presentation-gis---cam-august-2016.pdf%3Fsfvrsn%3D2> (дата обращения: 24.08.2020).

## ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ГЕНЕРАТОРА СИЛЬНОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ

А.И. Пушкарев, А.И. Прима

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: aipush@tpu.ru

## MEASURING AND DIAGNOSTIC COMPLEX OF HIGH-CURRENT ELECTRON BEAM GENERATOR

A.I. Pushkarev, A.I. Prima

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** A complex of diagnostic equipment for a pulsed electron beam generator is presented, which provides measurement of the accelerating voltage, the total current of the electron beam and the distribution of the beam energy density across the cross section. The algorithm and results of calculating the energy spectrum of a pulsed electron beam (350-500 keV, 10 kA, 80 ns) are presented. The electron beam spectrum was calculated using the oscillograms of the accelerating voltage, electron current, total current of the diode and the one-dimensional Child-Langmuir (1-D CL) ratio.

Представлен комплекс диагностического оборудования генератора импульсного электронного пучка. На рис. 1 показан диодный узел ускорителя ТЭУ-500 [1] и расположение диагностического оборудования.

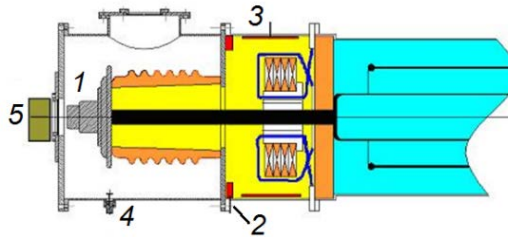


Рис. 1. Схема диодного узла и расположение диагностического оборудования:

1 – катод, 2- пояс Роговского, 3 – емкостный делитель напряжения, 4 – дифференциальный делитель, 5 – цилиндр Фарадея

Измерительно-диагностический комплекс включает емкостной и дифференциальный делители напряжения [2] для измерения ускоряющего напряжения, пояс Роговского для измерения полного тока диодного узла, цилиндр Фарадея для измерения тока электронного пучка и тепловизионную диагностику распределения плотности энергии пучка по сечению [3]. В генераторе используется вакуумный диод с плоским цилиндрическим катодом диаметром 45 мм, выполненным из разных материалов.

Для измерения ускоряющего напряжения разработана конструкция, получены основные расчетные формулы и выполнено тестирование малогабаритного высоковольтного дифференциального делителя напряжения [2]. Получены условия, определяющие корректность использования делителя для измерения наносекундных высоковольтных сигналов. Для восстановления формы измеряемого напряжения необходимо интегрирование сигнала с выхода делителя напряжения. Эксперименты проводили на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500 с параметрами: ускоряющее напряжение 350–500 кВ, длительность импульса на полувысоте 80 нс, длительность фронта < 5 нс, полная энергия электронов в импульсе до 250 Дж. Частота следования импульсов составляла 1–3 импульса/с. Погрешность измерения не превышает  $\pm 10\%$ .

Для оперативного контроля параметров электронного пучка разработана тепловизионная диагностика [3]. Она обеспечивает измерение распределения плотности

энергии электронного пучка по сечению и полной энергии электронного пучка. Диагностика основана на регистрации тепловизором теплового отпечатка электронного пучка в материале с низкой объемной плотностью и низкой теплопроводностью. Тестирование тепловизионной диагностики выполнено на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500. Для регистрации теплового отпечатка использовали тепловизор Fluke-Ti10. Тестирование показало, что чувствительность типового тепловизора обеспечивает регистрацию термограммы импульсного электронного пучка за один импульс с плотностью энергии более  $0.1 \text{ Дж/см}^2$  (или с плотностью тока более  $10 \text{ А/см}^2$  при длительности импульса  $80 \text{ нс}$  и энергии электронов  $400 \text{ кэВ}$ ) с пространственным разрешением  $0,9\text{--}1 \text{ мм}$ . В отличие от методики с использованием радиочувствительных (дозиметрических) материалов [4], тепловизионная диагностика не требует дорогостоящих расходных материалов и много времени на обработку.

Представлен алгоритм и результаты расчета интегрального и дифференциального спектров импульсного пучка электронов. Расчет спектра электронов выполнен по осциллограммам ускоряющего напряжения, электронного тока, полного тока диодного узла и по одномерному соотношению Child-Langmuir (1-D CL). Результаты расчетов показаны на рис.2.

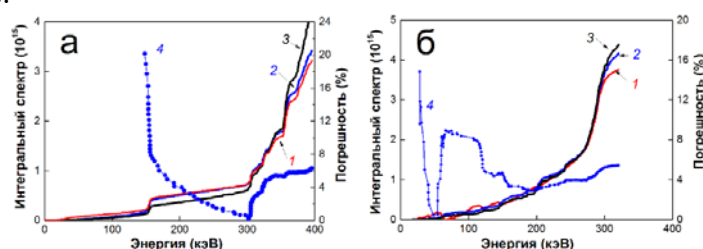


Рис. 2. Интегральный спектр электронов, рассчитанный по электронному току (1), полному току в диодном узле (2) и по 1-D CL (3). Погрешность расчета спектра по полному току (4). Графитовый катод (а) и катод из углеродной ткани (б)

Получено, что расхождение интегральных спектров электронов при измерении по полному току в диоде и по току электронного пучка не превышает 15% для (80-95)% электронов, генерируемых в диоде с катодом из графита, углеродной ткани и многоострийным катодом. При расчете спектра электронов по 1-D CL погрешность значительно выше.

Работа поддержана РФФИ, грант № 19-38-90001.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Isakova Yu., Kholodnaya G., Pushkarev A. Influence of cathode diameter on the operation of a planar diode with an explosive emission cathode // *Advances in High Energy Physics*. – 2011. – vol. 2011. – Article number 649828.
2. Исакова Ю.И., Пушкарёв А.И., Холодная Г.Е. Дифференциальный высоковольтный делитель напряжения // *Приборы и техника эксперимента*. – 2011. – № 2. – С. 39–43.
3. Pushkarev A., Kholodnaya G., Sazonov R., Ponomarev D. Thermal imaging diagnostics of high-current electron beams // *Review of Scientific Instruments*. – 2012. – vol. 83. –no.10. – Article number 103301.
4. Генералова В.В., Гурский М.Н. Дозиметрия в радиационной технологии. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 184 с.

## МЕТОДЫ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДВУХФАЗНОГО СЕПАРАТОРА

А.А. Сидорова, А.И. Васин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: aiv15@tpu.ru

## METHODS OF THE PID CONTROLLER TUNING FOR A HORIZONTAL TWO – PHASE SEPARATOR

A. A. Sidorova, A.I. Vasin

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The integration of automated control systems in the oil and gas industry began long ago, but it is still important to choose a method for configuring the system control algorithm, which is why this article presents a parametric synthesis of the PID controller for the system using one of the most common methods: Ziegler-Nichols, Kuhn, Shedel, and the step method.*

### Введение.

Наиболее часто используемый регулятор – ПИД-регулятор, популярность которого объясняется простотой реализации и использования. На данный момент существует множество методов настройки ПИД-регулятора, однако одни чрезмерно трудоемки, другие не позволяют достичь необходимой точности. Поэтому для объективного анализа сравнения полученных показателей качества будет использоваться один объект.

### Структурная схема объекта.

Схема данной модели будет состоять из двухфазного горизонтального сепаратора, включающего в себя запорный клапан, соединенный с штуцеров выхода нефти и газа. В данной САР уровень нефти является основным регулируемым значением.

Нефть начинает сливаться при открытии клапана, тем самым уменьшая общий уровень жидкости. При достижении критического уровня снизу, клапан закрывается и процесс очистки флюида начинается заново.

Перенесем уровеньмер из обратной связи в прямую и объединим с блоками усилителя, электродвигателя и клапана (рис. 1).

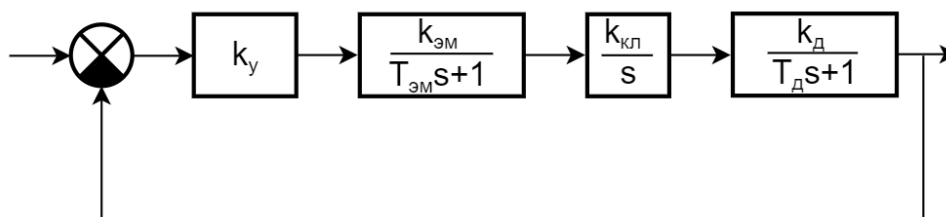


Рис. 1. Операторно-структурная схема системы

### Анализируемые методы настройки.

Для данного объекта управления были выбраны методы настройки: Циглера-Никольса, Куна, Шеделя и метод ступенчатого воздействия (рис. 2–4). Более подробно с теоретической частью названных методов можно ознакомиться в [1].

Для сравнения методов настройки найдем переходный процесс для указанной выше системы с горизонтальным сепаратором (рис.1).

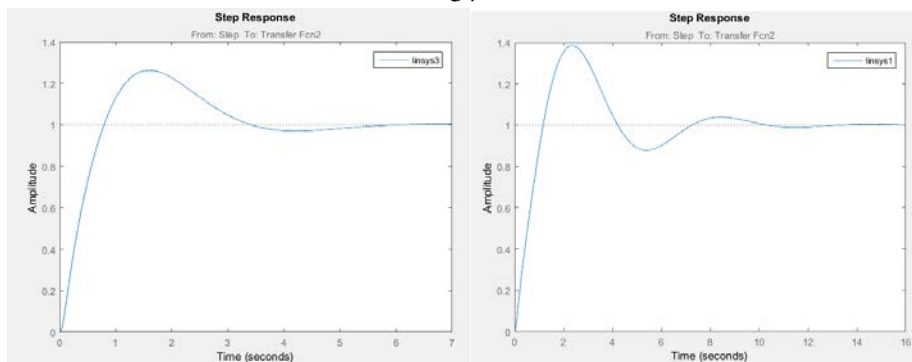


Рис. 2. Переходный процесс при быстрой и нормальной настройке Куна

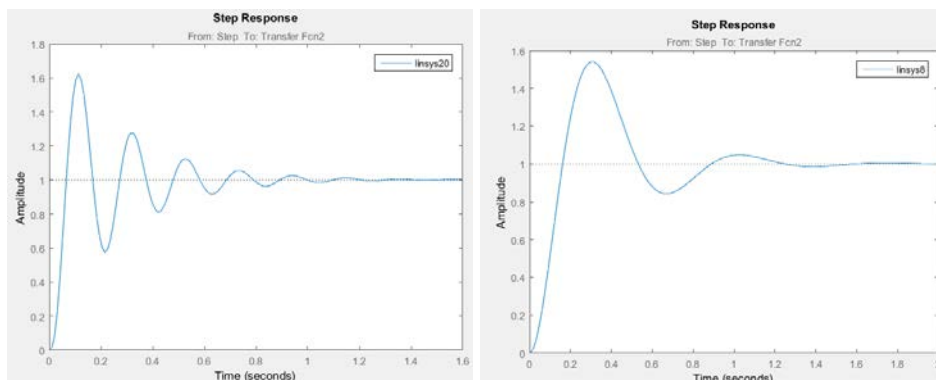


Рис. 3. Переходный процесс при настройке методом Шеделя и Циглера-Никольса

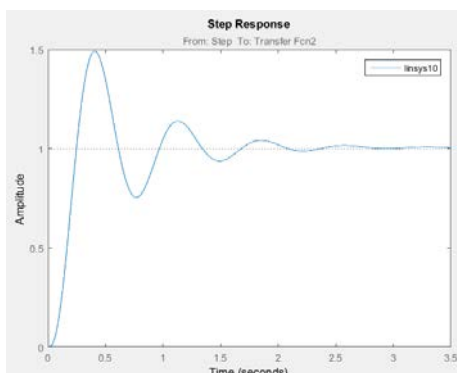


Рис. 4. Переходный процесс при настройке методом ступенчатого воздействия

Для большей наглядности перенесем результаты анализа качества в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение показателей качества для разных методов настройки

Метод настройки	$t_{п.п.}, с$	$\sigma, \%$
Куна (быстрая настройка)	4,9	26,2
Куна (нормальная настройка)	9,51	38,5
Шеделя	0.54	45,3
Циглера-Никольса	1.17	54
Метод ступенчатого воздействия	2	49

Следует заметить, что нефтегазовые процессы разделения эмульсий продолжительны по времени, поэтому следует учитывать, что при подаче сигнала на закрытие или открытие клапана можно пренебречь несколькими секундами, так как за данное время произойдет незначительное разделение углеводородов.

**Заключение.**

В результате работы были рассчитаны коэффициенты ПИД-регулятора для четырех методов. Оценив показатели качества систем при использовании различных параметров, можно сделать вывод, что наиболее подходящим методом настройки для системы управления двухфазным сепаратором является метод Куна. Именно быстрая настройка Куна помогает получить необходимый результат при наименьшем перерегулировании за приемлемое время.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сидорова А.А. Исследование модифицированного метода настройки промышленного ПИД-регулятора // Современные техника и технологии: труды XVIII Международной научно-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Томск, 2012. – С. 15–16.

**РАЗРАБОТКА ХОККЕЙНОГО ТРЕНАЖЕРА «ИМИТАТОР СОПЕРНИКА»**

А.А. Сидорова, М.К. Беликов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: sidorova@tpu.ru

**DEVELOPMENT OF THE RIVAL IMITATOR HOCKEY SIMULATOR**

A. A. Sidorova, M.K. Belikov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This article analyzes hockey simulators, reveals their shortcomings. The study showed that modern simulators are expensive and bulky, as well as the lack of an automated control system in some models. Based on the analysis, a multifunctional hockey simulator has been developed, taking into account the main disadvantages of the considered analogues.*

На данный момент любые автоматизированные тренажеры для хоккея в свободном доступе найти очень тяжело (в единичных экземплярах и под заказ), имеющие высокую стоимость и, как следствие, низкую доступность. Целью данной работы является создание автоматизированного броскового хоккейного тренажера, развивающего реакцию, скорость, точность и качество бросков; позволяющего оттачивать навыки спортсменов.

**Обзор существующих аналогов.**

На рынке хоккейного оборудования предлагают следующие интерактивные тренажеры. Бросковый тренажер, состоящий из мишени, конвейера для сбора шайб, плоской поверхности для скольжения по ней шайбы; катапульты, для подачи снаряда на плоскую поверхность, наклонного конвейера, для транспортировки хоккейных шайб к катапульте [1]. Главным недостатком данного технического решения является его массивность, что, несомненно, затрудняет его использование в ходе тренировочного процесса.

Хоккейная система мишеней [2], состоящая только из мишени и ее держателя. Значительным недостатком данного тренажера является отсутствие автоматизированной системы подачи шайб. Цель, оптимизировать тренировочный процесс хоккеистов с помощью данного тренажера, становится неосуществимой.

Хоккейное тренировочное устройство, состоящее из горизонтальной поверхности, вращающегося рулевого колеса, соединенного с электродвигателем; ramпы для подачи и загрузки шайб, удерживающего множество шайб одновременно, для их последующей подачи на горизонтальную поверхность через определенные интервалы времени [3].

Интерактивные ворота предназначены для развития точности и скорости броска и имеют несколько режимов тренировки [4]. Недостатком данного тренажера является то, что его нельзя использовать вместе с автоматическим устройством подачи шайб.

Существенными недостатками приведенных устройств являются их «громоздкость», шайбы хранятся друг на друге торцевой частью. Из-за этого в бункерах хранится малый запас шайб, который быстро уменьшается в ходе тренировки. В результате, спортсмены тратят лишнее время на сбор и загрузку обратно в устройства. Также стоит отметить, что скорость подачи снарядов на исходную позицию крайне мала, что негативно сказывается на эффективности тренировочного процесса.

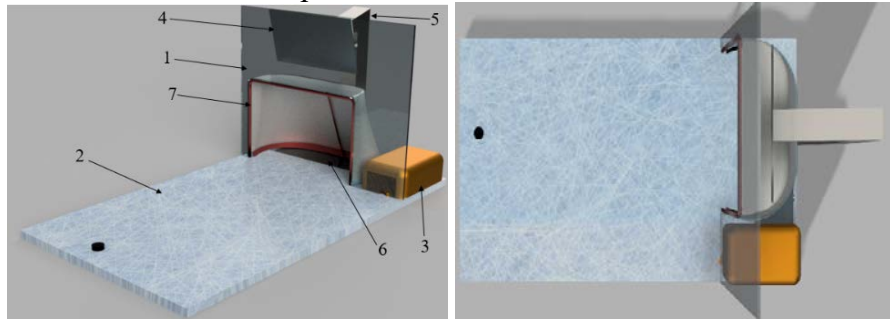
#### **Автоматизированный бросковый хоккейный тренажер.**

Конечный продукт должен предоставлять пользователям следующие возможности: автоматизированная подача шайб на исходную позицию; смена целей для бросков шайбой; подсчет очков при точном попадании по определенной цели; измерение скорости полета шайбы; имитация розыгрыша на точке вбрасывания шайбы; хранение большого количества шайб; выбрасывание шайб друг за другом с минимальным временным интервалом и с наибольшей скоростью полета шайбы.

Предлагается многофункциональный хоккейный тренажер, состоящий из устройства автоматической подачи шайб; четырех интерактивных мишеней со светодиодами, установленными на хоккейные ворота, и платформ для измерения скорости полета шайб, на которой стоит хоккеист во время совершения бросков.

Техническим результатом заявляемого решения является повышение качества тренировочного процесса путем создания возможности автоматизированной стабильной подачи шайб с изменением скорости и угла, повышение эффективности тренировочного процесса за счет сокращения времени потраченного на сбор шайб, возможности анализа и подсчета результатов попадания по воротам с выводом скорости и зоны попадания на экран монитора, возможностью отработки щелчка по воротам и возможностью отбрасывания вратарем при его наличии.

Автоматизированный бросковый хоккейный тренажер, представленный на рис. 1 состоит из хоккейных ворот, синтетического льда, автоматического устройства подачи шайб, стойки и дисплея, конвейерной ленты и защитной панели.



*Рис. 1. Общий вид и вид сверху тренажера*

Рассмотрим поподробнее устройство подачи шайб. В него входит плата управления, два двигателя, как минимум два разгонных колеса, бункер для хранения шайб, состоящий из двух отсеков, толкатель, посредством которого осуществляется выталкивание шайб из бункера, конвейерной лентой, которая подает шайбы с ворот в толкатель и корпус. Стоит также отметить, что шайбы в бункере «лежат» друг на друге основаниями, а не торцевыми частями, что значительно упрощает процесс выталкивания шайб из бункера и делает использование тренажера более удобным. Шайбы могут быть загружены в устройство изначально или после первого броска с помощью конвейера шайба. Внутри размещен блок питания устройства с радиатором и вентилятором, для отвода тепла. У тренажера на выходе, откуда вылетают шайбы, имеется регулятор угла подачи шайб, обеспечивающий броски с разных позиций.

Интерактивные мишени, входящие в состав многофункционального спортивного тренажера, подключаются к автоматическому устройству подачи шайб с помощью проводов. Данные мишени состоят из корпуса, внутренних перегородок и пластиковой

мишени. Внутри корпуса находится светодиодный индикатор и оптический датчик, который реагирует на движение пластиковой мишени в случае попадания. Корпус может быть прикреплен к воротам любым доступным способом.

Данный спортивный тренажер может включать в себя трамплин для подачи паса «с подкидкой», состоящий из основания и ската, закрепленных между собой таким образом, чтобы была возможность, регулировать высоту угла подъема трамплина. Трамплин крепится к окну выдачи шайб автоматического устройства для подачи шайб.

Тренажер пасует спортсмену, задача которого сводится к тому, чтобы отработать шайбу и бросить её в активную мишень. В устройстве можно регулировать скорость подачи шайбы, интервал между шайбами, количество шайб, выдаваемых в серии, а также режим работы мишеней. Все вышеперечисленные параметры задаются на плате управления устройства подачи шайб. При каждом попадании снаряда по подсвеченной мишени, на дисплее показывается скорость полета шайбы и набранные очки. В момент начала выдачи шайбы начинает светиться одна из светодиодных мишеней, включаются разгонные колеса, которые разгоняют шайбу до заданной скорости. Затем толкатель выталкивает шайбу из бункера на скат, по которому она скатывается на разгонные колеса. После того, как толкатель вытолкнул шайбу, шайба попадает на скат и за счет полученного толчка, и под действием силы тяжести скатывается по скату к разгонным колесам. После этого снаряд попадает на поверхность, где совершается бросок. Оптический датчик регистрирует совершение броска и с этого момента начинается отсчет времени преодоления снарядом расстояния от точки совершения броска до ворот. Расчетным методом вычисляется скорость полета шайбы и выводится на дисплей. Попадание в мишень также фиксируется оптическим датчиком, который улавливает отражения от пластиковой пластины мишени, оказавшейся в зоне действия датчика. По завершению серии бросков на дисплее высвечивается количество набранных баллов и самая быстрая скорость полета шайбы в серии.

#### **Заключение.**

Рассмотрены современные существующие интерактивные тренажеры, выявлены их отличительные черты и недостатки. На основе данного анализа был предложен многофункциональный хоккейный тренажер, который нивелирует основные недостатки рассмотренных аналогов. Помимо этого, был произведен предпроектный анализ с целью определения сильных и слабых сторон, а также потенциальных потребителей конечного продукта. В дальнейшем планируется реализация прототипа данного устройства, доработка и устранение недочетов с целью внедрения тренажера в рынок спортивного инвентаря.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пат. 190570 Российская Федерация, МПК А 63 В 47/02. Бросковый тренажер / А.Ш. Папикян. — № 2019113539; заявл. 06.05.2019; опубл. 04.07.2019, Бюл. № 19. — 7 с.
2. Пат. 160 756 Российская Федерация, МПК А 63 В 69/00. Бросковый тренажер / Д.Л. Лосев. — № 2015116134/12; заявл. 29.04.2015; опубл. 27.03.2017, Бюл. № 9. — 4 с.
3. Пат. 2714770 Российская Федерация, МПК А 63 В 69/40. Многофункциональный хоккейный тренажер / А.М. Костромин. — № 2019129152; заявл. 17.09.2019; опубл. 19.02.2020, Бюл. № 6. — 4 с.
4. Пат. 2007122360 Российская Федерация, МПК А 63 В 69/00. Тренажер для тренировки, преимущественно спортсменов, и блок управления тренажером / Л.В. Жестянников, Л.Б. Гутман, В.М. Зыков. — № 2007122442/22; заявл. 30.05.2007; опубл. 20.12.2008, Бюл. № 33. — 5 с.



**МАКЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЗАКАЗНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЫ**

И. Мухамад, И.А. Ботыгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: ibragim1@tpu.ru

**LAYOUT OF GOVERNMENT REGISTERED ELECTRONIC MAIL SERVICE**

I. Mouhamad, I.A. Botygin

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This paper presents design and implement a system to exchange electronic mail securely between government officials. Governmental emails exchanging requires high level of security and reliability, encryption can prevent information manipulation, digital signature provides authenticity, and the delivery receipt proves that the user received the message.*

В настоящее время очень важно, чтобы обмен информацией между государственными службами реализовывался в электронном виде. Но сервис электронной почты должен предоставляться с высоким уровнем доверия, безопасности и надежности. Государственный служащий при получении сообщения не должен иметь никаких подозрений относительно источника сообщения или возможности его модификации. Должен быть предусмотрен механизм, позволяющий убедиться в том, что сообщение дошло до адресата и обеспечивающий невозможность отказа в его получении.

Электронная подпись является важным элементом безопасности, которая может использоваться для защиты электронных документов и доказательства их подлинности [1]. А документы о доставке сообщения адресату и прочтении получателем сообщения, выданные третьей стороной, которой полностью доверяют отправитель и получатель, обеспечивают дополнительную надежность сервиса электронной почты [2].

Макет государственной заказной электронной почты был реализован в операционной системе CentOS Linux, работающей на виртуальной машине. Были установлены и настроены на совместную работу необходимые компоненты: агент передачи почты (Postfix) [3], IMAP-протокол и POP3-сервер (Dovecot) [4–6] и корпоративный веб-интерфейс к почте (Horde Groupware Webmail Edition) [7, 8], содержащий три компонента (groupware-сервер – календарь, управление задачами и заметками, компонент доступа к почте через браузер и адресную книгу).

В целом, сформирована конфигурация интегрированной электронной почты, обеспечивающая безопасный механизм обмена электронной почтой с использованием технологий шифрования и электронной подписи, позволяющая пользователю просматривать свои сообщения, отправлять сообщения, подписанные электронным способом, и запрашивать документы о доставке через Интернет с использованием Horde Groupware Webmail Edition. Таким образом, был достигнут требуемый уровень безопасности и надежности в процессе обмена электронными сообщениями.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Gladman B., Ellison C., Bohm N. Digital signatures, certificates and electronic commerce [Electronic resource]. – Access mode: <https://cryptome.org/jya/bg/digsig.pdf> (date of access: 10.10.2020).
2. Moore K. Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) Service Extension for Delivery Status Notifications (DSNs) [Electronic resource]. – Access mode: <https://tools.ietf.org/html/rfc3461> (date of access: 10.10.2020).
3. The Postfix Home Page // Postfix [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.postfix.org/> (date of access: 10.10.2020).
4. Семенов Ю.А. Протокол Интернет для работы с сообщениями IMAP // Телекоммуникационные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://book.itperf.ru/4/44/imap4443.htm> (дата обращения: 10.09.2020).

5. The Secure IMAP server // Dovecot [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.dovecot.org/> (date of access: 10.10.2020).
6. Пошаговая инструкция установки Postfix и Dovecot на Ubuntu [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://1cloud.ru/help/linux/postfix-dovecot-na-ubuntu> (дата обращения: 10.09.2020).
7. Установка Horde Groupware Webmail Edition // Портал студенческих и научных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ozlib.com/822401/informatika/ustanovka\\_horde\\_groupware\\_webmail\\_edition](https://ozlib.com/822401/informatika/ustanovka_horde_groupware_webmail_edition) (дата обращения: 10.09.2020).
8. Horde Groupware Webmail Edition // Horde [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.horde.org/apps/webmail> (date of access: 10.10.2020).

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧИЙ ДУБЛИРОВАННЫХ МЕДИАМАТЕРИАЛОВ В БИБЛИОТЕКЕ ФОТОГРАФИЙ

В. Н. Марков  
Университет Иннополис  
E-mail: v.markov@innopolis.ru

## ALGORITHM FOR DETERMINING DIFFERENCES BETWEEN DUPLICATE MEDIA MATERIALS IN A PHOTO LIBRARY

V.N. Markov  
Innopolis University

***Annotation.** The author pays attention to photo image processing. The article deals with the problem of comparing two identical photos in a large library of media materials. An algorithm of converting photo images to a numeric value is described, which allows detecting duplicate images on your hard disk.*

В данной работе рассмотрен актуальный в настоящее время вопрос обработки фотографий. Непрерывный поток информации, который человек получает в современном цифровом обществе, определил его желание зафиксировать и сохранить важные моменты собственной жизни в фотографиях. Возможности цифровой обработки таких изображений безграничны, в отличие от объема памяти на персональном жестком диске, куда рано или поздно пользователь сохраняет свои личные фото воспоминания, представленные большим количеством медиаматериала. Стоит отметить, что актуальность вопроса определена, прежде всего, потребностью человека сохранить в цифровом виде как можно больше материала «на память». Несомненно, со временем пользователь понимает, что многие фотоизображения в личных медиабibliothек дублируются. Становится важным, проверить, например, минимум две фотографии на идентичность, сравнить их, найти отличия и, наконец, определив факт разницы, удалить повторяющиеся.

Существуют бесплатные онлайн инструменты для сравнения изображений и программы по автоматическому поиску отличий в картинках. Но, как правило, такие программы не рассчитаны на большое число фотографий: для анализа десятков и сотен тысяч фотографий они бесполезны, а количество изображений в личном архиве обычно свыше 100 штук. При разработке решения автор уделил особое внимание возможностям выявления и сопоставления большого количества похожих изображений, что позволит удалять идентичные фотографии, оптимизируя тем самым имеющиеся объемы данных на жестком диске. Программа была протестирована на личной библиотеке, состоящей из более, чем 50000 фотографий.

Стоит отметить, что фотографии могут отличаться форматами файлов (GIF, JPEG, TIFF и т.п.), размерами (640×480, 800×600, ...), небольшим смещением и/или поворотом

(неизбежными, например, при сканировании) или иметь изменения цветовых составляющих [1]. Таким образом, программа должна уметь обрабатывать все указанные выше случаи.

Автор статьи представляет эффективную методику алгоритмического расчета для осуществления возможности автоматизированного поиска и сопоставления фотоматериалов и удаления дубликатов. Предлагаемый метод устойчив к поворотам фотографии на углы, кратные  $90^\circ$ , небольшому изменению ракурса съемки, небольшому изменению объектов в кадре, шуму и даже к небольшой цветокоррекции. Скорость работы данного метода достаточно высока, а саму программу можно адаптировать для работы в многопоточном режиме. Так, автору, на анализ всех фотографий (без учета их «выгрузки» с сервера по локальной сети) потребовалось около 90 минут в однопоточном режиме на процессоре i3 2-го поколения.

Ниже приведены основные этапы работы.

I этап: анализ всех фотографий для выявления значимых признаков (составление хэша картинки).

II этап: попарное сравнение всех выявленных признаков для нахождения фотографий с одинаковыми наборами признаков.

На первом этапе необходимо «собрать» с фотографии как можно более значимые признаки. Известно, что большая фотография содержит много высоких частот (шума), а маленькая картинка целиком состоит из низких. Процент полезной информации, которую можно было бы использовать для описания картинки, на высоких частотах крайне мал, что делает их практически бесполезными в нашей работе. Самый быстрый способ избавиться от высоких частот (шума) – уменьшить изображение [2], поэтому в зависимости от поставленной задачи, уменьшаем картинку до определенного размера. Для поиска похожих фотографий, снятых серией, мы рекомендуем размер  $15 \times 15$  пикселей, либо  $11 \times 11$  пикселей. В нашей работе для поиска дубликатов фотографий мы уменьшали картинку до  $25 \times 25$  пикселей, что позволило сохранить чуть больше деталей, не нарушая при этом плотности информации и одновременно при этом решая проблему с разными отношениями сторон картинки.

Опираясь на ключевые принципы сжатия изображений (значение одного пикселя определяет значения соседних пикселей), оставляем в каждой строке и столбце каждый 5-ый пиксель, достигая тем самым равномерного распределения информации [3]. Итак, у нас остается 25 RGB пикселей, содержащих «чистую» информацию, т.е. 75 байт на картинку ( $5$  ширина  $\times$   $5$  высота  $\times$   $3$  канала), при этом достигнута большая плотность. Очевидные большие затраты времени на открытие фотографий большого объема определили деление процесса сравнения на 2 этапа:

1. Считываем фотографии по очереди (автор делал это в 4 потока) и для каждой фотографии генерируем 75 чисел.

2. Проводим анализ полученных чисел по следующему алгоритму:

а) загружаем информацию обо всех картинках (наборы из 75 чисел) в оперативную память;

б) расширяем этот массив путем добавления в него перевернутых изображений (90 градусов, 180 градусов, 270 градусов);

в) для ускорения поиска создаем двухмерный массив `odata`  $256$  на  $256$  элементов. Проходим по всем элементам массива `data` и добавляем в массив `odata` на позицию (`data[i][0]`, `data[i][10]`) индекс  $i$ . Это позволит значительно ограничить диапазон дальнейшего поиска. Отметим, `data[i]` сравниваем с `data[j]` только в случае, если  $j > i$ .

3. Все найденные совпадения добавляем в массив с совпадениями.

На наш взгляд, обработка изображений и их сравнение – очень широкое поле деятельности. Представленная методика и инструмент для поиска одинаковых фотографий будут одинаково полезны как профессионалам, занимающимся экспертизой

цифровых фотографий и работающим с гигантскими архивами изображений, так и простым пользователям компьютера.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ImageDupelessTutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imagedupeless.com/ru/about.html> (дата обращения 15.04.20).
2. Учебное пособие по курсу «Компьютерная обработка изображений» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://aco.ifmo.ru/el\\_books/image\\_processing/3\\_04.html](http://aco.ifmo.ru/el_books/image_processing/3_04.html) (дата обращения 5.03.20).
3. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.

### ПРИМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЛИПСА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО ДАННЫМ С МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ДАТЧИКА

Ю.В. Шульгина, О.Ю. Терентьева, Е.М. Шульгин, М.А. Костина  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: shulgina@tpu.ru

### APPLICATION OF ELLIPSE PROPERTIES WHEN CONSTRUCTING AN OBJECT IMAGE BASED ON DATA FROM A MULTI-ELEMENT SENSOR

Yu. V. Shulgina, O. Yu. Terentyeva, E. M. Shulgin, M. A. Kostina  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article presents a method based on the ellipse phenomenon that makes it possible to reduce the amount of data transmitted from the data receiving and preprocessing unit to a personal computer, as well as the amount of digitized information and the time of its processing. The developed data processing algorithm for a system with a multi-element sensor was tested in MatLab software package. The block diagram and data processing algorithm for the practical implementation of FPGA have been developed. The amount of digitized information has been reduced by more than 10 times.*

В настоящее время ультразвуковой неразрушающий контроль вышел на новый этап развития. Возможность получения трехмерного изображения объекта контроля с высокой скоростью сканирования в режиме реального времени появляется благодаря использованию многоэлементных датчиков [1]. В последнее время метод *sampling phased array* (SPA), разработанный в *Fraunhofer Institute of nondestructive testing* (Germany), активно используется для зондирования и построения изображения объекта контроля. Суть этого метода заключается в поочередном возбуждении элементов, входящих в состав датчика, и параллельном приеме сигналов всеми элементами. Полученные ультразвуковые сигналы сохраняются для каждого элемента и служат исходными данными для 2D и 3D визуализации объекта контроля. Таким образом, даже после одного цикла передачи и приема могут быть реализованы все углы распространения ультразвуковых сигналов на всю глубину зондирования, что позволит воспроизвести изображение среза исследуемого объекта. Поскольку фокусировка ультразвукового луча осуществляется не физически, а при обработке принятых данных, то большая скорость сканирования может быть достигнута [2–5].

Сложность разработки устройств, содержащих многоэлементные датчики, состоит в необходимости передачи и обработки большого объема данных, поэтому сокращение объема записываемой и передаваемой информации является актуальной задачей. С увеличением количества элементов антенной решетки возрастает сложность системы и количество передаваемой по каналу информации. Реализация преобразования аналогового сигнала с акустического датчика в цифровую последовательность с различным шагом дискретизации позволяет существенно сократить количество

передаваемой информации на персональный компьютер или устройство отображения, а также сократить время обработки данных.

Сканируемая область объекта контроля, находящаяся под решеткой, определяется расстоянием между соседними излучающими элементами, диаграммой направленности решетки и частотой ультразвукового сигнала.

Записанные амплитуды сигнала в дискретные моменты времени (А-сканы) для всех комбинаций источник/приемник используются при построении изображения. По рассчитанному времени распространения сигнала до текущей расчетной точки объекта контроля производится выборка требуемых амплитуд из каждого А-скана. Сумма амплитуд для точки из всех А-сканов и интерпретируется как ее изображение.

Задавать расчетную точку объекта контроля удобнее по ее координатам на плоскости  $N_{(x,y)}$ . Для обработки одного из записанных А-сканов с номером излучателя  $N_e$  и номером приемника  $N_r$  рассчитывается время распространения ультразвука от излучателя до приемника через расчетную точку.

$$t_{N(x,y)\Sigma} = t_{ERN(x,y)} + t_{REN(x,y)}$$

где  $t_{ERN(x,y)}$  – время распространения ультразвука от излучателя до точки  $j$ ;  $t_{REN(x,y)}$  – время распространения ультразвука от точки  $j$  до приемника.

Для формирования томографического изображения объекта контроля необходимо большое время постобработки, связанное с большим количеством определений дистанций приемов и передач пьезопреобразователями через каждую точку цифровой фокусировки ультразвукового сигнала. Например, для построения томографического изображения внутренней структуры объекта контроля размером  $100 \times 100$  точек фокусировки ультразвукового сигнала и использовании антенной решетки из 16 пьезопреобразователей необходимо определить 2 560 000 дистанций [6].

Для реализации предлагаемого алгоритма обработки необходимо разделить сканируемую область объекта контроля на отдельные точки сканирования. При этом между соседними датчиками должно помещаться одинаковое количество сканируемых точек.

Суть сокращения временной матрицы заключается в том, что ультразвук распространяется радиально, следовательно, для любой пары источник/приемник будет совокупность точек, находящихся на одинаковых расстояниях. Эти точки будут лежать на эллипсе, как показано на рис. 1. При этом выбранные излучатель и приемник будут находиться в фокусах эллипса. Расстояние между излучателем и приемником будет определять фокальное расстояние. Малая полуось эллипса будет определять глубину зондирования.

Хранить информацию об амплитуде сигнала можно только для точек, которые являются малым радиусом эллипса. При этом можно проводить аналого-цифровое преобразование принятого сигнала только в фиксированные моменты времени, соответствующие расстоянию равному малой оси (рис. 2).

Равноудаленные для заданной комбинации источника и приемника точки лежат на линии эллипса, следовательно, разбив изображение объекта контроля не на точки, а на сектора эллипса, можно делать выборку амплитуд из памяти А-скана только для точек, находящихся на равном расстоянии от центров эллипса.

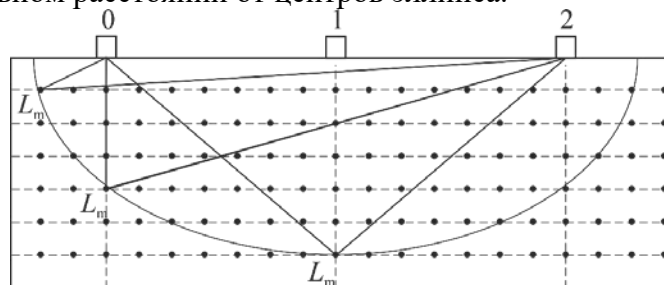


Рис. 1. Определение равноудаленных точек

В результате будем иметь матрицу-столбец, которая уже в блоке обработки изображения будет достраиваться до полной картины объекта контроля.

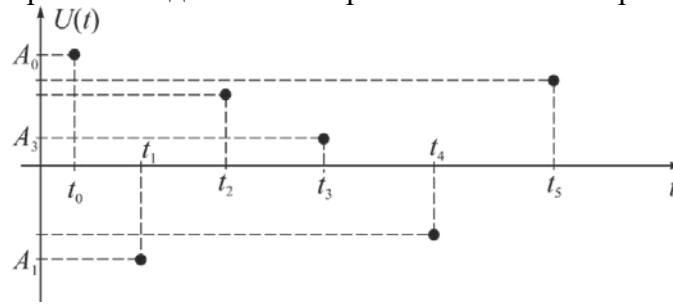


Рис. 2. Дискретизация принятого сигнала

Для системы хранения данных применение свойств эллипса является очень удобным, также снижается кратно нагрузка на передающий канал, однако требуется разработка блока построения изображения, реализующего алгоритм вычисления координат точек, находящихся на линии эллипса.

При применении классического метода для исследуемого объекта для реализации всех углов распространения акустического сигнала для выбранного разрешения требуется запись 7818 точек А-скана, а при применении метода эллипсов – 500. Размер памяти для хранения одного А-скана уменьшится в 15,5 раза.

Количество точек А-скана значительно влияет на время обработки данных. Количество тактов на один цикл работы АЦП при обработке одного А-скана с использованием метода эллипсов уменьшилось в 15,5 раз, следовательно, можно применять АЦП, работающие на меньшей частоте без потери качества изображения.

При этом существенно сокращается информация, которая будет передаваться на систему отображения или персональный компьютер. Нагрузка на информационный канал с реализацией предварительной обработки в программируемой логической матрице уменьшится в  $N^2$  раз, где  $N$  – количество излучателей в датчике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 4: в 3 кн. Кн. 1: В.А. Анисимов, Б.И. Каторгин, А.Н. Куценко и др. Акустическая тензометрия. Кн. 2: Г.С. Шелихов. Магнитопорошковый метод контроля. Кн. 3: М.В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.
2. Ультразвуковой контроль: дефектоскопы, нормативные, документы, стандарты по УЗК / Составитель В.А. Троицкий. – К.: Феникс, 2006. – 224 с.
3. Li M., Hayward G. Ultrasound nondestructive evaluation (NDE) imaging with transducer arrays and adaptive processing // Sensors. – 2012. – vol.12. – no.1. – P.42–54.
4. Manjula K. and el al. Ultrasonic time of flight diffraction technique for weld defects: A review // Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol. – vol.4. – no.24. – P.5525–5533.
5. Hopkins D. and et al. Advanced phased array technologies for ultrasonic inspection of complex composite parts. Available at: [https://www.ndt.net/article/ndtcanada2011/papers/109\\_Hopkins.pdf](https://www.ndt.net/article/ndtcanada2011/papers/109_Hopkins.pdf)
6. Shulgina Yu. V. and et al. Method of processing data of acoustic array// Materials Science Forum Scientific Journal. –2019. –vol. 970. –P. 242–249.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ СО СМЕЖНЫМИ СИСТЕМАМИ И УСТРОЙСТВАМИ НА ПРИМЕРЕ «ХИМИК-АНАЛИТИК»

К.А. Лемешонок, Ф.В. Саврасов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: kal9@tpu.ru

## ORGANIZATION OF DATA INTEGRATION PROCESSES WITH ADJACENT SYSTEMS AND DEVICES ON THE EXAMPLE OF THE "KHIMICK-ANALYTIC"

K.A. Lemeshonok, F.V. Savrasov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** Nowadays, in chemical industry there is a lot of enterprises that need flexible and customizable electronic document management systems. An example of this system, with a description of its main modules and functionality, is considered in this paper.*

Современное производство характеризуется наличием самых разнообразных потоков информации, и управление данными потоками входит в число ключевых факторов успешного развития любого предприятия. К настоящему времени уже не осталось предприятий, на которых управление информационными потоками не было бы в той или иной степени автоматизировано.

Главные задачи промышленных аналитических лабораторий – это контроль соответствия определяемых компонентов продукции нормативам, улучшение качества выпускаемой продукции и состояния окружающей среды. Лаборатории проводят испытания с использованием нормативно-методической документации и доводят до сведения потребителей информацию о результатах анализа в виде протоколов, паспортов и иных отчетных документов.

Исходя из поставленных перед лабораторией задач, возникает необходимость в работе с большим потоком исходной информации (планирование, пробоотбор, проведение испытаний, оформление результатов). Чем быстрее и достовернее лаборатория будет обрабатывать этот поток данных и передавать полученные результаты, тем более эффективной будет работа всего предприятия.

Существует целый класс специализированных программных продуктов, направленных на автоматизации деятельности лаборатории и служб качества – лабораторно-информационные системы (ЛИС). Одной из систем указанного класса является ЛИС «Химик-Аналитик» [1].

ЛИС «Химик-аналитик» включает в свой состав большое количество блоков, основными являются справочники, лабораторные журналы и отчетные документы.

Однако, как и любая другая система, ЛИС должен поддерживать возможность интеграции с другими внешними системами и устройствами для обеспечения процессов автоматической синхронизации и обмена информацией. Так как существует огромное количество различных систем и устройств, используемых в рамках одной аналитической лаборатории, то невозможно обобщить процесс интеграции и разработать шаблонные процедуры.

Отсюда возникает необходимость в построении веб-сервиса [2], который бы обеспечивал централизованный доступ к ЛИС «Химик-аналитик» и покрывал все возможные задачи по интеграции с внешними системами, а также удовлетворял следующим требованиям:

- создание и настройка гибких интеграционных сценариев;
- возможность исполнения интеграционных сценариев;
- разграничение прав пользователей;
- планирование исполнения интеграционных сценариев по времени;

- кроссбраузерность;
- минимальное количество процессорной обработки на стороне клиента.

На основе данных требований была спроектирована структура сервиса, представленная на рис.1.

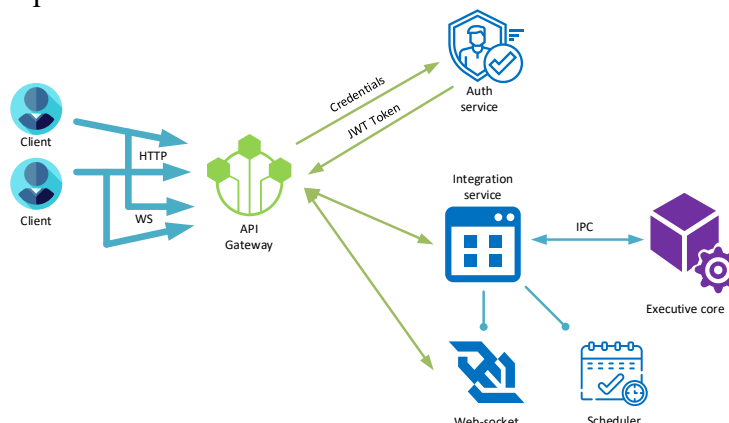


Рис. 1. Абстрактная схема интеграционного сервиса ЛИС «Химик-аналитик»

В целом весь сервис можно разделить на два основных микросервиса, общую точку входа, и клиентскую часть.

Первым микросервисом является интеграционный сервис. Данный сервис отвечает за работу с клиентом, предоставляя ему механизмы доступа к списку доступных сценариев, возможности управление расписанием, возможность загрузки пользовательских файлов. Одна из основных задач данного сервера – предоставление пользователю инструментов для управления задачами и расписанием.

Помимо этого, интеграционный сервис включает в себя следующие составные части и функционал:

- Исполнительное ядро – это основа всей платформы, которая обеспечивает выполнение заранее разработанных сценариев и позволяет гибко и тонко настраивать процессы интеграции. В основе ядра лежит три основные части: модуль для общения с веб-сервером посредством IPC, модуль для взаимодействия с базой данных, модуль для взаимодействия с ядром ЛИС «Химик-аналитик». Данное ядро является расширяемым посредством разработки нативных модулей.
- Веб-сокеты, через которые клиент взаимодействует с исполнительным ядром в процессе выполнения интеграционного сценария;
- Планировщик задач – модуль, позволяющий выполнять задачи по заданному пользователем расписанию в фоновом режиме.

Вторым микросервисом является сервис аутентификации. Данный сервис отвечает за аутентификацию клиента по его идентификационным данным и разграничение прав пользователей.

Общая точка входа выступает в роли прокси-сервера для распределения запросов по необходимым сервисам.

В совокупности, спроектированный сервис полностью удовлетворяет потребности аналитических лабораторий в интеграционных работах смежных информационных систем, при этом имеется возможность расширения имеющегося функционала, поскольку исполняемые сценарии прозрачны для модернизации или разработки новых функций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация процессов количественного химического анализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chemsoft.ru/> (дата обращения: 05.10.2020).
2. Koch N. et al. Integration of business processes in web application models // Journal of Web Engineering. – 2004. – vol. 3. –no.1. – P. 22–49.



# СЕГМЕНТАЦИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

О.М. Гергет

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: gerget@tpu.ru

## MULTI-MODAL IMAGE SEGMENTATION BASED ON MACHINE LEARNING METHODS

O.M. Gerget

Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The purpose of this article is to introduce clustering algorithms and apply clustering methods to solve the problem of segmentation of medical images.*

Машинное обучение является одним из классов искусственного интеллекта. Его характерная черта заключается в том, что алгоритмы машинного обучения получают данные и обучаются на них, а не решают задачу напрямую. Сегодня данная технология является одним из наиболее перспективных инструментов для многих сфер деятельности: промышленность, медицина, бизнес и т.д. Примерами использования методов машинного обучения, в частности в медицине, являются: компьютерное обнаружение/диагностика; реконструкция медицинских изображений; мультимодальное слияние изображений; анализ изображений.

В данной статье рассмотрим возможность сегментации мультимодальных изображений МРТ головного мозга на основе методов машинного обучения. Исходные данные – изображения, полученные с помощью МРТ симулятора (BrainWeb [1]), представляют из себя трёхмерные мультимодальные изображения МРТ головного мозга с размером вокселя  $1 \times 1 \times 1$  мм и 5% шумом. Одно трёхмерное изображение имеет размер  $181 \times 217 \times 181$ .

Решение задачи сегментации тканей головного мозга осуществлялось с помощью алгоритмов кластеризации. В настоящее время существует большое разнообразие алгоритмов, среди которых алгоритм k-means [2], алгоритм mean-shift [3], алгоритм fuzzy c-means [4], иерархическая кластеризация [5], алгоритм DBSCAN [6], кластеризация на основании гауссовой смеси распределений (GMM) [7]. Однако, в качестве примера в статье приведем результаты работы алгоритма GMM (1.).

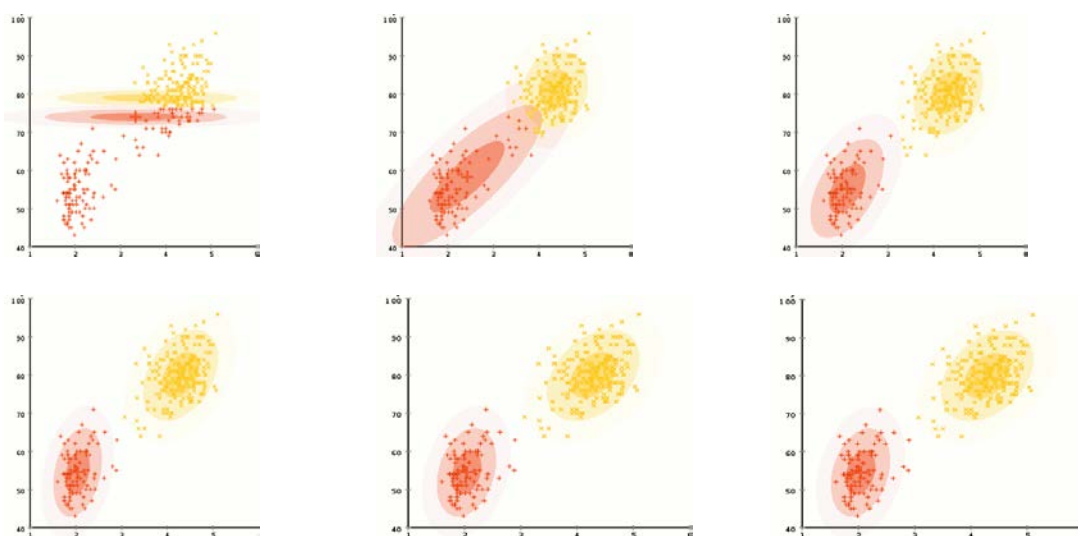
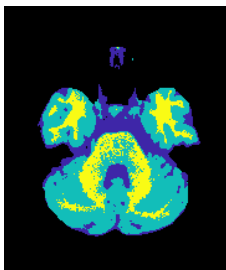


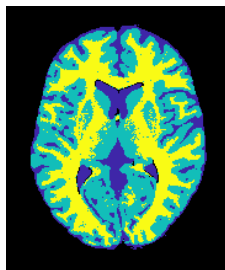
Рис. 1. Алгоритм кластеризации GMM

Выполнив сегментацию на основании кластеризации методом GMM, точность работы алгоритма на тестовых данных составила 95.9%. Визуализация результатов кластеризации, на основе которой проведено сравнение эталонной разметки и полученной сегментации, представлена на рис. 2.

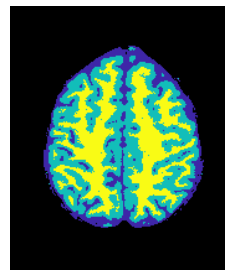
40 слайс



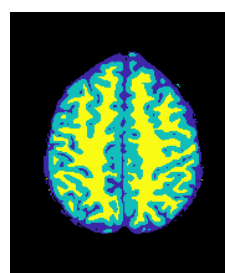
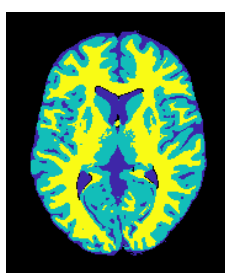
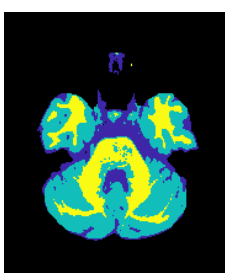
80 слайс



120 слайс



(а) Результат сегментации



(б) Эталонная разметка

*Рис. 2. Сегментация тканей мозга на основании алгоритма GMM и эталонная разметка из репозитория BrainWeb*

Дополнительно для проверки качества работы алгоритма была получена матрица ошибок, которая отражает насколько точно алгоритм сегментирует каждый тип ткани. Таким образом, точность сегментации спинномозговой жидкости составила 99.0%. В свою очередь, точность сегментации для серого и белого веществ – 94.8% и 89.9% соответственно.

В данной статье рассмотрена возможность сегментации мультимодальных изображений МРТ головного мозга на основе одного из методов машинного обучения: кластеризация на основании гауссовой смеси распределений (GMM). Точность работы алгоритма на тестовых данных составила 95.9%, что является достаточно высоким показателем. Отметим, что подобный тип кластеризации и визуализации тканей мозга полезен в медицинских исследованиях, связанных с болезнью Альцгеймера и оценкой потери серого вещества.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Cocosco C., Kollokian V, Remi K., Kwan S, Pike G., Evans A. BrainWeb: Online Interface to a 3D MRI Simulated Brain Database// 3-rd International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, Copenhagen, May 1997. – 1997. – vol.5. – no.4. – P. 427–430.
2. Wilkin G.A., Huang X. K-Means Clustering Algorithms: Implementation and Comparison // Second International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS): proceedings of the International Conference. – 2007. – P. 133–136.
3. Comaniciu D., Meer P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 2002. –vol. 24. –no.5. – P. 603–619.
4. Bezdek J.C., Ehrlich R., Full W. FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm // Comput.

- Geosci. – 1984. –vol. 10 – no.2–3. – P. 191–203.
5. Johnson S.C. Hierarchical clustering schemes // Psychometrika. – 1967. – vol. 32. – P. 241–254.
  6. Whye Teh Y. and et al. Sharing clusters among related groups: Hierarchical Dirichlet processes // Neural Information Processing Systems (NIPS): Proceedings of the 17th International Conference. – 2004.–P.1385–1392.
  7. Ester M., Kriegel H. P., Sander J., Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // Psychometrika. – 1967. – vol. 32.– no. 3. – P. 241–254.
  8. Biernacki C., Celeux G., Govaert G. Assessing a mixture model for clustering with the integrated completed likelihood // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 2000. – vol. 22, no.7. – P. 719–725.52.

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МАГНЕТРОННЫХ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ  
СИСТЕМ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ОСАЖДЕНИЯ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Г.А. Блейхер, В.П. Кривобоков, А.В. Юрьева  
Томский политехнический университет  
E-mail: bga@tpu.ru

**ANALYSIS OF THE CAPABILITIES OF MAGNETRON SPUTTERING SYSTEMS  
FOR HIGH-RATE DEPOSITION OF FUNCTIONAL COATINGS**

G.A. Bleykher, V.P.Krivobokov, A.V. Yuryeva  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The mechanisms leading to a noticeable increase in the rate of the surface erosion of liquid metal targets sputtered in the plasma of magnetron sputtering systems are studied. Experimental studies of the growth rate of metal coatings during the operation of magnetrons with liquid-phase targets have been carried out. The calculated results and experimental data are in good agreement, which indicates the correctness of the formulated physical concepts and the obtained regularities.*

В настоящее время для осаждения тонких наноструктурных (модифицирующих) покрытий на поверхность материалов широко используются магнетронные распылительные системы (МРС). Они приобрели значительную популярность за счёт того, что обеспечивают хорошее качество и большое разнообразие функциональных свойств осаждаемых покрытий. Однако достигнутые показатели производительности технологических процессов при их использовании часто не удовлетворяют потребности промышленного производства. В частности, для МРС на постоянном токе применительно к металлам она составляет 1...10 нм/с, а при получении покрытий сложного состава – ещё меньше. Поэтому нужны новые способы (в том числе путём включения дополнительных механизмов) повышения скорости роста покрытий при одновременном обеспечении их эксплуатационных свойств.

Скорость осаждения покрытий определяется в первую очередь скоростью эмиссии атомов с поверхности мишени (или скоростью эрозии). Её повышение только за счёт столкновительного распыления, что в настоящее время, как правило, используется, исчерпало себя. Необходимо включение механизма испарения. За счёт того, что скорость испарения нелинейно (практически экспоненциально) возрастает с увеличением температуры поверхности, можно добиться очень высокой интенсивности удаления атомов с поверхности мишени. Таким образом, один из способов повысить скорость роста покрытий – создание условий, при которых будет возникать испарение.

Механизм испарения может быть запущен разными методами. Например, он реализуется при работе магнетронных распылительных систем с жидкофазными мишенями. Вещество мишени расплавляется за счёт того, что создаётся теплоизоляция её от остальных элементов катодного узла и магнитной системы, которые должны охлаждаться в процессе работы МРС. Тепловая энергия, которая выделяется в мишени под действием плазмы, остается в ней. При определённых условиях её оказывается достаточно для расплавления вещества мишени и создания интенсивного испарения на её поверхности.

Другой возможный способ создания испарения – повышение плотности тока ионов плазмы МРС, бомбардирующей поверхность мишени и переносящих ей основную долю энергии, вкладываемой в разряд. Он может быть реализован при работе сильноточных импульсных магнетронных систем, а также при использовании ассистирующего ионного пучка, действие которого усиливает процессы ионизации в плазме магнетронного диода.

Цель исследований состояла в том, чтобы проанализировать возможности МРС разных видов (сильноточных импульсных МРС и МРС с жидкофазными мишенями) для создания испарения на поверхности мишеней. Решение этой задачи выполнено расчётным путём. Для этого разработаны математические модели тепловых и эрозионных процессов на катодном узле на основе уравнений теплопроводности с учётом фазовых переходов первого рода. Получены данные о закономерностях эрозии мишеней при возникновении фазовых превращений первого рода и о параметрах МРС, при которых обеспечиваются наилучшие показатели интенсивности и энергоэффективности получения эрозионного материала. Показано, что включение испарения приводит к увеличению как минимум на порядок коэффициента эрозии поверхности мишени и скорости роста покрытий по сравнению с режимами работы МРС, в которых имеет место только столкновительное распыление.

Выполнены экспериментальные исследования скорости роста металлический покрытий при использовании МРС с жидкофазными мишенями. Расчётные результаты и данные экспериментов хорошо согласуются, что свидетельствует о корректности сформулированных физических представлений и полученных закономерностей.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ SAS ДЛЯ ПОДГОТОВКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ**

Е.И. Губин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: gubine@tpu.ru

## **USING SAS SOFTWARE TOOLS FOR PREPARING BIG DATA**

E. I. Gubin

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** Formation of basic competencies in the preparation of source data in the field of large volumes of data for predictive analysis in the SAS environment.*

Для прогнозного анализа «чистота» исходных данных носит исключительно важный характер. Многие авторы отмечают критический характер этого и предлагают конкретные шаги по сбору и подготовке исходных слабо структурированных больших данных [1, 2].

Однако предложенные мероприятия носят по большей мере рекомендательный и теоретический характер, так как выявление факта «некорректности» исходных данных само по себе не простая задача, особенно касаясь реально больших данных.

В настоящей работе автор хотел бы представить современные программные инструменты (коды) SAS для проведения статистического анализа при выявлении некорректных (ошибочных) входных данных.

Важной исходной процедурой является трансфер (импорт) данных в среду SAS, где предполагается проводить основные вычисления [3,4]. Ниже приведен пример кода импорта исходных данных (data set: athlete\_events в формате csv) в библиотеку среды SAS (data set WORK.test1).

```
PROC IMPORT
DATAFILE="C:\Users\gubine\Desktop\xls\athlete_events.csv"
OUT=WORK.test1
REPLACE
DBMS=csv;
GETNAMES=YES;
RUN;
```

Если следовать логике «чистке» исходных данных, изложенной в работах [1,2], то выявление отсутствующих значений («missing») для текстовых и числовых атрибутов в среде SAS, будет следующим:

```
proc format;
value $missfmt ' '= 'Missing' other= 'Not Missing';
value missfmt . = 'Missing' other= 'Not Missing';
run;

proc freq data=test1;
format _CHAR_ $missfmt.; /* apply format for the duration of this PROC */
tables _CHAR_ / missing missprint nocum nopercnt;
format _NUMERIC_ missfmt.;
tables _NUMERIC_ / missing missprint nocum nopercnt;
run;
```

В данном случае в качестве исходного файла взят data set WORK.test1

Наличие одинаковых наблюдений влияет на коэффициенты регрессии, увеличивая дисперсию модели, поэтому дублирующие наблюдения должны быть найдены и удалены из анализа. Выявление в исходных данных дублирующих строк (наблюдений) в среде SAS, будет следующим:

```
proc sort data= test1/**not duplicate***/
nodupkey out= test1_1; by ID;
run;
```

Выбросы в исходных данных («outliers») – это аномальные значения, выделяющиеся из общей выборки. Логистическая регрессия чувствительна к выбросам, поэтому их обработка является очень важным шагом подготовки данных.

```
proc univariate data=test1 robustscale plot; /**outliers***/
var income age;
run;
```

Выявление мультиколлинеарности между входными переменными носит важный характер для прогнозных моделей (особенно регрессий) в смысле переобучения модели на обучающей выборке, что может привести к преувеличенной статистической значимости входных переменных на целевую функцию [5].

Для анализа мультиколлинеарности во входных переменных, используем специальные процедуры SAS:

```
proc princomp data=test1 /**correlation***/
```

```
outstat=test1_stat noprint;
```

```
run;
```

Для экспорта данных, полученных в среде SAS, в наиболее популярную для бизнеса Excel, код SAS будет следующим:

```
proc export data=test1
```

```
outfile="C:\Users\gubine\Desktop\xls\резерв_11.xls"
```

```
dbms=xls
```

```
replace;
```

```
run;
```

В данной работе предложена методика подготовки данных для построения прогнозных моделей классификации с использованием технологий SAS. Этапы подготовки данных включают в себя следующие шаги: **1.** проверку исходных данных на ошибки (описки), **2.** на отсутствие данных (“missing”), **3.** на выбросы данных (“outliers”), **4.** на наличие дублирующих строк (наблюдений), **5.** на проверку исходных объясняющих переменных (атрибутов) на мультиколлинеарность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губин Е.И. Методика подготовки больших данных для прогнозного анализа // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 3(105). – С. 33–35.
2. Губин Е.И. Методология подготовки больших данных для прогнозного анализа// Современные технологии, экономика и образование: сборник трудов Всероссийской научно-методической конференции – Томск, 2019. – 139 с. – С. 25–28.
3. Вершинин А.С., Губин Е.И. Применение инструмента DATA MINING для оценки кредитоспособности заемщика // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: труды V Международной конференции. – Томск, 2018. – Т.2. – С. 18–21.
4. Вершинин А.С., Губин Е.И. Использование инструментов SAS для оценки рисков заемщиков // Молодежь и современные информационные технологии: Труды XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, – Томск, 2018. – С. 379–380.
5. Руководство по кредитному скорингу /под ред. Элизабет Мэйз; пер. с англ. И.М. Вороненко. – Минск: Гревцов Паблицер, 2008. – 464 с.

### РЕАЛИЗАЦИЯ СБОРА ДАННЫХ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НАНОСЕНСОРОВ

Д.И. Коваль, В.Л. Ким

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: deniskoval12@gmail.com

### IMPLEMENTATION OF DATA COLLECTION IN THE SOFTWARE OF THE NANOSENSOR TEST BENCH

D.I. Koval, V.L. Kim

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation:** The process of implementing the software of the lower level of the stand for testing nanosensors is described, the stages of work on the project, the flowchart with the project operation cycles are given, and the modes of packet transmission are described (sending packets to the device and receiving packets by the device).*

### Ведение.

Реализация модульных приборов, для дальнейшей их интеграции целостный аппаратно-программный комплекс (АПК), который служит для выполнения задач по замеру биосигналов, в наше время имеет очень большую важность. Предпосылки в

реализации в данной области имеются, благодаря обилию различных составляющих аналоговой и цифровой электроники.

К характерным чертам АПК в области медицины можно отнести:

- 1) АПК являются набором, в который входит как аппаратные средства, программные и так же алгоритмические
- 2) Главной целью перед АПК стоит приём максимального количества информации, при установленных границах.
- 3) Безопасность и устойчивость АПК.
- 4) Минимальные издержки по эксплуатированию и применению составляющих.

Разработка новых интеллектуальных модульных приборов с возможностью их последующей интеграции в единый аппаратно-программный комплекс, предназначенный для решения задач измерения биосигналов, на сегодняшний день является одной из актуальных задач. Возможности по развитию в данной области, прежде всего, связаны с появлением широкой номенклатуры высококачественных компонентов аналоговой и цифровой электроники.

Перечислим характерные особенности аппаратно-программного комплекса экспериментальных (научных) исследований в медицине:

- a) комплексы представляют собой совокупность аппаратных, программных и алгоритмических средств;
- b) основной задачей комплексов является получение максимума экспериментальной информации при заданных ограничениях;
- c) высокая надёжность комплекса;
- d) низкие затраты на эксплуатацию и использование унифицированных блоков.

Анализ научно-информационных источников, показывает, что разработка приборной базы для поверки медицинского оборудования на современном уровне предполагает применение передовых технологий проектирования интеллектуальных устройств сбора и обработки данных с высокочувствительных электродов, высокоскоростных интерфейсов и т.п. [1–3].

#### **Программное обеспечение стенда для испытания наносенсоров.**

Программное обеспечение стенда для испытания наносенсоров разработано на языке программирования C++ для 16 разрядного DSP процессора ADSP-BF523SBST400 с частотой 400 МГц, объем памяти SDRAM составляет 512 Мбит. Для сбора данных используется 16-разрядный АЦП AD7612BSTZ с частотой 750 кГц, а также 12 разрядный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) AD5722AREZ для коррекции смещения исходного сигнала.

Основными функциями, выполняемыми ПО являются следующие: сбор данных и передача их в ОЗУ компьютера, к которому подключается устройство по интерфейсу USB 2.0.

Рассмотрим алгоритм работы программы, представленный на рис.1–2. При запуске эксперимента основной модуль программного обеспечения стенда запускает АЦП: устанавливает параметры АЦП, а именно частоту выборки, значение коэффициента усиления и место хранения данных в памяти. Затем происходит запуск считывания данных и разрешаются прерывания. После этого происходит установка ЦАП: определяется текущий код ЦАП, затем определяется значение смещения сигнала в кодах АЦП, определяется значение смещения сигнала в кодах ЦАП и устанавливается смещение на выходе ЦАП [6, 7].

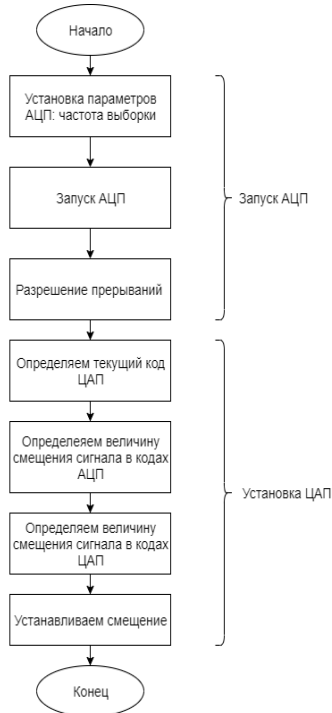


Рис. 1. Основной цикл работы

Для записи данных с АЦП в память SDRAM используется технология прямого доступа к памяти (DMA).

Рассмотрим детальнее алгоритм работы прерываний по окончании приёма блока данных с АЦП в буфер процессора (рис. 2). В начале работы функции прерывания происходит корректировка полученных данных на основе кода ЦАП, затем производится расчёт размера следующего блока данных для считывания, после этого инициализируется передача данных DMA в SDRAM и увеличивается номер текущего буфера АЦП, в который осуществляется сбор данных. Передача данных DMA реализован в функции `dmaTransfer`. В качестве аргументов указывается приемник и источник данных, количество данных, измеряемое в 16-битных словах [8, 9].

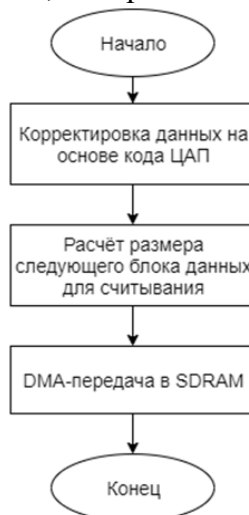


Рис. 2. Алгоритм работы прерываний по окончании приёма блока данных с АЦП в буфер ЦП

На рис. 3 рассмотрен алгоритм работы функции DMA передачи. В начале работы проверяется занят ли контроллер DMA в текущий момент. Если он занят, то программа ожидает конца его работы. После этого устанавливаются регистры DMA, происходит



очистка буфера DMA, разрешается запись 16-битных слов в память. После чего инициализируется источник данных АЦП в буфере памяти процессора и приемник данных в памяти SDRAM. Заключительным этапом является передача управления контроллеру DMA [10].

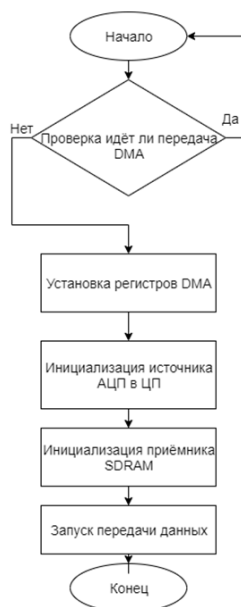


Рис. 4. Схема алгоритма работы DMA

### Заключение.

В данной работе рассмотрена реализация программного обеспечения аппаратно-программного комплекса для испытаний наносенсоров. Приведены блок-схемы работы программного обеспечения и их описания. Предложена область применения данного программного обеспечения в автоматизированных системах и аппаратно-программных комплексах для испытаний медицинских приборов.

Выполненное программное обеспечение АПК может применяться в сферах медицины, в которых решаются такие задачи как, измерение, контроль и тестирование устройств. Итоги проделанной работы могут использоваться в НИИ, различных предприятиях, которые направлены на создание автоматизированных систем и различных АПК, в ходе которых проверяются медицинские приборы, а также системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25995-83. Электроды для съема биоэлектрических потенциалов. Общие технические требования и методы испытаний. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 25 с.
2. EP 0183797 A1 European Patent Office, Method and apparatus for reducing noise and detecting electrode faults in medical equipment / Kaiser W., Weber H., Winter W. – Data of publ.: Dec 05, 2002.
3. EP 1566645 A2 European Patent Office, Method and system for continuity testing of medical electrodes / Paterson, William G., Blaha, Derek M. – Data of publ. Aug 24, 2005
4. Программирование сигнальных процессоров. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/02\\_06/stat\\_112.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/02_06/stat_112.htm)
5. VisualDSP++5.1 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.analog.com/ru/design-center/evaluation-hardware-and-software/software/vdsp-bf-sh-ts.html>
6. Patent 2000/6054976 Signal amplifier, signal amplifier circuit, signal line drive circuit and image display device. U.S. / Kubota Y, Katoh K., Yoneda H.

7. Kim V.L., Andreev S.A., Merkulov S.V. Installation for researching medical electrode // Proceedings of the XV Russia-Korea Conference on Science and Technology. – Ekaterinburg, 2014. – P. 120–123.
8. DE Patent 1997/19531386 A1 Evaluation circuit for thick film pressure sensor for ohmic measuring bridge / Hilberer E.
9. Проектирование с использованием процессоров Analog Devices [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://kit-e.ru/articles/elcomp/2010\\_03\\_52.php](https://kit-e.ru/articles/elcomp/2010_03_52.php)
10. ЦАП (Цифро-аналоговый преобразователь) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.bmstu.wiki/>

## **АЛЬТЕРНАТИВА ПОЛУЖЕСТКИМ РАДИОЧАСТОТНЫМ КООКСИАЛЬНЫМ КАБЕЛЯМ**

А.П. Леонов, М.А. Муравьев  
Национальный Томский политехнический университет  
E-mail: mam44@tpu.ru

## **ALTERNATIVE TO SEMI-FREQUENCY RADIO FREQUENCY COAXIAL CABLES**

A.P. Leonov, M.A. Muravyev  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article provides information about the advantages of using a radio-frequency coaxial cable with a tin-plated outer conductor and the prospects for its development.*

Радиочастотные коаксиальные кабели широко применяются в разных областях радиоэлектроники и радиотехники, системах передачи информации и управления: от передачи телевизионных сигналов до передачи и распределения высокочастотной энергии передающих антенн в широком диапазоне частот. Коаксиальное расположение проводников обеспечивает высокую надежность конструкции кабеля.

Одним из важнейших конструктивных элементов радиочастотного коаксиального кабеля является внешний проводник, который служит многим целям:

- выполняет роль элемента, определяющего распределение электрического и магнитного поля в пространстве кабеля;
- является силовым элементом конструкции кабеля (защищает от внешнего воздействия);
- является одним из определяющих элементов важнейшего эксплуатационного и монтажного параметра кабеля – гибкости.

Радиочастотные коаксиальные кабели по гибкости разделяются на следующие группы [1]:

- полужесткие кабели;
- полугибкие кабели;
- гибкие и особо гибкие кабели.

К полужестким кабелям относятся кабели с внешним проводником в виде сплошной трубки или гофры. Такой вариант конструкции внешнего проводника позволяет обеспечить низкие потери, высокое экранированное затухание и стабильность волнового сопротивления по всей длине кабеля. Одним из главных недостатков данного типа кабеля, это его гибкость. Для формования и монтажа кабеля в аппаратуре, требуется специальный сгибающий инструмент.

В гибком и особо гибком кабеле в качестве внешнего проводника используется одинарная и двойная оплетка, а также комбинация металлизированной фольги и оплетки. За счет взаимной подвижности всех элементов конструкции обеспечивается

необходимая гибкость кабеля, при этом электрические характеристики таких кабелей ухудшаются, из-за увеличенных активных потерь в проволоках оплетки [1,2].

Полужесткие и гибкие конструкции кабелей использовались на протяжении многих лет, однако с развитием радиоэлектроники, электротехники и машиностроения, сформировалась потребность в альтернативе данному кабелю, обладающего большей гибкостью и возможностью фиксации формы.

Решением данного вопроса стали, так называемые, кабели ручной формовки (hand-formable cable), появившиеся за рубежом в эпоху развития сотовой связи, как более экономичная и технологичная альтернатива полужестким кабелям.

Уникальным конструктивным элементом данного типа кабеля, отличающего его от всех остальных, является внешний проводник, который выполнен в виде оплетки из круглых проволок, покрытой расплавом олова. Благодаря технологии нанесения оловянированного покрытия, расплав проводящего олова заполняет межпроволочное пространство в оплетке, тем самым обеспечивает приближение по своим электрическим и механическим параметрам к кабелю со сплошной цилиндрической трубкой.

Одним из преимуществ оловянированных кабелей в сравнении с полужесткими кабелями, это способность формоваться на малый радиус изгиба без помощи специального формовочного инструмента и повышенная механическая стойкость. Данные кабели способны выдержать в нормальных климатических условиях до 50 циклов изгибов, а также обеспечить фиксированный изгиб радиусом от 6 до 8 мм без повреждения внешнего проводника и ухудшения электрических характеристик.

Также перспективным направлением развития оловянированных кабелей является применение в оплетке внешнего проводника медно-посеребренной проволоки.

В высокочастотном диапазоне частот в результате возникновения «скин-эффекта» [2] происходит вытеснение тока на внутреннюю поверхность внешнего проводника, поэтому удельное электрическое сопротивление материала покрытия проволоки будет определять величину потерь в кабеле. Чем выше частота и меньше габариты кабеля, тем больше влияние электрических свойств материала покрытия проволоки.

Применение покрытия из олова в существующей конструкции кабеля позволяет повысить коррозионную стойкость и надежность кабеля [3], но из-за высокого удельного электрического сопротивления потери в кабеле больше, чем у кабеля с медной или медно-луженной проволокой. Использование покрытия проволоки из серебра позволяет увеличить коррозионную стойкость и надежность кабеля, а также улучшает электрические характеристики оловянированного кабеля.

За счет применения разных проволок в конструкции внешнего проводника, появляется возможность выбрать конструкцию оловянированного кабеля, которая позволяет обеспечить предъявляемые ей требования по электрическим параметрам, рабочей температуре или стоимости кабельного изделия.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Хренков Н.Н., Лобанов А.В. Радиочастотные кабели. – М.: Де'Либри, 2019. – 344 с.
2. Ефимов И.Е., Останькович Г.А. Радиочастотные линии передачи. Радиочастотные кабели. – М.: Издательство «Связь», 1977. – 408 с.
3. Данцлер А.А., Хренков Н.Н. Уточнение коэффициента покрытия высокочастотных биметаллических проводников // Электричество. – 1988. – № 4. – С. 81–84.

# НЕПРЕРЫВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛАВИАТУРНОГО ПОЧЕРКА

Р.П. Затеев, Е.А. Кочегурова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: kochev@mail.ru

## CONTINUOUS USER IDENTIFICATION BASED ON THE KEYSTROKE DYNAMICS

R.P. Zateev, E.A. Kochegurova

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** This paper investigates the characteristics of continuous user identification based on the keystroke dynamics. During the work, there were studied existing approaches of solving identification problem. As a result of the investigation, the existing algorithms of user identification were studied.

### Введение.

В связи с бурным развитием цифровых технологий повышается необходимость защиты информации от несанкционированного доступа.

Один из возможных подходов основан на использовании биометрических данных человека, таких как отпечаток пальца, голос, изображение лица или радужная оболочка глаза, которые являются уникальными характеристиками человека и представляют собой отличное решение для повышения безопасности системы.

Одним из типов биометрических данных является клавиатурный почерк (КП), который может быть взят в качестве решения безопасного беспарольного доступа пользователя к компьютеру. Основным преимуществом использования КП являются доступность и отсутствие необходимости наличия дополнительного оборудования.

### Характеристики клавиатурного почерка.

Большинство исследований, посвященных клавиатурному почерку, исследуют диграфы, т.е. время между нажатиями клавиш. Различают два типа диграфов: время ожидания (Dwell time DT) и время задержки (Flight time FT). Времена ожидания и задержки являются основными характеристиками и схематично изображены рис. 1 [1].

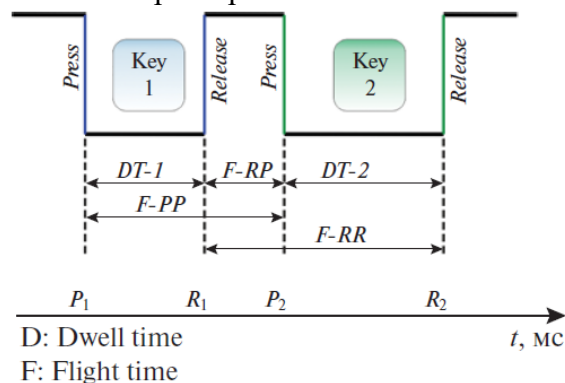


Рис. 1. Диграфы

Идентификация пользователя – это процедура распознавания зарегистрированного в информационной системе субъекта по его идентификатору (логину, паролю и др.). В данном исследовании распознавание пользователя включает 4 этапа:

1. Сбор характеристик КП.
2. Формирование клавиатурного шаблона
3. Актуализация БД.
4. Идентификация пользователя на основе имеющихся шаблонов.

### Оценка эффективности идентификации.

При парольной или статической идентификации проверяется эквивалентность вводимого текста эталонному. При динамической идентификации оцениваются вероятности ложного принятия и отклонения незарегистрированных и зарегистрированных пользователей соответственно.

False Rejection Rate (FRR) – вероятность ложного недопуска, ошибка I рода.

False Acceptance Rate (FAR) – вероятность ложного принятия, ошибка II рода [2].

$$FRR = \frac{\text{Количество ложных отказов}}{\text{Общее количество попыток}} \quad FAR = \frac{\text{Количество ложных совпадений}}{\text{Общее количество попыток}}$$

Высокие значения FRR означают более сложный доступ в систему всех пользователей, в том числе и зарегистрированных, рис. 2. Оценки FRR и FAR определяются чувствительностью алгоритма или его пороговым значением и имеют противоположный характер.

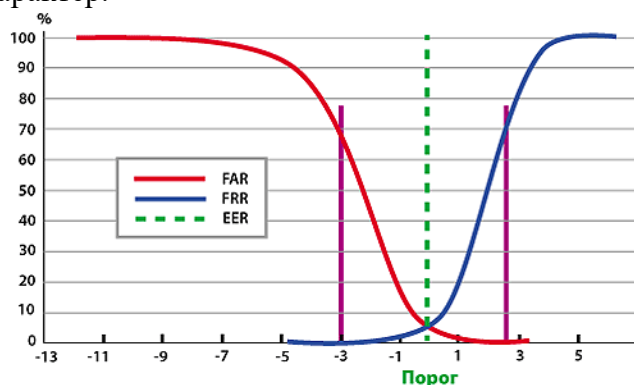


Рис. 2. График ошибок I и II рода

Для повышения защищенности системы необходимо установить более высокое значение FRR. А для упрощения входа пользователей - высокое значение FAR.

### Анализ полученных результатов.

В ходе исследования были проанализированы наиболее популярные методы идентификации: на основе метрических расстояний и алгоритмов классификации. В таблице 1 приведены значения оценок FRR, FAR и точности идентификации пользователей для БД шаблонов, включающей порядка 30 пользователей домена университета.

Таблица 1 – Зависимости исследуемых величин

Метод идентификации	FAR (%)	FRR (%)	Точность (%)
Евклидово расстояние	0.83	1.33	97.83
Расстояние городских кварталов	0.5	1.33	98.17
Метод ближайшего соседа (kNN)	6.5	1.17	92.33

Следует отметить, что точность распознавания пользователя достаточно высока, более 90 %, во всех методах. Однако, выбор метода определяется также и целями прикладной задачи распознавания. Так, если риск пропуска «шпиона» намного выше, чем риск отказа в доступе зарегистрированному пользователю, то можно рекомендовать методы, основанные на метрическом расстоянии.

### Заключение.

Клавиатурный почерк является одним из перспективных методов идентификации, так как не существует людей с идентичными биометрическими характеристиками. Точность распознавания мало зависит от конкретного метрического расстояния и, в целом, данный метод может быть рекомендован в задаче защиты от несанкционированного доступа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочегурова Е.А., Мартынова Ю.А. Особенности непрерывной идентификации пользователей на основе свободных текстов в режим скрытого мониторинга // Программирование. – 2020. – №1. – С. 15–28.
2. Рудаков О.М. Клавиатурный почерк как метод биометрической аутентификации // Тенденции развития науки и образования. – 2016. – №12. – С. 19–21.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЯ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Я.Ю. Малькова, Р.А. Уфа, А.С. Гусев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: yamalkova96@gmail.com

## RESEARCH THE IMPACT OF RENEWABLE GENERATION ON THE VOLTAGE PROFILE OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM

Ya.Yu. Malkova, R.A. Ufa, A.S. Gusev

National Research Tomsk Polytechnic University

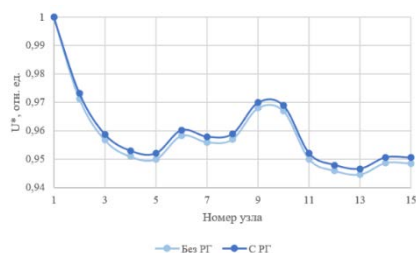
***Annotation.** Research alternative methods of generating electricity against the background of growing demand for electricity today a special focus has. With an increase in the unit installed capacity of renewable generation and the share of its capacity in the total installed capacity, it becomes necessary to research the impact of the penetration renewable generation facilities on the parameters of the operating mode of the electric power system, in particular, on the voltage profile of its nodes. Within the framework of this article, we will assess the impact of the penetration renewable generation facilities on the voltage profile of the electric power system using the example of a typical scheme IEEE 15 bus.*

Тенденцией развития мировой электроэнергетической отрасли на сегодняшний день является изучение альтернативных методов выработки электроэнергии, в частности, генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Так, в России по данным системного оператора единой энергетической системы (СО ЕЭС) России на 01.09.2020 года суммарная установленная мощность ВИЭ составляет 2,143 ГВт, из них солнечные электростанции (СЭС) – 1,513 ГВт, ветряные электростанции (ВЭС) – 0,630 ГВт [1]. С увеличением доли ВИЭ в суммарной установленной мощности электроэнергетической системы (ЭЭС) встает вопрос об изучении взаимного влияния возобновляемой генерации и ЭЭС, в частности, о влиянии внедрения ВИЭ на параметры режима работы ЭЭС, такие как потери и перетоки активной и реактивной мощности, относительный уровень напряжения узлов ЭЭС, величина и направление токов короткого замыкания и т.д.

В рамках настоящей статьи рассмотрим влияние внедрения объектов ВИЭ на относительный уровень напряжения узлов ЭЭС на примере типовой 15-узловой IEEE схемы, топология и параметры которой приведены в [2].

Исследуемая схема была собрана в программном комплексе MATLAB/Simulink. Сущность проведенной серии опытов заключалась в одновременной установке объекта ВИЭ в один из узлов схемы со 2-го по 15-ый, мощность устанавливаемой генерации варьировалась в диапазоне (0...2) о.е. от мощности нагрузки узла установки. Так, в частности, при установке единичной генерации, соответствующей мощности нагрузки данного узла, были получены следующие результаты (рис. 1а, рис. 1б).

а)



б)

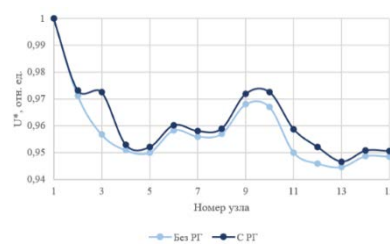


Рис. 1. Относительный уровень напряжения узлов схемы при установке ВИЭ в: а) узел 2, б) в узел 10

На основании представленных зависимостей для исследуемой схемы можно сделать вывод, что внедрение объектов ВИЭ в ЭЭС мощностью, равной мощности нагрузки узла установки, оказывает положительное влияние, т.е. способствует повышению, на относительный уровень напряжения во всех узлах схемы.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант №МК2150.2019.9

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационный обзор «Единая энергетическая система России: промежуточные итоги» (оперативные данные) август 2020 года // АО «СО ЕЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.so-cdu.ru/fileadmin/files/company/reports/ups-review/2020/ups\\_review\\_0820.pdf](http://www.so-cdu.ru/fileadmin/files/company/reports/ups-review/2020/ups_review_0820.pdf) (дата обращения 10.10.20).
2. Baran M.E., Wu F.F. Optimal sizing of capacitors places on a radial-distribution system // IEEE Transactions on Power Delivery. – 1989. – vol. 4. – no.1. – P. 735–743.

## ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ УСТАНОВКА ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

В.Е. Губин, Д.В. Гвоздяков, К.Б. Ларионов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: gubin@tpu.ru

## PILOT PLANT FOR GASIFICATION OF SOLID FUELS AND INDUSTRIAL WASTE

V.E. Gubin, D.V. Gvozdyakov, K.B. Larionov

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The article presents a brief description of an experimental model of a gas-generating plant for gasification of solid fuels and industrial waste, created at an operating thermal power plant.

Одной из важнейших задач современной энергетики является внедрение новой политики использования угля, а именно – реализация мероприятий по его глубокой переработке на месте добычи. Внедрение соответствующих технологий должно повысить конкурентоспособность угольной промышленности и способствовать развитию регионов угледобычи [1]. Кроме того, подразумевается получение различного углеводородного сырья с высокой добавленной стоимостью (синтез-газ, кокс и полукокс, жидкие моторные топлива, смолы, спирты метильной группы и др.) [2]. В настоящее время предложены различные подходы к указанной проблеме [3], однако в России они носят теоретический характер и на практике не реализовывались.

Одним из технологических направлений термического преобразования угля в газообразное топливо является его газификация (в частности, слоевая).

На базе Томского политехнического университета создан Научно-исследовательский центр «Экоэнергетика 4.0» для фундаментальных исследований и отработки технологий глубокой переработки твердых топлив и производственных отходов с получением продукции с высокой добавленной стоимостью: синтез-газ, метан, водород, жидкие топлива различных фракций и т.п.

На промышленной площадке Томской ТЭЦ-3 совместно с ОАО «Всероссийский теплотехнический институт» создана полномасштабная технологическая линия по газификации энергетического угля, низкокалорийных бурых углей, а также отходов угледобывающей промышленности.

Комплекс (рис.1) может перерабатывать до 4 тонн твердого топлива в час, вырабатывая при этом до 17000 кубометров генераторного газа, содержащего горючие вещества (водород, метан и т. п.).



Рис.1. Комплекс по газификации твердых топлив НИЦ «Экоэнергетика 4.0»

Общий вид опытно промышленной установки приведен на рис. 2.

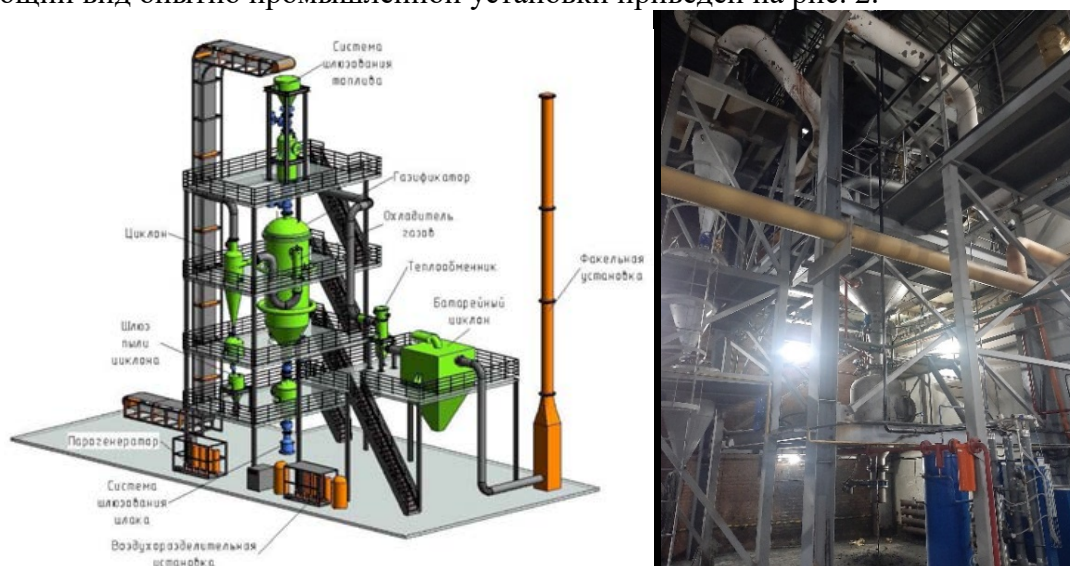


Рис.2. Общий вид опытно промышленной установки слоевой газификации

Газогенератор представляет собой цилиндрический сосуд, выложенный изнутри футеровочным кирпичом. В нижней части газификатора футеровка отсутствует: там располагается заполняемая водой шлаковая ванна, в которую поступает шлак из газификатора.

Перед началом работы футеровка газогенератора разогревается до температуры 800°C с использованием специальной горелки, работающей на жидком топливе.

Твердое топливо с размером фракции 5–50 мм после системы топливоподготовки с помощью крутонаклонённого конвейера подаётся в верхний топливный бункер, а затем через систему шлюзования – в газогенератор. При загрузке топлива в газификатор в



качестве шлюзового агента используется азот, подаваемый в шлюзовую топливный бункер от генератора азота.

В газификатор поступает сжатый воздух от компрессора, подогретый до 300°C теплом уходящих газов, а также перегретый пар от парогенератора и пароперегревателя с температурой 200–300°C. Номинальное давление в газогенераторе составляет 0,6 МПа.

В газификаторе происходит превращение твёрдого топлива в горючий газ, с выплавкой шлака, который удаляется в шлаковую ванну, а оттуда через шлюзовой бункер – в отвал. Полученный генераторный газ с температурой 800-1100 °С поступает в охладитель газов, где охлаждается впрыском воды до 500–600 °С. По тракту синтез-газ проходит циклон (первую ступень золоулавливания), редуцирующее устройство (в котором происходит снижение давления), теплообменник (в котором газ отдаёт часть тепла воздуху), батарейный циклон (вторая ступень золоулавливания). Далее генераторный газ в целях обеспечения безопасности подаётся на утилизацию в факельную установку (рис.3).

Созданное оборудование прошло успешные испытания в промышленных масштабах.

Испытания проводились с использованием каменного угля марки Д Кузбасского угольного бассейна. Размер фракции угля после его прохождения через систему топливоподготовки составлял 5–50 мм.

Состав синтез-газа фиксировался непрерывно в течение опыта с помощью поточного газоанализатора, подключённого в точке отбора за редуцирующим устройством, используемого для понижения давления, образующегося синтез-газа. Измерение расхода газа осуществлялось с использованием фланцевой диафрагмы и датчиков давления, установленных на участке трубопровода между факельной установкой и батарейным циклоном.

Осредненные за период испытания значения основных компонентов синтез-газа, полученного в результате газификации каменного угля марки Д (об. %) - CO<sub>2</sub> - 5,4; CH<sub>4</sub> - 3,6; CO - 20,8; H<sub>2</sub> - 7,3; N<sub>2</sub> - 49,9.



*Рис.3. Утилизация синтез-газа с использованием факельной установки*

Успешные испытания крупнейшей в России опытно-промышленной установки слоевой газогенераторной установки открывают новые возможности для дальнейшего совершенствования технологии и создания высокотехнологичных промышленных комплексов по глубокой переработке твердых топлив и производственных отходов в России.

Оборудование центра «Экоэнергетика 4.0.» включено в реестр уникальных научных установок (<http://ckp-rf.ru/usu/673587/>).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сарыглар Ч.А., Чысыма Р.Б. Основные направления переработки угля // Фундаментальные исследования. – 2018. – №11-1. – С. 121–127.
2. Голицын М.В., Вялов В.И., Богомолов А.Х., Пронина Н.В., Макарова Е.Ю., Митронов Д.В., Кузеванова Е.В., Макаров Д.В. Перспективы развития технологического использования углей в России // Георесурсы. – 2015. – №2 (61). – С. 41–53.
3. Кузнецов П.Н., Колесникова С.М., Кузнецова Л.И., Брюкин Ф.А., Перминов Н.В., Каменский Е.С., Павленко Н.И. Терморастворение спекающихся каменных углей в среде антраценовой фракции смолы коксования // Кокс и химия. – 2018. – №2. – С. 22–30.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Е. Г. Брындин

Исследовательский центр «ЕСТЕСТВОИНФОРМАТИКА»

E-mail: bryndin15@yandex.ru

## ROBOTIC INDUSTRY SAFETY MANAGEMENT TECHNOLOGY

E. G. Bryndin

Research center "NATURAL INFORMATICA"

***Annotation.** Industrial robots, by increasing visual, sound, substantive, spatial and temporal sensitivity, are able to acquire new skills and gain professional experience with the necessary technical means. New skills are taught by a retraining system in virtual space, and then the robot develops them in a specific environment. Thus, the professional experience of an industrial cognitive robot in various specific environments is gradually developing and its safety is improved. Industrial cognitive adaptive retractable robots with increased safety find wide practical application in the 4.0 industry.*

### Введение.

Роботы могут решать множество разнообразных практических задач. Медицина, банковское обслуживание, промышленность, образование, гостиничный бизнес и даже развлечения – основные области применения роботов. Роботизированные системы применяют в сфере безопасности: устройства со специальными датчиками оперативно обнаруживают пожароопасные ситуации и успешно предотвращают их. Современные заводы и предприятия далеко продвинулись за счет современных технологий. Автоматизированные промышленные роботы применяются для сварки, укладки, покраски и прочих операций, требующих многократного повторения и высокой точности. Появляются роботы для высокотехнологичной работы, которая по зубам искусственному интеллекту.

В Японии, России, Тайване, Китае и других развитых странах роботы являются не заменимыми помощниками. Человек пытается создать, для своих роботов, искусственный интеллект. С искусственным интеллектом роботы смогут самостоятельно оценивать происходящее вокруг них и принимать решения по действиям, которые им необходимо произвести.

Развитие технологий искусственного интеллекта и машинного обучения и их применение в робототехнике является необходимым условием для создания действительно полезных и умных роботов. Статистические методы и машинное обучение, включая искусственные нейронные сети глубокого обучения, оказали громадное влияние на современную робототехнику. Идет усложнение архитектуры сетей и увеличение ее емкости при сохранении приемлемой скорости обучения, а также развитие систем, которые позволят нейронным сетям работать с минимальным

энергопотреблением. Важной задачей в повышении эффективности машинного обучения является уменьшение обучающей выборки при сохранении скорости и качества обучения. Начинается обучение алгоритмам действия. Нейронная сеть, обученная на примере одного размеченного датасета, может самостоятельно обучаться и делать выводы на неразмеченных датасетах. В результате процесс обучения становится быстрее, обрабатываются большие массивы данных, а качество результатов повышается.

Текущая практика робототехники показывает, что наилучших результатов в увеличении производительности труда можно добиться от максимальной эффективности связки команд роботов и людей, работающих совместно для достижения общей цели. Повышение социального взаимодействия между человеком и роботами в повседневной и рабочей жизни является предметом многочисленных исследований, некоторые из них стали основой целых много миллиардных индустрий. Примером успешной реализации технологий социального взаимодействия являются голосовые помощники и чат-боты.

Роботы уже могут и фиксировать навыки движения человека, и копировать его. Машинное обучение позволяет повысить эффективность работы приводов и улучшить возможности передвижения. В результате выполнение движений повышенной сложности будет достигаться более простыми средствами. Сейчас разработки в данном направлении ведут Boston Dynamics и MITc роботом Atlas. Исследователи надеются, что в случае успеха, применение нейронных сетей позволит найти новые варианты движений, которые будут эффективнее. В ближайшие годы качество обучения улучшится и повысится степень автономности роботов.

В статье кратко рассматривается подход к созданию переобучаемых когнитивных чувствительных роботов способных работать на рынке высокотехнологичного труда.

### **1. Чувствительные аспекты промышленного когнитивного робота.**

Когнитивный робот с визуальной, звуковой, предметной, пространственной и временной чувствительностью решает много профессиональных задач [1].

Предметная чувствительность робота — это способность определять свойства, характеристики и качества предметов с помощью тактильных и кинестетических сенсорных датчиков, предназначенных для измерения характеристик внешней среды. Решение многих задач, связанных с поиском предметов, их захватом и манипулированием ими, стало возможным только с разработкой датчиков, обладающих тактильной и кинестетической чувствительностью. Простейшим типом таких датчиков являются контактные датчики. Они представляют собой микропереключатели, фиксирующие соприкосновение с предметом. Тактильные датчики позволяют реагировать на прикосновение и измерять давление в местах соприкосновения датчика с предметом. Они обычно размещаются на бамперах транспортных роботов или на хвате манипуляционных роботов. Эти датчики служат для обнаружения отдельных предметов, предотвращения повреждений этих предметов и самого робота, а также для распознавания внешней обстановки путем соприкосновения и ощупывания. Кинестетические датчики регистрируют положение, перемещение исполнительных органов (например, пальцев захвата манипулятора) и возникающие в них усилия. Важной особенностью тактильных и кинестетических датчиков является их способность работать практически в любой среде. В частности, эти датчики незаменимы для подводных роботов, так как при замутнении воды перестает работать телевизионный или оптический канал обратной связи.

Робот может поддерживать в допустимых пределах жизненно важные для человека параметры тепла и холода. Давление является функцией, которая нужна профессиональному роботу. Эта функция может выполняться роботом различными методами и устройствами в зависимости от его назначения. Это особенно важно в тех случаях, когда пальцы робота должны захватывать разнообразные, иногда хрупкие,

предметы. Датчики осязания у робота должны быть чувствительны и многочисленны, что позволит использовать их для различения формы.

Робот воспроизводит обоняние техническими средствами. При соприкосновении сгораемой смеси газа и воздуха с некоторыми катализаторами, например платиной или палладием, выделяется тепло и изменяется электрическое сопротивление катализатора, что можно обнаруживать прямым измерением. Подобные детекторы очень важны для предотвращения пожара и взрыва. Кислород можно обнаруживать, используя его парамагнитные свойства, а некоторые газы — используя их теплопроводность, в устройстве, называемом термокондуктометрическим детектором. Для обнаружения различных газов можно использовать также инфракрасное поглощение. Водяные пары обнаруживаются гигрометрами различных типов. Газы обладают способностью изменять цвет различных химических веществ, что часто используется в газовом анализе. Подобный метод можно применить и для робота. В Японии разработано газоулавливающее устройство «Тагучи гэс сенсор». Твердотельная технология позволила изготовить кислородный анализатор, который может применяться для определения концентрации кислорода в топочных газах. Будущие исследования приведут к появлению более совершенных детекторов запаха.

Для восприятия влажности применяются различные элементы, в том числе хлористо-литиевые (датчик «Данмор»), углеродные, элементы на базе полиэлектролитного сопротивления, керамические элементы, емкостные устройства и элементы на базе окиси алюминия. Эти разработки можно использовать в робототехнике.

Робот способен к измерению уровня температуры либо внутри себя самого, либо в окружающей среде. Для этого используют любой из хорошо известных методов электрического определения температуры.

Метод точной индикации положения робота реализуется навигационной техникой, основанный на сравнении временных положений импульсов с временными положениями эталонных импульсов. Индикация положения робота важна для ориентации его в пространстве. Картографирование и локализация образа объекта осуществляется с использованием сканирующих лазерных дальномеров. Для измерения расстояния используют ультразвуковые сонары, инфракрасные сенсоры, лазерные сенсоры. Достижение объекта осуществляется по полученным координатам. Процедуры реализации поведения выполняют движения частей моторных механизмов робота в соответствии с маршрутом перемещения и последовательностью двигательных актов частей моторных механизмов робота. Маршрут движения робота строится в классах кусочно-полиномиальных функций.

Реализация визуальной чувствительности опирается на получение информации о различных частях объекта независимо друг от друга. Сканируя двумя лазерами с ярким центром, вы проходите по всему образцу и видите очень тонкую структуру с разрешением в нанометры. Возрастает детализация получаемой информации. В настоящее время оптическая наноскопия со сверхразрешением можно использоваться для реализации частотного спектрального зрения роботов с расширением их спектрального диапазона, спектрального и пространственного разрешения. Это требует комплексного использования нескольких приборов, работающих в различных спектральных диапазонах. Целесообразно использовать возможности совместного применения монофотонного УФ-С сенсора и гиперспектральных модулей видимого ближнего инфракрасного диапазона. УФ-С сенсор способен быстро обнаруживать интересующий объект и передать его координаты в блок управления для наведения гиперспектрометра на цель и её детальной съёмки с высоким спектральным и пространственным разрешением. В мультиспектральных системах улучшенного видения важную роль играет выбор стратегии объединения информации от нескольких видеоканалов. Спектроскопическое зрение робота помогает ему

воспринимать частотные спектры предметов и объектов окружающей среды. Практическое применение гиперспектральных сенсоров видимого и ближнего инфракрасного диапазона охватывает широкий спектр задач науки и народного хозяйства как: геология, сельское, лесное и водное хозяйство, экология, городская инфраструктура и многие другие. Эффективным инструментом для обнаружения и классификации объектов являются свёрточные нейронные сети CNN. Искусственная обученная нейронная сеть распознает их спектр, ассоциативно сравнивает с накопленными спектрами предметов и объектов в своей частотной базе. Путем ассоциативного сравнения определяет предмет или объект [2].

Звуковая чувствительность робота реализуется звуковыми датчиками. К звуковым датчикам относятся разного рода микрофоны и ультразвуковые датчики. Микрофоны служат для восприятия звуковых команд при голосовом управлении роботом. Ультразвуковые датчики состоят из передатчика и приемника сигналов. С помощью отраженного от предметов ультразвукового сигнала они могут их обнаруживать и определять расстояние до них. Ультразвуковые датчики имеют преимущества по сравнению с оптическими датчиками. Они могут обнаруживать прозрачные объекты; их показания не зависят от условий освещения и малочувствительны к изменению физических свойств окружающей среды; срок службы генераторов колебаний практически неограничен и т. д. Однако ввиду нечеткой направленности ультразвуковых колебаний точность определения расстояний до предметов у таких датчиков невысока. Кроме того, они не способны обнаруживать объекты с очень малыми габаритами, что связано с относительно большой длиной ультразвуковых волн.

Двигательная деятельность когнитивного робота связана с выполнением разнообразных скоростных и силовых действий. Умение правильно распределить усилия во времени и пространстве – одно из основных условий проявления профессионального технического мастерства.

Во многих случаях дифференцирование усилий по величине, месту и времени их проявления во многом определяет класс робота, который проявляется в качественном выполнении движения, в наибольшей степени определяемом уровнем различения усилий, точностью действий, тонким дифференцированием усилий кисти манипулятора.

Чувствительность роботов различных специализаций определяется следующими общими закономерностями:

- качество и точность дифференцирования усилий улучшаются в процессе целенаправленного обучения с ростом точности восприятия времени и пространства;
- развитие различительной чувствительности усилий специфично в разных видах деятельности;
- уровень развития силовой чувствительности зависит от самоконтроля.

Обучение различительной чувствительности усилия осуществляется методом минимального приращения усилия. Количество ступеней усилий характеризует чувствительность силового обучения.

Современные устройства, кибернетические методы и искусственный интеллект позволяют создавать когнитивных роботов с адаптивным поведением на основе подражательного мышления с профессиональной диверсификацией и мобильностью [3].

## **2. Управление поведением промышленного робота.**

Поведением робота управляет полифункциональная иерархическая система контроллеров, подобная системе управления поведением организма человека. Поведение возникает под влиянием информационной потребности (задания), которая вызывает ориентировку в ситуации по моделям внешней среды и поведения. Ориентировка завершается выбором соответствующей программы иерархической

системы контроллеров, выполнение которой приводит к реализации поведения. Контроллер – это компьютер на микросхеме. Он предназначен для управления различными электронными устройствами. Контроллер робота – это самый миниатюрный компьютер. Он содержит процессор и периферийные устройства: FLASH-память, таймеры, интерфейсы для связи с внешними устройствами и множество других полезных схем. Контроллер действует по заданной программе, которая загружается в него с мощного компьютера. Она загружается с помощью программатора в микроконтроллер. Микроконтроллер может обрабатывать информацию с входов и создавать электрические сигналы на выходах в соответствии с тем, как мы запрограммируем поведение робота.

У робота есть датчики для взаимодействия с окружающей средой, которые получают информацию из окружающей среды. Например, фототранзистор, микрофон, контактный датчик.

Иерархический подход к реализации действий поведения когнитивного мобильного робота позволяет ему выполнять полезную работу и обеспечивать свое перемещение. Иерархические алгоритмы действий поведения поделены на агломеративные и дивизимные. Агломеративные алгоритмы начинают свое выполнение с того, что каждое действие заносит в соответствующий кластер и по мере выполнения объединяют кластеры, до тех пор, пока в конце не получает один кластер, включающий в себя все действия поведения. Дивизимные алгоритмы, напротив, сначала относят все действия в один кластер и затем разделяют этот кластер до тех пор, пока каждое действие не окажется в соответствующем кластере. Представлением результата иерархического алгоритма является дендрограмма - схема, показывающая, в какой последовательности происходило слияние действий в кластер или разделение действий на кластеры.

Такой подход позволяет формализовать требования к мобильности поведения робота и разработать все возможные алгоритмы реакции на изменение состояния окружающей обстановки. Например, при перемещениях на улице применяя технологию спутниковой навигации, а окружающие объекты, обнаруживая с помощью камер или дальномеров. То есть подход позволяет автономные робототехнические системы проектировать под реализацию множества промышленных и социальных сфер жизнедеятельности.

### **3. Программирование поведения промышленного робота.**

Функции поведения робота задается на языках программирования. Многие программы для обобщающей архитектуры были реализованы на языке поведения, который был определен Бруксом. Этот язык представляет собой язык управления в реальном времени на основе правил, результатом компиляции которого становятся контроллеры **AFSM**. Отдельные правила этого языка, заданные с помощью синтаксиса, подобного **Lisp**, компилируются в автоматы **AFSM**, а группы автоматов **AFSM** объединяются с помощью совокупности механизмов передачи локальных и глобальных сообщений.

Так же, как и обобщающая архитектура, язык поведения является ограниченным, поскольку он нацелен на создание простых автоматов **AFSM** с относительно узким определением потока связи между модулями. Но в последнее время на базе этой идеи проведены новые исследования, которые привели к созданию целого ряда языков программирования, аналогичных по своему духу языку поведения, но более мощных и обеспечивающих более быстрое выполнение.

Одним из таких языков является универсальный робототехнический язык, или сокращенно **GRL (Generic Robot Language)**. **GRL**— это функциональный язык программирования для создания больших модульных систем управления. Как и в языке поведения, в **GRL** в качестве основных конструктивных блоков используются конечные автоматы. Но в качестве настройки над этими автоматами язык **GRL**

предлагает гораздо более широкий перечень конструкций для определения коммуникационного потока и синхронизации ограничений между различными модулями, чем язык поведения. Программы на языке GRL компилируются в эффективные программы на таких языках команд, как C.

Еще одним важным языком программирования (и связанной с ним архитектурой) для параллельного робототехнического программного обеспечения является система планирования реактивных действий, или сокращенно **RAPS** (Reactive Action Plan System). Система RAPS позволяет программистам задавать цели, планы, связанные с этими целями (или частично определять политику), а также задавать условия, при которых эти планы, по всей вероятности, будут выполнены успешно.

Крайне важно то, что в системе RAPS предусмотрены также средства, позволяющие справиться с неизбежными отказами, которые возникают в реальных робототехнических системах. Программист может задавать процедуры обнаружения отказов различных типов и предусматривать процедуру устранения исключительной ситуации для каждого типа отказа. В трехуровневых архитектурах система RAPS часто используется на исполнительном уровне, что позволяет успешно справляться с непредвиденными ситуациями, не требующими перепланирования.

Существует также несколько других языков, которые обеспечивают использование в роботах средств формирования рассуждений и средств обучения. Например, Golog представляет собой язык программирования, позволяющий обеспечить безукоризненное взаимодействие средств алгоритмического решения задач (планирования) и средств реактивного управления, заданных непосредственно с помощью спецификации.

Программы на языке Golog формулируются в терминах ситуационного исчисления с учетом дополнительной возможности применения операторов недетерминированных действий. Кроме спецификации программы управления с возможностями недетерминированных действий, программист должен также предоставить полную модель робота и его среды.

Как только программа управления достигает точки недетерминированного выбора, вызывается планировщик (заданный в форме программы доказательства теорем) для определения того, что делать дальше. Таким образом, программист может определять частично заданные контроллеры и опираться на использование встроенных планировщиков для принятия окончательного выбора плана управления.

Основной привлекательной особенностью языка Golog является предусмотренная в нем безукоризненная интеграция средств реактивного управления и алгоритмического управления. Несмотря на то что при использовании языка Golog приходится соблюдать строгие требования (полная наблюдаемость, дискретные состояния, полная модель), с помощью этого языка были созданы высокоуровневые средства управления для целого ряда мобильных роботов, предназначенных для применения внутри помещений.

Язык «JSk CES (сокращение от C++ for embedded systems — C++ для встроенных систем) — это языковое расширение C++, в котором объединяются вероятностные средства и средства обучения. В число типов данных CES входят распределения вероятностей, что позволяет программисту проводить расчеты с использованием неопределенной информации, не затрачивая тех усилий, которые обычно связаны с реализацией вероятностных методов.

Еще более важно то, что язык **CES** обеспечивает настройку робототехнического программного обеспечения с помощью обучения на основании примеров, во многом аналогично тому, что осуществляется в алгоритмах обучения. Язык **CES** позволяет программистам оставлять в коде «промежутки», которые заполняются обучающими функциями; обычно такими промежутками являются дифференцируемые параметрические представления, такие как нейронные сети. В дальнейшем на

отдельных этапах обучения, для которых учитель должен задать требуемое выходное поведение, происходит индуктивное обучение с помощью этих функций. Практика показала, что язык CES может успешно применяться в проблемных областях, характерных для частично наблюдаемой и непрерывной среды.

Язык ALisp представляет собой расширение языка Lisp. Язык ALisp позволяет программистам задавать недетерминированные точки выбора, аналогичные точкам выбора в языке Golog. Но в языке ALisp для принятия решений применяется не программа доказательства теорем, а средства определения правильного действия с помощью индуктивного обучения, в которых используется обучение с подкреплением. Поэтому язык ALisp может рассматриваться как удобный способ внедрения знаний о проблемной области в процедуру обучения с подкреплением, особенно знаний об иерархической структуре «процедур» желаемого поведения. До сих пор язык ALisp применялся для решения задач робототехники только в имитационных исследованиях. Его можно доработать для программирования роботов с подражательным мышлением и адаптивным поведением, способных к обучению в результате взаимодействия со своей средой.

Чувствительность в сочетании с достаточно совершенным и разнообразным программным обеспечением управляющего искусственного интеллекта позволяют когнитивным роботам работать с неориентированными предметами произвольной формы, осуществлять сборку и монтаж конструкций по чертежу, взаимодействовать с внешней средой, выполнять требуемую последовательность операций в меняющейся обстановке. Чувствительность когнитивных роботов с искусственным интеллектом является необходимой предпосылкой для повышения их функциональных и двигательных профессиональных возможностей.

Когнитивные роботы с подражательным мышлением и адаптивным поведением имеют перспективу широкого практического применения в качестве цифровых умных роботов лекторов и консультантов в образовательной деятельности цифровых университетов для обучения студентов на основе он-лайн курсов. Когнитивных роботов с подражательным мышлением и программным интерфейсом можно использовать менеджерами и программировать на управление роботизированными умными фабриками [3].

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Evgeniy Bryndin. Development of sensitivity and active behavior of cognitive robot by means artificial intelligence // *International Journal of Robotics Research and Development*. – 2020. – vol. 10. – no.1. – P. 1–11.
2. Брындин Е.Г. Роботы с искусственным интеллектом и спектроскопическим зрением на высокотехнологичном рынке труда // *Мягкие вычисления и измерения*. – 2019. – № 9. – С. 49–56.
3. Evgeniy Bryndin. Cognitive Robots with Imitative Thinking for Digital Libraries, Banks, Universities and Smart Factories // *International Journal of Management and Fuzzy Systems*. – 2017. – Vol. 3. – no.5. – P. 57– 66.



## СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ И ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЕНИЯ

А.В. Калганова, Е.А. Шутов, Е. Д. Капустина  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: avk153@tpu.ru

## COMPARISON OF ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS FOR CALCULATING GROUNDING

A. V. Kalganova, E.A. Shutov, E. D. Kapustina  
National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *In this paper, has been made the calculation of the permissible values of the touch voltage, step voltage, and the permissible resistance value. Has been made modeling the system of grounding. Has been modeled a diagram of the electromagnetic fields.*

При выборе защитного и заземляющего оборудования на предприятиях как правило используют расчётные методики, которые сильно упрощены [1]. На практике это зачастую приводит к тому, что приходится производить замену оборудования, что увеличивает денежные затраты. Современные средства моделирования позволяют за достаточно короткие сроки создавать точные модели электроэнергетических систем, что позволяет делать более точный выбор и настройку работы оборудования, защиты, а также системы заземления, что позволяет автоматизировать, и ускорить сам процесс расчёта.

В данной работе рассматривается процесс моделирования системы заземления на подстанции с высоковольтным оборудованием.

При создании модели задавались параметры каждого отдельного элемента системы заземления. Были выбраны и заданы параметры расстояния элементов заземления, а также параметров каждого из слоев земли.

В таблице 1 приведены аналитически рассчитанные значения пределов допустимого сопротивления заземляющего устройства ( $R_G$ ), значения допустимого напряжения прикосновения ( $E_{touch}$ ) и допустимые значения шагового напряжения ( $E_{step}$ ) [1].

Значение удельного сопротивления заземляющего устройства по ПУЭ не должно превышать  $R_{GD}=4$  Ом в установках более 1 кВ [2].

В модели расчета программным комплексом дополнительно учитывались высокая проводимость почвы и многослойность грунта [3]:

$$\rho_{soil} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{[\rho_1 \cdot (L-H+f) + \rho_2 \cdot (H-f)]} = 193,7, \text{ Ом};$$

где  $\rho_{soil}$  – удельное сопротивление двух слоев земли,  $\rho_1, \rho_2$  – удельное сопротивление верхнего и нижнего слоев земли,  $L$  – длина стержней,  $H$  – глубина верхнего слоя земли,  $f$  – заглубление заземлителей.

После проведенных необходимых расчетов происходит выбор и настройка всех элементов системы защиты в программном комплексе (рис.1). Данный результат расчёта сопоставим с аналитическим расчетом, приведенном в таблице 1.

Таблица 1 – Данные рассчитанного сопротивления земли

$R_G$ , Ом	$E_{touch}$ , В	$E_{step}$ , В
3,75	3563	12760

74

	Calculated Volts	Tolerable Volts
Touch	2463,7	3672,9
Step	1086,8	13202,3
GPR	3764,5 Volts	Rg 3,706 Ohm

Рис. 1. Расчётные допустимые уровни системы

По итогам моделирования можно заметить, что значения удельного сопротивления земли практически совпадают с рассчитанными значениями. Погрешность составляет  $\approx 1,29\%$ . Рассчитанные значения допустимого шагового напряжения и значения прикосновения имеют погрешность  $\approx 3\%$ . Результаты аналитического и численного расчетов совпадают только при учёте многослойности и качества грунтов в алгоритме программного комплекса.

Программная реализация расчета системы заземления позволяет построить диаграмму электромагнитных полей, которая изображена на рис. 2. Диаграмма отображает предельные напряжения шагового потенциала на защищаемой территории. На диаграмме отмечены цветовые обозначения, показывающие лимиты напряжений, пределы которых варьируются от 0 до 400 В [4].

В работе было произведено сравнение результатов численного и аналитического подходов к расчету системы заземления высоковольтного оборудования подстанции. Были рассчитаны допустимые значения прикосновения напряжения и шагового напряжения на территории подстанции, а также визуализирована диаграмма электромагнитных полей [5]. Результаты аналитического и численного расчетов совпали только при учете опции программного комплекса - учет многослойности земли. Результаты упрощенного аналитического расчета можно оценивать только как ориентировочные, с последующей корректировкой в модели программного комплекса. Такая методика расчета системы заземления действительно обеспечит сохранность высоковольтного оборудования и безопасность персонала.

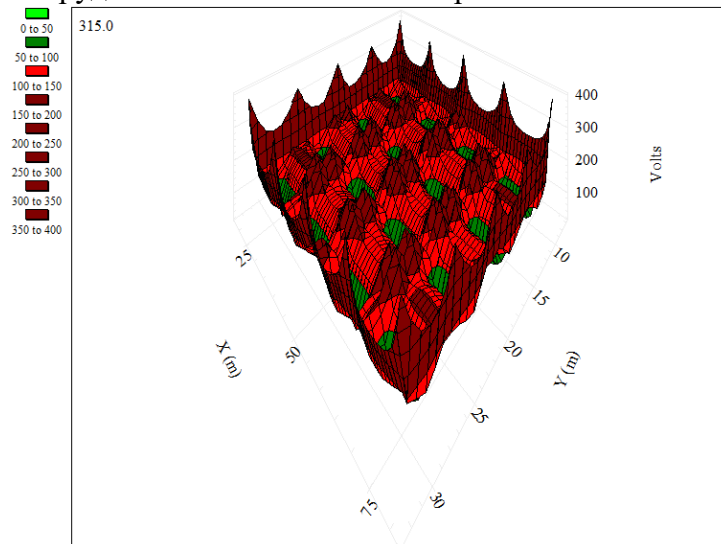


Рис. 2. Диаграмма электромагнитных полей шагового напряжения

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов Б.А., Дашковский А.Г. Расчет устройства защитного заземления. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 12 с.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / Минэнерго РФ. – 7-е издание 2002

3. Барыбина Ю. Г. и др. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. – М: Энергоатомиздат, 1991 г. – 464 с.
4. DEHN + SÖHNE: Protection Guide 3rd updated edition, DEHN + SÖHNE GmbH, 2014 – 489 p.
5. Etap powering success, User Guide, Operation technology, Inc. Registered to ISO 9001:2008, October 2016 – 5447 p.

## ВНЕДРЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ НА АЭС

О.Р. Крашенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: ork1@tpu.ru

## INTRODUCTION OF ALKALINE ELECTROLYZERS AT NUCLEAR POWER PLANTS

O.R. Krashenko

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation. The purpose of the study is to determine the optimal technology for hydrogen production. The report discusses the problems of hydrogen production. The main focus is on hydrogen production using alkaline electrolyzers. The scientific novelty of the research is to develop a technology for the production of hydrogen on an industrial scale, while minimizing the cost price of products.*

В настоящее время остро встал вопрос, связанный с водородной энергетикой. Водородные технологии становятся одним из актуальных направлений трансформации энергетики мира. На данный момент около 80% водорода получают из природного газа и нефтепродуктов путем паровой конверсии. В эндотермическом процессе паровой конверсии сжигается около половины природного газа с выбросом продуктов сгорания в атмосферу, что наносит вред экологии [1].

Щелочные электролизеры являются ключевой разработкой для получения водорода на атомных станциях при использовании расплавов солей и щелочей. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами электролиза и являются наиболее экологичными в сравнении с другими видами производств.

На данный момент, технология наработки водорода путем электролиза реализована на многих АЭС в РФ, но не переведена в промышленные масштабы. Щелочные электролизеры могут улучшить и наладить процесс наработки водорода [2].

К примеру, реализованный проект получения водорода путем адиабатической конверсии метана требует затрат на [3]:

- первоначальное строительство 230млрд. руб.;
- природный газ (в расчете на одну установку) – 11400 млн руб./год;

Решением проблемы является внедрение электролизеров, способных нарабатывать водород в промышленных масштабах, при минимизации себестоимости продукции на АЭС. Предлагаемая технология состоит из двух ступеней (рис.3): в первой ступени исходным сырьем является галит из которого методом электролиза нарабатывается щелочь с побочным получением водорода. На второй ступени используется щелочной электролизер, главным продуктом которого является водород [4].

Отбор воды для установки производится из химического цеха, а точнее – из системы водоподготовки. Через сеть трубопроводов вода поступает в отдельный цех по наработке водорода и производству сопутствующих продуктов. Далее в смесителе происходит образование раствора хлорида натрия, который через распределительные трубопроводы соединяется электролизерами первой ступени.

На первой ступени каскада происходит следующая реакция:  $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$  на катоде:  $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$ ; на аноде:  $2Cl^- - 2e = Cl_2$ ; в сумме:  $2NaCl + 2H_2O \xrightarrow{2e} H_2 + Cl_2 + 2NaOH$

Схема электролизеров представлена на рис.1 [5].

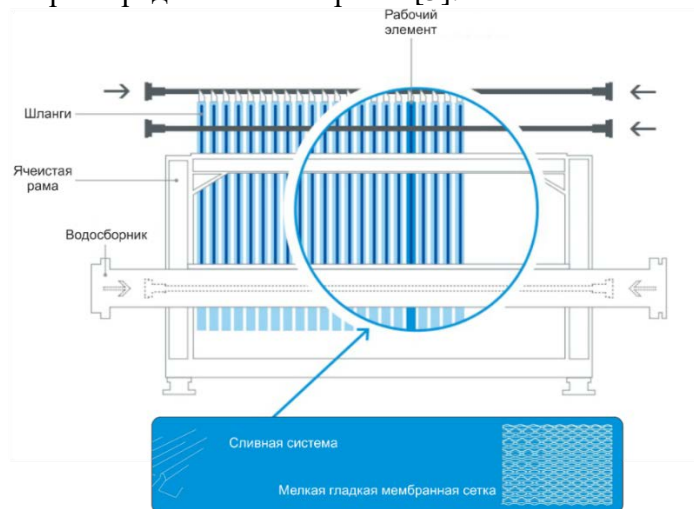
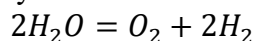


Рис.1. Схема электролизёра первой ступени

Из первой ступени электролизёра отводятся  $H_2$  в баки хранения водорода и  $Cl_2$  в систему обращения с хлором (рис.2). Получившийся раствор  $NaOH$  также можно использовать для дальнейшей наработки водорода путем электролиза во второй ступени по схеме: на катоде:  $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$ ; на аноде:  $4OH^- = O_2 + 2H_2O + 4e$ ; в сумме:



Преимущества: Уникальная система уплотнений и шлангов обеспечивает 100% герметичность до 4,7 бар (рабочее давление: ниже 0,5 бар). Роликовая подвеска каждого отдельного элемента обеспечивает точную регулировку контактного давления. Прочные, износостойкие прокладки из ПТФЭ (политетрафторэтилена). Собранные элементы могут храниться в течение многих месяцев. Быстрая и простая замена элементов. Только один тип элемента в одном электролизере (специальные концевые элементы не требуются). За счет специальной ионной мембраны достигается эффект «нулевого зазора», чем обеспечивается герметичной, а следовательно, и безопасность установки.

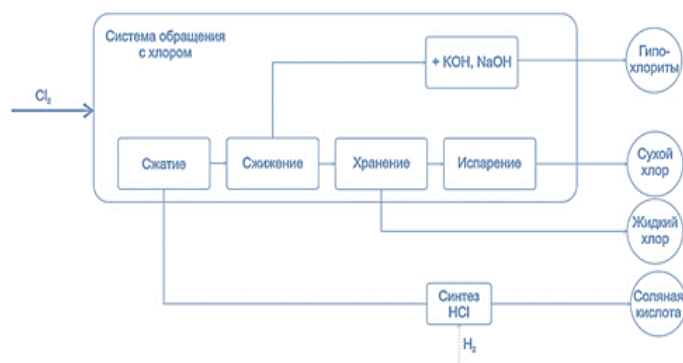


Рис.2. Схема системы обращения с хлором

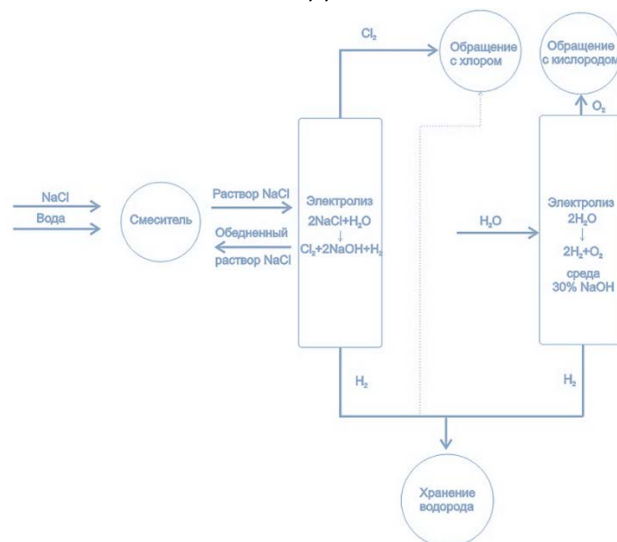


Рис.3. Принципиальная схема процесса

Итоговыми продуктами являются водород, хлор в жидкой и сухой форме, гипохлориты натрия, соляная кислота и кислород.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев-Степной Н.Н. и др. Атомный энерготехнологический комплекс с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами для масштабного экологически чистого производства водорода из воды и природного газа // Газовая промышленность. – 2018. – № 11 – С. 94–102.
2. Aminov R.Z., Bairamov A.N. Performance evaluation of hydrogen production based on off-peak electric energy of the nuclear power plant // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – vol. 42(34). – P. 21617–21625.
3. Пономарев-Степной Н.Н. Перспективы атомно-водородной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.eriras.ru/files/5\\_ponomarev-st\\_prezentatsiya\\_25\\_10\\_18-.pdf](https://www.eriras.ru/files/5_ponomarev-st_prezentatsiya_25_10_18-.pdf) (дата обращения 11.10.2020).
4. Холлиншид Г., Икард М., Надоленко В. Щелочной электролиз – альтернатива электролизу с ионно-обменными мембранами // Наноиндустрия. – 2011. – № 5(29). – P. 32–34.
5. Karl Verfondern Nuclear Energy for Hydrogen Production. – Germany: Forschungszentrum Jülich GmbH, 2007. –199 p..

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ОПТИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

П.А. Малофеева, Д.В. Купцова, Р.Б. Абеуов  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: malofeeva\_polina\_a@mail.ru

### AUTOMATIC DEVICE FOR OPTIMIZING ELECTRICAL ENERGY LOSSES IN THE ELECTRICAL NETWORK OF THE POWER SYSTEM

P.A. Malofeeva, D. V. Kuptsova, R.B. Abeuov  
National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** To this day, minimizing the losses of eclectic energy during its transport through the electric grids of the power system remains an urgent task. The purpose of this work was to develop general principles for constructing an automatic device for optimizing electrical

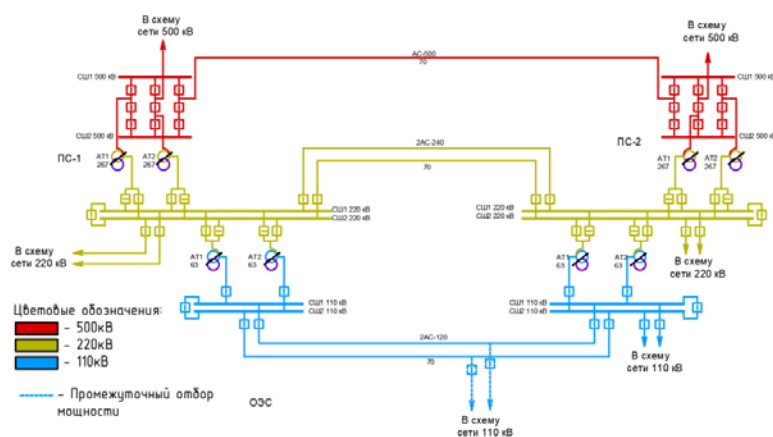
*energy losses. This device will reduce power losses through the implementation of circuit-mode measures, while excluding the actions of operating personnel.*

Согласно Энергетической стратегии России, на период до 2035 года [1], снижение потерь электроэнергии в единой национальной электрической сети (ЕНЭС) является одной из наиболее приоритетных задач. На данный момент потери электроэнергии составляют 3 – 5% от всего отпуска электрической энергии в Единую национальную электрическую сеть. Снижение потерь электроэнергии возможно осуществить различными методами, одним из наиболее эффективных мероприятий является отключение электросетевого оборудования в режиме минимальных нагрузок. Реализацию данного мероприятия, в настоящее время осуществляют силами оперативно-диспетчерского персонала, что не исключает ошибок и требует значительных временных затрат. Разработка автоматического устройства оптимизации потерь электроэнергии (АУОПЭЭ), осуществляющего схемно-режимные мероприятия в автоматическом режиме, позволила бы более эффективно решать задачи снижения потерь в ЕНЭС.

Целью проведенных исследований стала разработка общей концепции построения АУОПЭЭ, включающей в себя, алгоритм работы, схему логики и структурно-функциональную схему устройства.

Наибольшего эффекта от применения АУОПЭЭ можно достигнуть, установив его в контролируемом сечении, состоящем из воздушных линий электропередачи (ВЛ) различного класса напряжения. В соответствии с разработанным алгоритмом АУОПЭЭ, в режиме минимальных нагрузок, по факту снижения тока ВЛ более низкого класса напряжения до значения меньшего чем ток уставки, АУОПЭЭ в автоматическом режиме производит одностороннее отключение этой ВЛ. После отключения ВЛ, перетоки активной мощности перераспределяются между ВЛ более высокого класса напряжения, входящими в контролируемое сечение, тем самым снижая потери электрической энергии при её транспорте. При переходе контролируемого сечения от режима минимальных к режиму максимальных нагрузок, по факту увеличения тока, контролирующий орган выдает сигнал на обратное включение ранее отключенной ВЛ. То же самое происходит при аварийном отключении любой из ВЛ, входящей в контролируемое сечение.

Для определения эффективности схемно-режимных мероприятий для контролируемого сечения, схема которого приведена на рис. 1, проведен ряд расчетов электрических режимов в ПК RastrWin3. Расчеты электрических режимов показали, что одностороннее отключение ВЛ более низкого класса напряжения, входящих в контролируемое сечение, является эффективным мероприятием снижения потерь электрической энергии при её транспорте.



*Рис.1. Схема электрическая принципиальная контролируемого сечения*

Разработка и моделирование схемы логики АУОПЭЭ было выполнено с помощью программного комплекса MatLab Simulink (рис.2).

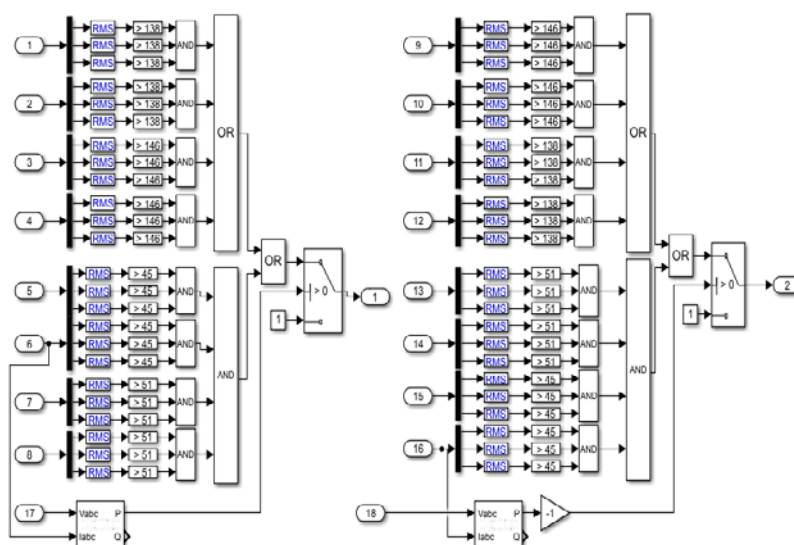


Рис. 2. Модель схемы логики АУОПЭЭ в ПК MatLab Simulink

Схема логики АУОПЭЭ состоит из трех основных модулей: измерительного, логико – вычислительного и исполнительного. Измерительный модуль, осуществляет контроль действующих значений токов и перетоков мощности ВЛ в режиме реального времени. Логико-вычислительный модуль осуществляет формирование объемов управляющих воздействий. Исполнительный орган, осуществляет их выдачу во внешние устройства.

АУОПЭЭ работает следующим образом. Аналоговые значения токов воздушных линий электропередачи напряжением 110 – 220 кВ передаются по измерительным цепям в измерительный модуль АУОПЭЭ. В блоках сравнения измеренные значения токов, сравниваются с токами уставок срабатывания АУОПЭЭ. В режиме минимальных нагрузок, при достижении токов ВЛ 110 кВ уставки срабатывания АУОПЭЭ, по цепям управления подается сигнал на отключение линейных выключателей 110 кВ, а также сигнал на блокировку РЗ и АПВ линии. По факту увеличения тока по ВЛ 220 кВ АУОПЭЭ выдает сигнал на включение ранее отключенных ВЛ 110 кВ и разблокировку РЗ и АПВ этих линий.

Разрабатываемое автоматическое устройство оптимизации потерь электроэнергии позволит добиться сокращения потерь электроэнергии посредством реализации схемно-режимных мероприятий в контролируемых сечениях в автоматическом режиме без привлечения оперативного персонала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.2009. № 1715-р. – Москва, 2009. – 98 с.

## СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

А.А. Правикова<sup>1</sup>, Д.Ю. Ляпунов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики ТУСУР

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: lyapunov@tpu.ru

## A POWER SUPPLY FOR A REMOTELY OPERATED UNDERWATER VEHICLE

A.A. Pravikova<sup>1</sup>, D.Y. Lyapunov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Automation and Electromechanics TUSUR

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The paper delves into the block diagram of the power supply for a remotely operated underwater vehicle (ROV) that is supplied via AC transmission line in the form of a rope-cable. The block diagram combined the power supply circuitry and a control system that ensures the desired voltage at the load representing ROV's electrical equipment. Authors suggest to compensate the voltage drop across the rope-cable by introducing a bias signal and adding it to the reference signal that sets the voltage needed across the load. The simulation results in Matlab Simulink showed that the power supply provides the ROV with electric power of admissible quality and voltage of 1200 V within  $\pm 10\%$  error band.*

В последние годы телеуправляемые подводные аппараты (ТПА) широко применяются для разведки нефти и газа в мировом океане, а также для возведения подводных конструкций и спасательных операций. Чтобы обеспечить указанные действия, ТПА нуждаются в надёжном источнике электроэнергии, который посредством кабель-троса обеспечивает передачу электроэнергии на подводную часть. Длина кабель-троса может достигать 8 км и более, что вызывает определённые проблемы с контролем уровня напряжения на ТПА из-за значительного падения напряжения. Для организации системы управления уровнем напряжения необходимо его отслеживать и контролировать желаемым образом посредством применения замкнутой системы автоматического управления. Кроме того, целесообразно обеспечить приемлемое качество формы питающего напряжения на нагрузке для снижения потерь от высших гармоник [1]. Под нагрузкой понимается силовое электрооборудование на борту ТПА, посредством которого осуществляются операции ТПА на морском дне – манипуляторы, движители, освещение.

Существует два варианта электроснабжения ТПА. Первый предусматривает применение высоковольтной линии электропередачи постоянного тока. Второй – использование высокочастотной линии переменного тока. В настоящее время оба варианта широко применяются для обозначенной цели [2]. В данной работе рассматривается вариант переменного тока, что, по мнению авторов, позволит значительно снизить массогабаритные показатели электрооборудования как на борту судна снабжения, так и непосредственно в ТПА. При этом основной преобразовательный элемент – трансформатор и основная часть силовых преобразователей электроэнергии располагаются на борту. Принимая во внимание все вышесказанные преимущества, на рис. 1 представлена система электроснабжения ТПА с электропередачей переменного тока по кабель-тросу.



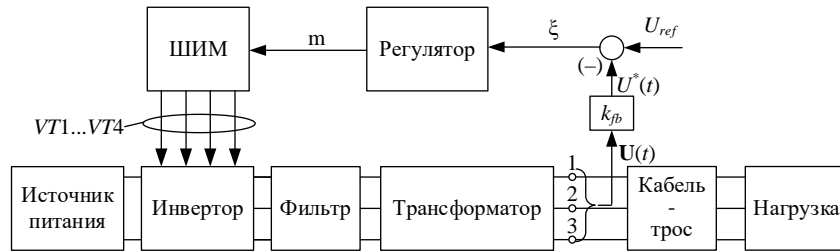


Рис. 1. Система электроснабжения телеуправляемого подводного аппарата

Источник питания установлен на борту судна снабжения. Энергия с этого источника поступает на инвертор через фильтр, далее, на трансформатор, который повышает уровень линейного трехфазного напряжения примерно до 1900 В. Напряжение бортовой части измеряется на выходных клеммах 1, 2 и 3. Далее электроэнергия передается посредством кабель-троса на нагрузку номинальной мощности 48 кВт. Действующее значение линейного напряжения на нагрузке должно быть 1200 В с зоной допустимых отклонений  $\pm 10\%$ , согласно условиям технического задания. Частота питающего напряжения составляет 1000 Гц, что соответствует оптимальным массогабаритным показателям силового трансформатора и фильтра.

К сожалению, падение напряжения на кабель-тросе может составлять до 700 В, согласно наземным испытаниям. Потеря напряжения на рассматриваемой части системы электроснабжения является неизбежным. Тем не менее, снимая напряжение на выходных клеммах 1, 2 и 3 в виде вектора  $U(t)$ , преобразуя его в знакопостоянный сигнал обратной связи по напряжению на борту  $U^*(t)$  с применением блока обратной связи  $k_{fb}$ , вычисляя ошибку  $\xi$  как разность сигнала задания  $U_{ref}$  и обратной связи  $U^*(t)$  и направляя сигнал ошибки на регулятор, структура (рис. 1) обеспечивает требуемый уровень линейного напряжения на ТПА посредством блока ШИМ, который формирует синусоиду напряжения инвертора с коэффициентом модуляции  $m$ .

Методы настройки регуляторов представлены в [3]. Для нашего случая была применена настройка регулятора напряжения на симметричный оптимум, что гарантирует желаемые динамические характеристики системы электроснабжения. Для компенсации падения напряжения на кабель-тросе предлагается добавлять сигнал постоянного смещения к сигналу задания  $U_{ref}$  для того, чтобы получить желаемое напряжение на ТПА 1200 В. Этот сигнал вычисляется на основе результатов наземных испытаний кабель-троса и соответствует падению напряжения.

Перед созданием макетного образца системы электроснабжения имеет место стадия разработки её имитационной модели. Среди сред математического моделирования электротехнических комплексов, Matlab Simulink предлагает универсальный набор блоков для моделирования как силовых схем, так и систем управления, представленных в одном файле [4]. Это позволяет значительно снизить временные и стоимостные затраты на разработку системы электроснабжения. Кроме того, рассматриваемый способ моделирования позволяет учитывать допустимый разброс параметров компонентов силовой схемы электротехнического комплекса [5].

Осциллограмма линейного напряжения на борту  $U(t)$  на выходных клеммах в установившемся режиме представлена на рис. 2.

Визуально можно оценить, что кривая напряжения (рис. 2) содержит высшие гармоники. Однако, для питания ТПА она подходит и с учётом падения напряжения на кабель-тросе, на нагрузке обеспечивается действующее значение линейного напряжения 1200 В в пределах зоны допустимых отклонений  $\pm 10\%$ . Использование кривой напряжения на подводной части ТПА в качестве сигнала обратной связи для системы управления представляет сложную техническую задачу, так как кабель-трос является линией с распределёнными параметрами с присущими ей волновыми явлениями.

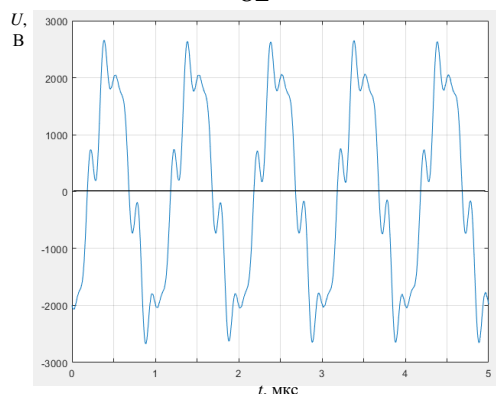


Рис. 2. Осциллограмма напряжения на выходных клеммах бортовой части

Предложенная структурная схема автоматического управления уровнем напряжения на выходных клеммах трансформатора, расположенного на борту судна снабжения, в значительной степени решает эту задачу.

Исследованная структура системы электроснабжения может служить базой для разработки линейки систем электроснабжения с электропередачей переменного тока для питания ТПА.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rashid M. Power Electronics Handbook. –Cambridge: Elsevier, 2018. – 1522 p.
2. Christ R., Wernly R. The ROV Manual: A User Guide for Observation-Class Remotely Operated Vehicles. –Oxford: Elsevier Ltd, 2007. – 679 p.
3. Лукас В.А. Теория автоматического управления. – М.: Недра, 1990. – 416 с.
4. Фролов В.Я. Устройства силовой электроники и преобразовательной техники с разомкнутыми и замкнутыми системами управления в среде Matlab – Simulink. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 332 с.
3. Юдинцев А.Г., Ткаченко А.А., Ляпунов Д.Ю. Методика разработки имитатора нагрузок для наземных испытаний систем электропитания автономных объектов // Электротехнические системы и комплексы. – 2020. – № 1 (46). – С. 60–66.

### УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

И.А. Разживин, Н.Ю. Рубан, А.С. Гусев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: lionrash@tpu.ru

### UNIVERSAL MODEL OF AERODYNAMIC CONVERSION FOR SPECIALIZED PROCESSOR OF WIND TURBINE

I.A. Razzhivin, N.Yu. Ruban, A.S. Gusev

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The article deals with a universal model of aerodynamic transformation of a wind power plant. This model is implemented in specialized software-hardware hybrid simulation tool and is intended for a comprehensive solution to the design and operation of power systems with wind power plants, and can also be used for further research of problems associated with a change in the total inertia in power systems with wind power plants and the development of techniques settings of automatic devices to prevent stability violation.*

Энергия ветра считается одной из самых перспективных и наиболее конкурентоспособных экологически чистых источников энергии. Использование

ветроэнергетических установок (ВЭУ) способствует покрытию растущего потребления электроэнергии во многих развитых странах Европы, США, Канаде, на Ближнем Востоке и др. Важным аспектом в решении большинства задач исследования, проектирования и эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС) с ВЭУ является их математическое моделирование, гарантированная приемлемая точность которого определяется двумя факторами: полнотой и достоверностью математической модели и вычислительной способностью и возможностью программных и программно-аппаратных средств моделирования. Авторами предлагается использовать специализированный программно-аппаратный инструмент гибридного моделирования собственной разработки – Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС) [1]. ВМК РВ ЭЭС – это многопроцессорный комплекс, который объединяет в себе набор специализированных процессоров (СП), моделирующих все основное и вспомогательное оборудование моделируемой ЭЭС. Гибридный подход предполагает моделирование на цифровом, аналоговом и физическом уровнях.

Авторами был разработан специализированный процессор (СП) для моделирования ВЭУ 4-го в составе ВМК РВ ЭЭС [2, 3], в котором реализована модель аэродинамического преобразования ВЭУ, позволяющая получить механический момент  $M_{ВЭУ}$  на валу ветроколеса (ВК) [4,5]:

$$M_{ВЭУ} = \frac{P_{МЭХ}}{\omega} = \frac{\rho \pi R^2 V^3 C_P(Z, \beta)}{2\omega},$$

где  $P_{МЭХ}$  – механическая мощность развиваемая ВК,  $C_P$  – коэффициент использования энергии ветра;  $\omega$  – угловая частота вращения ВК,  $\rho$  – плотность воздуха;  $\pi R^2$  – площадь, ометаемая ВК;  $R$  – радиус ветроколеса;  $V$  – скорость ветра, с учетом его турбулентной составляющей,  $\beta$  – угол атаки лопастей ветроколеса,  $Z$  – быстроходность ВК.

Реализация математической модели аэродинамического преобразования и других систем автоматического управления ВЭУ в СП на цифровом уровне в микроконтроллере AT91SAM7X256 на базе ARM с применением Ассемблера, что позволяет ускорить процесс моделирование. Разработанная система является универсальной для любого типа ВЭУ и представлена на рис.1.

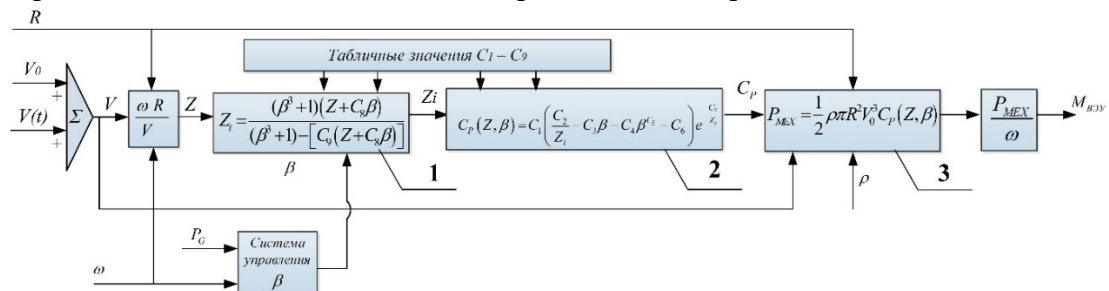


Рис. 1. Функциональная схема математической модели аэродинамического преобразования ВЭУ:  $V_0$  – средняя скорость ветра;  $V(t)$  – турбулентная составляющая скорости ветра; блок 1 – математическая модель быстроходности  $Z_i$ ; блок 2 – математическая модель  $C_P$ ; блок 3 – математическая модель расчета  $P_{МЭХ}$ .

Возможные коэффициенты  $C_1 - C_9$  для разных типов турбин представлены в таблице 1. В современных ВЭУ применяется активное управление  $\beta$  – «Pitch»-регулирование [6].

Такое управление позволяет плавно пускать и аварийно останавливать ВК, осуществлять работу ВЭУ в точке выдачи максимальной мощности при разных скоростях ветра.

Кроме того, при некоторой модификации «Pitch»-регулирование в ряде стран используют с целью резерва мощности и возможности и участия в частотном регулировании [7, 8], а также такое регулирование имеет некоторое влияние на виртуальное управление инерцией.

Таблица 1 – Коэффициенты для ветровых турбин [4, 5]

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Универсальные	0,5	116	0,4	0	-	5	21	0,08	0,035
ВЭУ с переменной скоростью вращения 3 и 4 тип	0,73	151	0,58	0,002	2,14	13,2	18,4	-0,02	-0,003

Описанную модель аэродинамического преобразования с контроллером управления углом  $\beta$  предполагается применять для исследования ряда задач, связанных не только с вопросами проектирования и эксплуатации ЭЭС с ВЭУ в различных режимах работы, но и для решения задач участия ВЭУ в частотном регулировании ЭЭС, исследовании проблем, связанных с изменением суммарной инерции в ЭЭС с ВЭУ и разработке методик настройки устройств автоматики предотвращения нарушения устойчивости.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № МК-1675.2019.8.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем // Известия Вузов. Проблемы энергетики. – 2008. – № 9.10/1. – С. 164.–170.
2. Разживин И.А., Рубан Н.Ю., Аскарлов А.Б., Уфа Р.А. Разработка программно-технических средств моделирования ветроэнергетической установки 4 типа // Вестник Иркутского государственного технического университета. –2020. –Т. 24.– № 1. – С. 183–194.
3. Разживин И.А., Аскарлов А.Б., Суворов А.А., Киевец А.В. Синтез математической модели ветротурбины для достоверной оценки влияния ветроэнергетики на режимы работы энергосистем. // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2019. – № 6 (119). – С. 10–15.
4. Heier, S. Grid Integration of Wind Energy: Onshore and Offshore Conversion Systems. – UK: John Wiley & Sons Inc., 2014. – 520 p.
5. Wind power in power systems / edited by Thomas Ackermann. — 2nd ed. – Chichester.: Wiley, 2012. – 1120 p.
6. Разживин И.А., Суворов А.А., Аскарлов А.Б., Андреев М.В. Разработка математической модели автоматического управления углом тангажа для специализированного гибридного процессора ветроэнергетической установки 4 типа // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2020. – № 10 (135). – С. 4–11.
7. Requirements for Offshore Grid Connections in the E.ON Netz Network. E.ON Netz grid code report. – Bayreuth.: E.ON Netz GmbH, 2008.– 14 p.
8. Li P., Hu W., Hu R. and Chen Z. The integrated control strategy for primary frequency control of DFIGs based on virtual inertia and pitch control // Innovative smart grid technologies: proceedings of the International Conference. – 2016 – P. 430–435.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГООБЛОКА С ПАРООХЛАЖДАЕМЫМ ЯДЕРНЫМ РЕАКТОРОМ И ГАЗОТУРБИНОЙ НАДСТРОЙКОЙ

А.М. Антонова, А.С. Мережко, А.В. Воробьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: anton@tpu.ru

## EFFICIENCY OF POWER UNIT WITH STEAM-COOLED NUCLEAR REACTOR AND GAS TURBINE TOPPING

A.M. Antonova, A.S. Merezko, A.V. Vorobiev

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The paper considers a power unit with a steam-cooled reactor and a gas turbine unit as a source of heat for generating weakly superheated steam - the coolant of a nuclear reactor. The purpose of the research is to determine the efficiency of the power unit and to reveal its dependence on the initial steam pressure.

В странах с развитой атомной энергетикой активно ведутся разработки инновационных быстрых реакторов, охлаждаемых натрием, свинцом или газом, а также водой сверхкритического давления, для работы в замкнутом топливном цикле.

Перейти к быстрому спектру нейтронов, использовать достоинства водного теплоносителя и при этом избежать слишком высоких давлений теплоносителя можно путем использования для охлаждения активной зоны реактора перегретого водяного пара. Для получения слабоперегретого пара, который подается в активную зону, ранее предлагалось несколько способов [1]. В данной работе рассматривается вариант генерации пара за счет теплоты отработавших газов газотурбинной установки (ГТУ) и дальнейший его перегрев в реакторе до высокой температуры.

Исследование проводилось с целью определения эффективности энергоблока с пароохлаждаемым реактором и ГТУ и выявления факторов, от которых она зависит.

Исследуемый энергоблок с быстрым пароохлаждаемым реактором, надстроенный ГТУ, может иметь простейшую схему с одноконтурным парогенератором без промежуточного перегрева пара (рис.1). Регенеративный подогрев питательной воды в такой установке не требуется, так как суммарный эффект от регенерации будет отрицательным, что объясняется ростом температуры уходящих газов и снижением КПД парогенератора при повышении температуры питательной воды. Рециркуляция конденсата после экономайзера обеспечивает температуру на входе в ПГ (точка А на схеме) на уровне 60—65 °С, необходимом по условиям работы поверхностей нагрева.

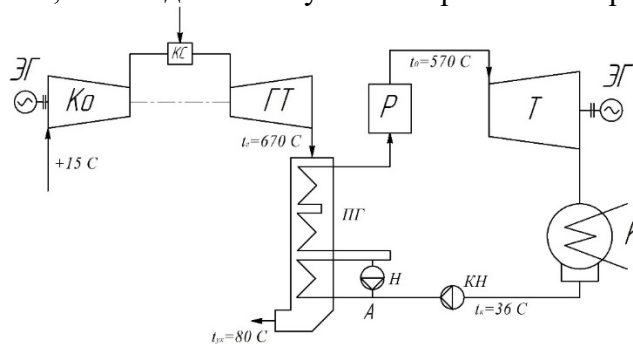


Рис. 1. Принципиальная схема энергоблока с пароохлаждаемым реактором и ГТУ: Р – реактор; Т – паровая турбина; К – конденсатор; КН – конденсатный насос; ПГ – парогенератор; Н – насос рециркуляции; ГТ – газовая турбина; КС – камера сгорания; Ко – компрессор; ЭГ – электрогенератор

Выбор высокотемпературной ГТУ Siemens SGT5–9000HL мощностью 593 МВт обоснован ее высоким КПД (42,8%) [2]. Приняты следующие условия и допущения:

- перегрев пара в парогенераторе  $30^{\circ}\text{C}$ ; температура пара перед входом в турбину равна  $570^{\circ}\text{C}$ ; начальное давление пара в базовом варианте принято 4 МПа; давление в конденсаторе равно 6 кПа; допустимая влажность пара в турбине  $\leq 11\%$ ;

- для исключения конденсации водяных паров из газов на хвостовых поверхностях нагрева принята температура уходящих газов  $80^{\circ}\text{C}$ .

Расчеты проведены на модели, основанной на балансовом методе. Анализ результатов говорит о том, что тепловая эффективность рассматриваемого энергоблока значительно превышает показатели существующих атомных станций: КПД энергоблока составил 55,7%, что в 1,7 раза выше КПД энергоблоков с ВВЭР.

С целью исследования влияния начального давления пара на экономичность энергоблока проведены варианты расчеты тепловой схемы энергоблока при различных значениях начального давления пара, которое варьировалось в диапазоне 4...15 МПа. Результаты расчетов представлены на рис.2. С ростом давления пара КПД паротурбинной установки (ПТУ) изменяется от 38,6 до 42,9 %, т.е. относительный прирост КПД ПТУ составляет 11 %. Несмотря на столь существенный прирост КПД ПТУ, КПД энергоблока меняется в диапазоне 0,557...0,579, прирост составляет 3,9 % (отн.). Расход генерируемого пара в этом диапазоне меняется еще меньше: от 242,6 до 248,1 кг/с (прирост 2,3 %), мощность энергоблока – в диапазоне 869...899 МВт (прирост 3,5 %). Тепловая мощность реактора снижается на 3,8 %.

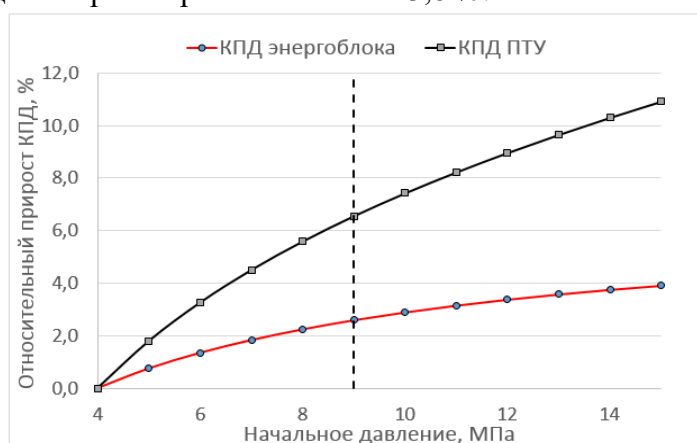


Рис. 2. Расчетные зависимости относительного прироста КПД: пунктирная линия – граница диапазона  $p_0$  по условию допустимой влажности

Анализ показывает, что, в то время как в рассматриваемом диапазоне начальное давление пара увеличивается в 3,75 раза, колебания основных показателей энергоблока не превышают 2...4 %, что можно отнести к малым изменениям. Кроме того, основной рост КПД и мощности энергоблока имеет место в интервале значений начального давления от 4 до 8 МПа, затем рост КПД и мощности энергоблока замедляется.

Отсюда следует важнейший вывод: обеспечить очень высокий КПД энергоблока с пароохлаждаемым ядерным реактором и ГТУ можно, не повышая начальное давление пара, что позитивно скажется на безопасности реактора и энергоблока и инвестициях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Просвирнов А.А., Нафталъ М.М. Концепция быстрого парового реактора малой мощности [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://seplm.ru> (дата обращения: 04.05.2020).
2. Газовая турбина SGT5-9000HL [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/energetika/proizvodstvo-energii/gazovie-turbiny/sgt-9000hl.html> (дата обращения: 18.03.2020).

# АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ДОЛЕВОГО УЧАСТИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ И МОЩНОСТИ

Е.А. Цыденов, А.В. Прохоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: evgenytsydenov@tpu.ru

## ONLINE ESTIMATION OF POWER PLANT PARTICIPATION FACTORS FOR AUTOMATIC GENERATION CONTROL

E.A. Tsydenov, A.V. Prokhorov

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** This paper presents an approach for flexibility boosting of automatic generation control system via power plant participation factors estimation in online mode. Currently implemented approach is offline and accounts significantly reduces number of operating conditions which lower the efficiency of AGC because of not considering continuous variation of the state and topology. Therefore, it is necessary to do online estimation to ensure better control performance. Application of developed algorithm allows tuning of automatic generation control system in respect to the characteristics of each power plant (efficiency, production cost, reserves) while avoiding overloading of the adjacent flowgates.

Увеличение доли источников энергии с быстро изменяющимся характером работы влечет за собой появление новых требований к функционированию электроэнергетических систем (ЭЭС), что приводит к необходимости модифицировать существующие алгоритмы управления [1–3]. Одни из способов модернизации является совершенствование блока расчета и задания коэффициентов долевого участия электростанций (КДУ).

Параметры, влияющие на значение КДУ, зависят друг от друга и изменяются в процессе эксплуатации энергосистемы, поэтому для повышения эффективности решения задач АРЧМ в данной работе предлагается осуществлять расчет коэффициентов долевого участия в режиме онлайн с учетом всех критериев.

Расчет коэффициентов долевого участия электростанций является задачей оптимизации, решение которой определяется в соответствии с установленными критериями: эффективность регулирования, влияние на перетоки в смежных сечениях, объем соответствующих резервов мощности и так далее. Однако использование в работе системы АРЧМ только телеметрической информации не позволяет решить оптимизационную задачу применительно к действующей энергосистеме, так как процесс поиска оптимального решения носит итеративный характер. Поэтому для осуществления расчетов в режиме онлайн необходима модель энергосистемы.

Для онлайн расчета значений КДУ с учетом технологических, экономических и режимных параметров для каждой задачи управления. Для этого предлагается использовать алгоритм, структура которого представлена на рис. 1.

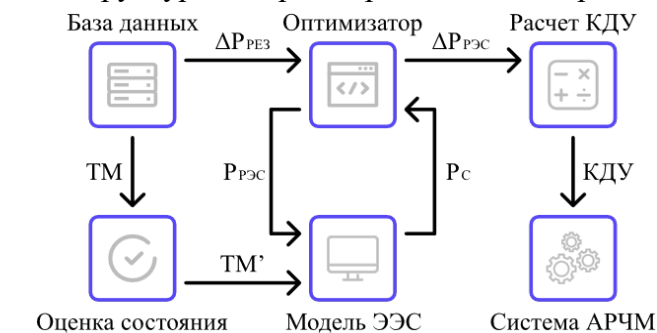


Рис. 1. Алгоритм расчета КДУ электростанций

Принцип выполнения расчетов заключается в следующем. Оцененные значения схемно-режимных параметров ЭЭС (ТМ') поступают на вход компонента, где осуществляется расчет электрического режима. Рассчитанные значения перетоков активной мощности в контролируемых связях или другие необходимые режимные параметры ( $P_C$ ) поступают на вход алгоритма оптимизации, который изменяет мощность регулирующих электростанций ( $P_{PЭС}$ ). Объемы резервов вторичного регулирования, стоимость выработки электроэнергии и другая необходимая для оптимизации информация ( $\Delta P_{PEЗ}$ ) поступает из базы данных реального времени SCADA системы диспетчерского центра. Оптимизационный алгоритм осуществляет поиск оптимальных значений задания внеплановой мощности электростанций ( $\Delta P_{PЭС}$ ) в соответствии с целевой функцией, которая определяется в зависимости от задачи управления и может содержать в себе экономические параметры, характеристики оборудования и другие параметры. Найденные значения используются для расчета КДУ, которые впоследствии поступают в систему АРЧМ.

Целевая функция может быть составлена с учетом особенностей рассматриваемой энергосистемы и накопленным опытом ее эксплуатации. Оптимизационный инструмент также может быть выбран среди множества доступных методов, однако результаты экспериментов показывают, что быстродействие всего алгоритма по большей части определяется скоростью расчета установившегося режима. При корректном выборе модели и ее настройке время расчета значений КДУ может быть значительно снижено.

Использование полученного алгоритма в цикле работы системы АРЧМ позволит определять объем и место ввода управляющих воздействий с учётом накопленного опыта эксплуатации энергосистемы, индивидуальных особенностей электростанций, как объектов управления, текущей схемно-режимной ситуации и других необходимых параметров. Разработанный метод формализует и автоматизирует процесс расчета КДУ, и тем самым упрощает работу специалистов диспетчерских центров и исключает влияние человеческого фактора при настройке системы АРЧМ. Это позволяет повысить гибкость и адаптивность системы АРЧМ, что необходимо для соответствия современным требованиям к управлению перетоками мощности.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Miao X., Ilić M. and Liu Q. Enhanced automatic generation control (E-AGC) for electric power systems with large intermittent renewable energy sources // Power & Energy Society General Meeting (PESGM): proceedings of the International Conference. – 2019. – P. 1-5.
2. Masiello R. D., Katzenstein W. P. AGC to manage high renewable resource penetrations // Power and Energy Society General Meeting: proceedings of the International Conference. – 2012. – P. 1–6.
3. Apostolopoulou D., Domínguez-García A.D., Sauer P.W. An assessment of the impact of uncertainty on automatic generation control systems // IEEE Transactions on Power Systems. – 2016. – vol. 31. –no.4. – P. 2657–2665.

#### **ПОЛУЧЕНИЕ ХОЛОДА ИЗ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

А.А. Сидорова, Э.Р. Керимов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: dyp6@tpu.ru

#### **RECEIVING COLD FROM SOLAR ENERGY**

Sidorova A.A., Kerimov E.R.

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* This article analyzes the existing system for converting solar energy into cold, identifies the shortcomings. The study showed that during a pandemic, the issue of producing



*a vaccine against a new virus arises and the problem of its transportation arises, since the vaccine is suitable only in a small temperature range. Based on the analysis, an improved system for obtaining cold from solar energy has been developed. The proposed system is multifunctional in use, it can be used both as a refrigerator and a heater.*

На сегодняшний день, не всегда удается предоставить все необходимые ресурсы для кондиционирования помещений с помощью установок, работающих от электричества. В результате чего хранение продуктов питания и лекарств, при таком охлаждении, теряет популярность и экономическую обоснованность. Толчком для выбора данной темы послужила непростая в данный момент эпидемиологическая ситуация в мире. Как известно, после производства вакцины от нового вируса, возникает проблема ее транспортировки по миру. Так как масштабы пандемии велики, важно, чтобы процесс охлаждения вакцин и их пребывания в определенном температурном промежутке был максимально экономичным и экологичным.

Описание системы. Для питания компрессора используются фотоэлектрические панели, которые преобразуют солнечную энергию в электрический ток. Система состоит из фотоэлектрических панелей, компрессора, теплоизолированного корпуса и системы управления (микроконтроллер) [1]. Фотоэлектрические панели преобразуют солнечный свет в постоянный электрический ток. Ток одновременно запасается в аккумуляторе и подается на компрессор, который начинает циркуляцию хладагента по системе. В результате фазового перехода жидкость – газ производится отбор тепла от холодильника. Температура холодильной камеры контролируется датчиками температуры через микроконтроллер или другую электрическую систему управления [2]. Таким образом, система может быть настроена на определенную температуру хранения различных продуктов. Структурная схема системы представлена на рис.1.

Главным минусом данной системы является то, что солнечный свет, в силу погодных условий, не всегда может попадать на солнечную панель в нужном количестве [2]. Поэтому следует усовершенствовать данную систему таким образом, чтобы холод поддерживался в холодильнике как можно больше времени. Рассмотрим первый способ усовершенствования данной холодильной установки. Есть возможность аккумулировать холод в специальном веществе, которое будет осуществлять фазовый переход. Тепловой ресивер (аккумулятор холода) находится внутри изолированного корпуса и включает в себя вещество, которое осуществляет фазовый переход. Это вещество замораживают до твердого состояния, например, льда, и используют как аккумулятор холода, для поддержания температуры внутри изолированного корпуса в отсутствие солнечного света. Размер и вещество аккумулятора холода желательно выбрать таким образом, чтобы холод внутри холодильника поддерживался в течение нескольких дней. Конечно, можно использовать обычную воду, но, как известно лед тает весьма быстро, поэтому предпочтительней использовать вещества, фазовый переход которых более долгий [3]. Минусом данного способа является то, что контроллер перестает питаться от солнечной панели, и поэтому необходимо рассчитывать ресивер таким образом, чтобы он охлаждался только до определенной температуры. Вторым способом является запас электрического заряда в аккумуляторе. Этот способ хорош тем, что и контроллер, и система работают в штатном режиме, и поэтому контроллером производится контроль точной температуры. Однако, этот способ не такой экономичный, как предыдущий, так как солнечная панель должна быть намного большей площади, чтобы питать и компрессор и заряжать аккумулятор одновременно. Третий способ — это совокупность двух этих методов. Так контроллером до сих пор осуществляется контроль температуры холодильной камеры, и когда температура становится выше допустимой, контроллер включает компрессор, который понижает температуру системы. Этот способ более экономичный и надежный. Не стоит забывать так же о горячем паре, которые охлаждаются в конденсаторе. Эта система может быть предназначена как для охлаждения

чего либо, так и для нагрева. К примеру, этим газом или горячей жидкостью можно нагревать радиатор, который будет отапливать какое-либо помещение. Охлажденная жидкость из радиатора будет возвращаться обратно в систему. Также, поток солнечных лучей переводится в электрический ток наиболее эффективно, когда падает на солнечную панель под углом, близком к 90 градусам [3]. Поэтому, целесообразно предусмотреть систему движения панели таким, образом, чтобы на нее попадало как можно больше солнечной энергии. Это можно реализовать двумя способами

- автоматическая система, сравнивающая величину светового потока с двух границ солнечной панели и исходя из этих данных поворачивает солнечную панель в нужную сторону при помощи привода;
- заранее подготовленная программа, поворачивающая панель уже в известном направлении с определенной скоростью и углом.

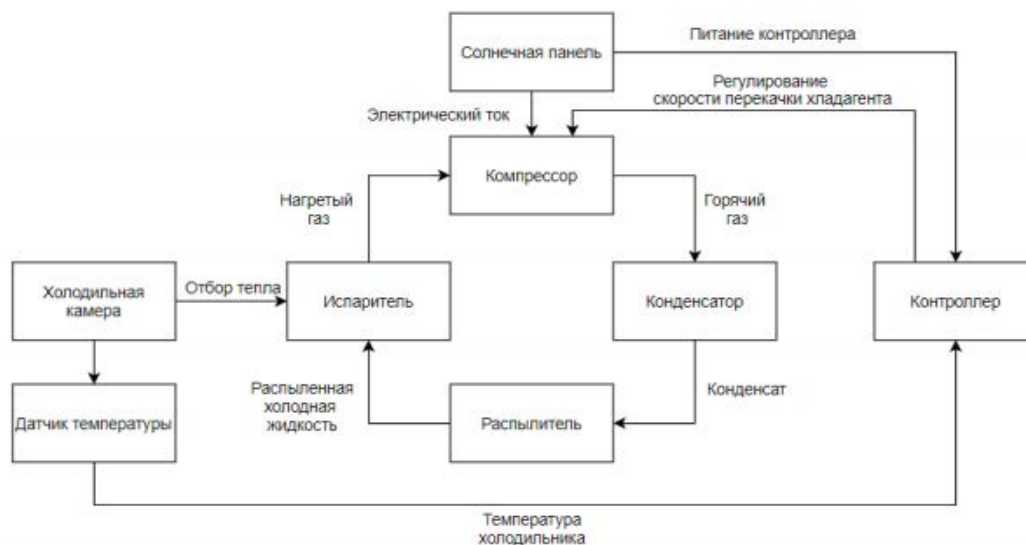


Рис.1. Структурная схема получения холода из солнечной энергии

Данная система весьма хорошо подходит для таких целей, как хранение продуктов, лекарств и вакцин. Она является весьма экологичной и экономичной, в отличие от систем, функционирующих от горючего топлива. Также, данная система многофункциональна: может использоваться как холодильник, так и нагреватель. Парокомпрессионные машины хороши тем, что существует огромное количество способов усовершенствовать их, сделать надежнее и экономичнее. В данной работе были рассмотрены способы оптимизации этой установки, а также обоснован наиболее экономичный вариант ее исполнения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Принцип работы солнечной батареи: как устроена и работает солнечная панель [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sovetingenera.com/eoenergy/sun.html> (дата обращения: 10.08.2020).
2. Парокомпрессионные холодильные машины [Электронный ресурс]. — Режим доступа <https://studfile.net/preview/3599572/page:3/> (дата обращения: 12.08.2020).
3. Solar-Powered Refrigeration System [Электронный ресурс]. — Режим доступа [https://www.nasa.gov/sites/default/files/575141main\\_MSC-22970-1\\_Solar-Refrigeration-System.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/575141main_MSC-22970-1_Solar-Refrigeration-System.pdf) (дата обращения: 12.09.2020).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БУРОВОГО ШЛАМА ДЛЯ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЫ ЦЕМЕНТА В БЕТОННОЙ СМЕСИ

В.Р. Галеев, О.В. Казьмина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: wilym@sibmail.com

## USE OF DRILL SLUDGE FOR PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT IN CONCRETE MIX

W.R. Galeev, O.V. Kazmina

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *Increasing the need of energy and its high price tempts companies to drill more oil wells every day and create more drilling waste. Most of these drilling wastes are managed to be disposed but they will always have many environmental impacts. Therefore, this study investigates the potential of using drill cuttings in concrete as a partial replacement of cement.*

Увеличение мирового спроса на энергоносители, компенсируется за счет бурения большего количества нефтяных скважин, что в свою очередь приводит к неизбежному увеличению отходов бурения. Экологическим последствием увеличенной добычи нефти является образование в больших масштабах бурового шлама, загрязненного нефтью. В состав шлама входят порообразующие материалы, в связи с чем его применение в строительной отрасли является рациональным решением утилизации. Такой подход помогает снизить объемы природных ресурсов, используемых в строительстве, и улучшить экологическую обстановку в районах добычи нефти и газа. Актуальной задачей при обращении с буровыми шламами является обоснование и разработка технологии их переработки с получением безопасной продукции с требуемым набором эксплуатационных характеристик.

Цель исследования – разработать состав бетона с частичной заменой цемента на порошок бурового шлама, образующегося на месторождении «Сургутнефтегаз».

На рис.1 представлено распределение бурового шлама по гранулометрическому составу, представленного размерами частиц от 50 до 0,5 мкм.

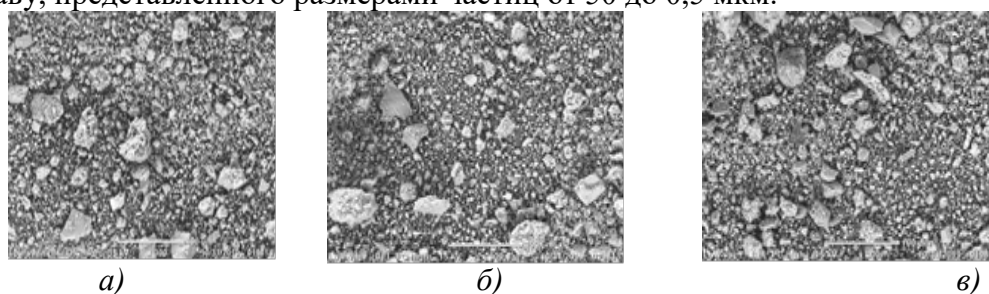


Рис. 1. Электронная микроскопия частиц порошка бурового шлама «Сургутнефтегаз»

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что исследуемый буровой шлам представлен такими соединениями как диоксид кремния, карбонат кальция, фосфат алюминия (рис. 2). За базовый состав выбран бетон без добавок, состоящий из цемента М 400 Д20 Топкинского цементного завода, песка Туганского месторождения, гравия из отсева щебня (таблица 1, состав 1). Образцы готовились по стандартной методике, включая перемешивание компонентов с добавлением оптимального количества воды. Образцы выдерживали в ванне с гидравлическим затвором 7 суток, после чего определялись механические свойства. Прочность при сжатии определяли на трех образцах размером 10×10×10 мм.

Для установления влияния порошка бурового шлама на свойства материала были приготовлены образцы с заменой цемента в количестве 10, 29, 30, 40 и 50 мас. %.

Установлено, что с введение бурового шлама приводит к снижению прочности образцов с 94 МПа до 31 МПа.

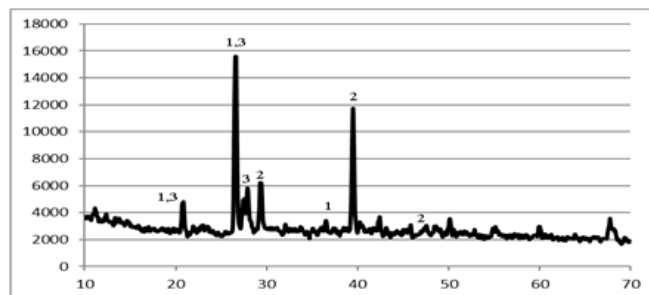


Рис. 2. Рентгенограмма порошка бурового шлама «Сургутнефтегаз»  
(1 –  $\text{SiO}_2$ , 2 –  $\text{CaCO}_3$ , 3 –  $\text{AlPO}_4$ )

Таблица 1– Компонентный состав раствора

№ состава	Содержание компонентов, мас. %					Прочность на сжатие, МПа
	цемент	песок	гравий	шлам	вода	
базовый	16,5	33	43,3	0	7,2	94
1	14,9	33	43,3	1,7	7,2	86
2	13,2	33	43,3	3,3	7,2	49
3	11,6	33	43,3	5,0	7,2	43
4	9,9	33	43,3	6,6	7,2	40
5	8,3	33	43,3	8,3	7,2	31

Исследования показали, что прочность изделий, содержащих 10 % бурового шлама, снижается незначительно на 8 %. Однако, замена большего количества цемента буровым шламом вызывает резкое падение прочности на сжатие на 48 %. В результате проведенных исследования была оценена возможность использования бурового шлама в качестве частичной замены цемента в бетонной смеси. Так как значение прочности для всех образцов было выше 6 МПа они все удовлетворяют требованиям указанным ГОСТ 23558-94 и могут использоваться для строительства капитального слоя основания дорожной одежды. Но так как замена 10% цемента буровым шламом снижает прочность образцов лишь на 8% по сравнению с базовым составом, такой состав рассматривается в качестве оптимального.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьева С.Ю., Мерициди И.А., Шпинькова М.С. Подбор рецептуры обезвреживания шламов методом реагентного капсулирования // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2013. – № 1 (270). – С. 45–57.
2. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. – М.: Стандартинформ, 2005.–21с.

**РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ  
ПРОГРАММЫ «ПРОН»**

И.М. Богачков<sup>1</sup>, Р.Н. Хамитов<sup>2,3</sup>, Д.Р. Валеева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «Газпром проектирование» Тюменский Филиал

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет

<sup>3</sup>Тюменский индустриальный университет

E-mail: bogim83@mail.ru

**CALCULATION OF THE OPTIMAL VOLTAGE FOR THE POWER SUPPLY  
SYSTEM OF GAS FIELDS USING THE PROGRAM «PRON»**

I. M. Bogachkov<sup>1</sup>, R. N. Khamitov<sup>2,3</sup>, D. R. Valeeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tyumen branch of LLC "Gazprom engineering"

<sup>2</sup>Omsk State Technical University

<sup>3</sup>Tyumen Industrial University (TIU)

**Annotation.** Currently, the existing algorithms and mathematical models for selecting the voltage class for distribution networks using the experiment planning theory are developed only for industrial enterprises (up to 10 km long, and up to 20 MW capacity, with a radial scheme with transformation at the end of the line) and they do not take into account the features of gas fields (up to 20 km long and 1 MW capacity with a projected growth of up to 10 MW, that is a main scheme with a single through main with transformation distributed along the line). It is essential to develop new algorithms and mathematical models for selecting the voltage class adapted for the electricity supply system of gas fields, considering their entire life cycle.

Программа «ПРОН» предназначена для расчета оптимального класса напряжения системы внешнего электроснабжения газовых месторождений. Программа позволяет рассчитать класс напряжения для разных вариантов схем электроснабжения (питающая и распределительная сеть) газового месторождения с учетом каждого периода его жизни. Программа учитывает такие параметры, как мощность, расстояние от источника питания до потребителя, коэффициент распределения нагрузки на ВЛ, коэффициент роста нагрузки, количество кустов газовых скважин, количество УКПГ на промысле.

Программа разработана на основании выведенных математических моделей оптимального нестандартного напряжения и математических моделей дисконтируемых затрат стандартных напряжений для системы внешнего электроснабжения газовых месторождений.

Работа в программе начинается с выбора электросети для расчета оптимального напряжения - питающая сеть или распределительная сеть рис. 1.

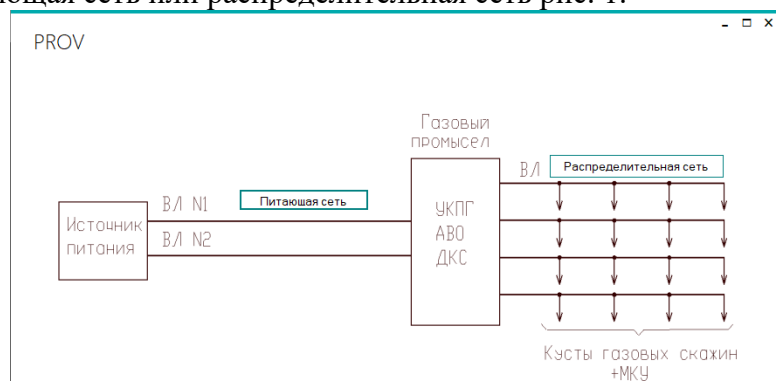


Рис. 1. Главное окно программы

Все газовые месторождения по критерию электроёмкостью распределяются на три группы:

1. Газовые месторождения малой мощности до 7 МВт, такие месторождения характеризуются одной площадкой УКПГ;
2. Газовые месторождения средней мощности от 7 до 75 МВт, такие месторождения характеризуются количеством площадок УКПГ от 2 до 5 шт.;
3. Газовые месторождения большой мощности свыше 75 МВт, такие месторождения характеризуются количеством площадок УКПГ от 5 до 15 шт.

Программа позволяет пользователю выбрать вариант схемы электроснабжения газового месторождения в зависимости от его расчетной электрической мощности.

Математические модели получены с применением теории планирования эксперимента [1] для одинарной и двойной сквозной магистралей с односторонним питанием с учетом влияющих факторов, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Наименование фактора	Основной нулевой уровень, $x_{j0}$	Интервал варьирования, $\Delta x$	Верхний уровень, «+»	Нижний уровень, «-»
Газовое месторождение большой мощности более 75 МВт					
x1	Количество УКПГ, шт.	10,5	4,5	15	6
x2	Расстояние от источника питания до потребителя L, км	105	45	150	60
x3	Коэффициент прироста электрической нагрузки $k_{пр}$ , о.е.	3	2	5	1
x4	Коэффициент распределения нагрузки по ВЛ $k_{расп}$ , о.е.	0,775	0,225	1	0,55
Газовое месторождение средней мощности от 7 до 75 МВт					
x1	Количество УКПГ, шт.	3,5	1,5	5	2
x2	Расстояние от источника питания до потребителя L, км	45	30	75	15
x3	Коэффициент прироста электрической нагрузки $k_{пр}$ , о.е.	3	2	5	1
x4	Коэффициент распределения нагрузки по ВЛ $k_{расп}$ , о.е.	0,775	0,225	1	0,55
Газовое месторождение малой мощности до 7 МВт					
x1	Мощность УКПГ, МВт.	4,5	2,5	7	2
x2	Расстояние от источника питания до потребителя L, км	11,5	8,5	20	3
x3	Коэффициент прироста электрической нагрузки $k_{пр}$ , о.е.	2,5	1,5	5	1
Распределительная сеть – Магистральная схема с одной сквозной магистралью					
x1	Количество газовых кустов N, шт.	6	4	10	2
x2	Расстояние от источника питания до потребителя L, км	10,25	9,75	20	0,5
x3	Коэффициент прироста электрической нагрузки в	5,5	4,5	10	1

	период падающей добычи $k_{пр}$ , о.е.				
x4	Коэффициент распределения нагрузки по ВЛ $k_{расп}$ , о.е.	0,7	0,15	0,85	0,55

При нажатии кнопки «Питающая сеть» откроется окно для расчета напряжения питающей сети рис. 2.

Рис. 2. Окно для расчета напряжения питающей сети

Так же на оптимальный класс напряжения влияет подключение УКПГ к линии электропередачи – распределение УКПГ по ВЛ.

При распределении нагрузки в конце линии электропередачи  $k_{расп} = 1$ , при равномерном распределении нагрузки  $k_{расп} = 0,55$ .

Программа для расчёта оптимального класса напряжения предлагает пять вариантов схем электроснабжения в зависимости от электрической мощности газового месторождения и места расположения промыслов относительно источника питания:

- схема электроснабжения месторождения малой мощности;
- схема электроснабжения месторождения средней мощности с  $k_{расп} = 0,55$ ;
- схема электроснабжения месторождения средней мощности с  $k_{расп} = 1$ ;
- схема электроснабжения месторождения большой мощности с  $k_{расп} = 0,55$ ;
- схема электроснабжения месторождения большой мощности с  $k_{расп} = 1$ .

После выбора схемы электроснабжения, заполняем поле «Наименование месторождения».

Далее заполняем факторы  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  согласно интервалу варьирования, из таблицы 1. Для каждой схемы электроснабжения свой ряд факторов  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$ .

Коэффициент прироста нагрузки  $x_3$  для питающих линий (рекомендуемые значения) в первый период жизни месторождения - 1 о.е., второй период жизни - 1,5 о.е., третий период жизни - 5 о.е.

Далее нажимаем кнопку – «Рассчитать», в таблице на экране появляются расчетные значения для трёх периодов жизни месторождения:

- нестандартный класс напряжения, кВ,
- стандартный класс напряжения ближайший больший  $U_{бб}$ , кВ;
- стандартный класс напряжения ближайший меньший  $U_{бм}$ , кВ;
- дисконтируемые затраты  $U_{бб}$ , кВ;
- дисконтируемые затраты  $U_{бм}$ , кВ;
- рекомендуемый класс напряжения.

При 5% превышении дисконтируемых затрат  $U_{бб}$  над дисконтируемыми затратами  $U_{бм}$  рекомендуется стандартный класс напряжения ближайший больший  $U_{бб}$ , кВ с учетом дальнейшего развития месторождения.

Итоговые расчетные значения можно вывести на печать нажав кнопку «Печать», при этом отчет сформируется в виде файла – «наименование месторождения».doc, и затем word-файл можно распечатать.

Выводы:

1 Разработан программный продукт «ПРОН», позволяющий выполнить расчет оптимального напряжения для питающей и распределительной сети;

2 Разработанная программа «ПРОН» позволяет сократить время при проектировании системы внешнего электроснабжения газового месторождения с учетом трех периодов его жизни;

3 Разработанная программа «ПРОН» позволяет проанализировать и выбрать правильный класс напряжения с учетом всего цикла жизни газового месторождения.

4 Программный продукт «ПРОН» рекомендован к внедрению в средства автоматизированного проектирования системы электроснабжения.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Веников В. А. Моделирование энергетических систем // Электричество. – 1971– №1. – С.5–13

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАПРАВЛЕНИЯ ПРЕВРАЩЕНИЙ СТАБИЛЬНОГО ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА В ПРОЦЕССЕ ЦЕОФОРМИНГА**

Д.М. Лукьянов, И.А. Богданов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: dml4@tpu.ru

### **STUDY OF THE TEMPERATURE INFLUENCE ON THE DIRECTIONS OF STABLE GAS CONDENSATE TRANSFORMATIONS IN THE ZEOFORMING PROCESS**

D.M. Lukyanov, I.A. Bogdanov

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation. In this work influence of temperature on directions of stable gas condensate transformation in zeoforming process was investigated.*

Стабильным газовым конденсатом (СГК) называется жидкая смесь углеводородов, находящаяся в парообразном состоянии в пластовых условиях, из которой выделены легкие углеводороды  $C_1$ - $C_4$  [1]. Поиск наиболее рациональных способов использования СГК является актуальной задачей нефтегазовой отрасли.

Возможным решением данной задачи видится использование СГК в качестве сырья для процесса цеоформинга – каталитической переработки на цеолитах с получением моторных топлив [2].

Целью работы является анализ направлений превращений углеводородов, входящих в состав СГК в ходе цеоформинга при различных температурах процесса.

Для анализа были взяты данные о составах исходного сырья и продуктов процесса, полученные с использованием метода газожидкостной хроматографии, согласно [3]. Цеоформинг СГК проводился при постоянном давлении 0,25 МПа, температура процесса варьировалась в диапазоне 325–425 °С с шагом 25 °С.

Полный список индивидуальных компонентов, полученный в результате хроматографического анализа, был сокращен до основных благодаря учёту лишь тех веществ, массовая доля которых в исходном сырье или продуктах процесса превышала



1 % мас. Индивидуальные вещества с относительно схожими свойствами и строением были отнесены к условным группам. На таблице 1 представлены составы исходного сырья (СГК) и продуктов цеоформинга, полученные при различных температурах процесса.

Таблица 1 – Формализованный групповой углеводородный состав сырья и продуктов процесса, % мас.

Условная группа	СГК	Температура процесса, °С				
		325	350	375	400	425
пропан + н-пропанол	0,14	1,98	1,89	1,90	1,24	1,83
бутаны	3,03	7,12	12,20	12,85	10,24	8,81
н-парафины C <sub>5</sub> -C <sub>8</sub>	28,12	17,99	11,85	7,90	5,23	3,54
изопарафины C <sub>5</sub> -C <sub>8</sub>	36,40	39,96	34,67	30,98	24,68	17,68
нафтены C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub>	13,75	10,38	5,99	4,20	3,61	3,22
ароматические C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub>	0,97	5,46	13,96	21,50	31,60	39,07
углеводороды C <sub>9</sub> -C <sub>10</sub>	1,39	1,73	3,56	4,83	5,76	6,03

На основании полученных данных, можно выделить следующие тенденции:

1. В ходе цеоформинга в значительном количестве образуются бутаны (с максимумом при T = 375 °С), причем соотношение изобутан: н-бутан примерно равно 2 : 1.
2. Нормальные парафины C<sub>5</sub>-C<sub>8</sub> являются основной уменьшающейся компонентой, степень её конверсии сильно растёт с ростом температуры процесса.
3. Содержание изопарафинов C<sub>5</sub>-C<sub>8</sub> также уменьшается (за исключением процесса при T = 325 °С), степень их конверсии растёт с ростом температуры.
4. Содержание нафтен C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> с ростом температуры цеоформинга уменьшается, причем во всех случаях оно в 1,5–2 раза меньше, чем содержание н-парафинов C<sub>5</sub>-C<sub>8</sub>.
5. С ростом температуры процесса массовая доля образующихся ароматических соединений C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> значительно растёт.
6. С ростом температуры процесса наблюдается заметное увеличение выхода углеводородов C<sub>9</sub>-C<sub>10</sub>, значительную часть которых составляют нормальные парафины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 54389-2011. Конденсат газовый стабильный. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 22 с.
2. Алтынов А.А., Богданов И.А., Темирболат А.М., Белинская Н.С., Киргина М.В. Исследование влияния состава сырья и технологических параметров на характеристики продуктов цеоформинга стабильного газового конденсата // Нефтепереработка и нефтехими. – 2019. – №2. – С. 9 – 13.
3. ГОСТ 32507-2013. Бензины автомобильные и жидкие углеводородные смеси. определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии. – М.: Стандартинформ, 2019. – 51 с.

#### УПРАВЛЕНИЕ ПРОПЛАВЛЯЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ ДУГИ ПРИ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМ ЭЛЕКТРОДОМ В СРЕДЕ АРГОНА

С.И. Скрипко, А.С. Гордынец, А.С. Киселев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: sis9@tpu.ru

#### ARC PENETRATING ABILITY CONTROL IN TIG WELDING

S.I. Skripko, A.S. Gordynets, A.S. Kiselev

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** Now, there has been a tendency to use powerful single current pulses in TIG welding of parts of small thicknesses and sizes. However, this method has insufficient

*penetration ability. The paper presents the results of a study of the effect of current modulation on the penetration in TIG welding.*

Одним из основных способов получения неразъемных соединений является аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, которая позволяет получать неразъемные соединения миниатюрных деталей. Недостатком этого способа сварки является низкая проплавляющая способность [1–3].

Для решения этой проблемы применяют модулированный по амплитуде сварочный ток. Это способствует увеличению проплавления изделия так как в период низкого энергетического уровня, тепло с периферии сварочной ванны отводится быстрее, чем из её центра [4,5]. Однако в литературе отсутствуют данные о влиянии параметров модуляции сварочного тока на глубину проплавления изделия и рекомендации по их выбору. С целью определения этого влияния были проведены экспериментальные исследования.

Для проведения исследований была разработана и изготовлена специальная установка, которая позволяет осуществлять бесконтактное зажигание дуги, задавать полярность её горения и в широких пределах регулировать величину тока (0...250 А с дискретностью 1 А) в сварочной цепи.

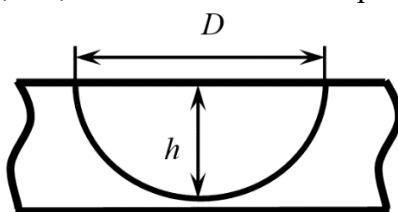
В качестве изделия использовали пластины размером 50×50×1 мм из стали 08кп. Неплавящийся электрод диаметром 1,0 мм марки ЭВТ-2 имел заточку рабочей поверхности – 30°, притупление – 0,02 мм. В качестве защитного газа использовали аргон, а его расход составлял 5 л/мин. Межэлектродный промежуток был равен 1,0 мм.

С целью исключения влияние теплового насыщения изделия на глубину его проплавления, суммарную длительность протекания сварочного тока ограничивали величиной 50 мс, а общую длительность воздействия величиной 100 мс. При этом использовали четыре различных варианта формирования импульсов тока (рис. 2). Амплитуда импульсов тока составляла 100 А.

После воздействия дугового разряда на изделие оценивали диаметр точки расплавления, а после – глубину проплавления по поперечным макрошлифам. В качестве критерия проплавляющей способности дуги использовали безразмерный коэффициент, который рассчитывали по формуле (рис. 1):

$$\psi = \frac{h}{D},$$

где  $h$  – глубина проплавления, мм;  $D$  – внешний диаметр зоны плавления, мм.



*Рис. 1. Размеры зоны расплавления*

Результаты эксперимента представлены в виде гистограмм (рис. 3) из анализа которых следует, что наименьшим коэффициентом проплавляющей способности дуги обладает одиночный импульс сварочного тока (рис.2а). Уменьшение длительности импульсов и увеличение частоты их следования (рис. 2б...г) приводит к росту коэффициента проплавления, при этом наибольшим коэффициентом проплавляющей способности обладает вариант импульса сварочного тока представленный на рис. 2г, который на 20 % превышает исходное значение (рис. 2а).

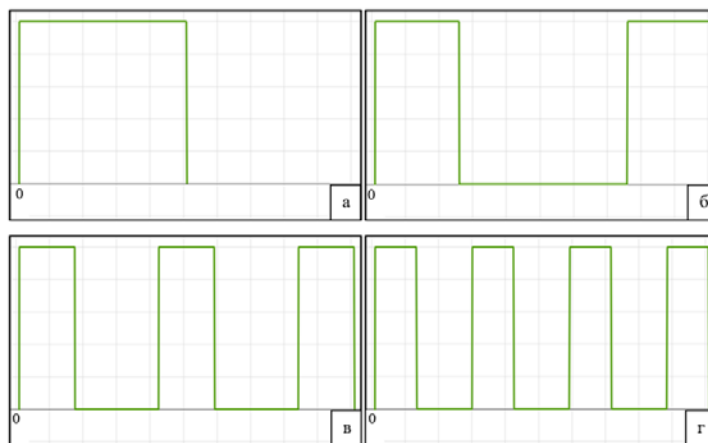


Рис. 2. Временные диаграммы импульсов сварочного тока: а – одиночный импульс ( $t_u = 50$  мс); б – два импульса ( $t_u = 25$  мс,  $t_n = 50$  мс); в – три импульса ( $t_u = 16,6$  мс,  $t_n = 25$  мс); г – четыре импульса ( $t_u = 12,5$  мс,  $t_n = 16,6$  мс).

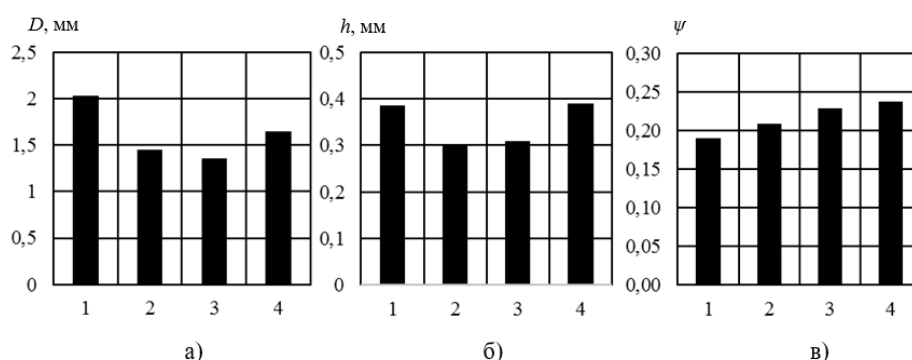


Рис. 3. Гистограммы влияния варианта импульса сварочного тока на диаметр точки расплавления (а), глубину проплавления изделия (б) и коэффициент проплавления (в)

Применение модулированного по амплитуде сварочного тока приводит к увеличению проплавляющей способности дуги. Наибольший коэффициент проплавления изделия при заданных параметрах режима получен при четырех импульсах сварочного тока-длительностью 12,5 мс и паузах между ними 16,6 мс.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orion с Series. Orion welders. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <http://www.orionwelders.com> (дата обращения 25.08.2020).
2. PUK 5 precision welding technology by Lampert. [Электронный ресурс] – Режим доступа - <http://www.lampert.info> (дата обращения 25.08.2020)
3. Phaser | primotec – Lampert. [Электронный ресурс] – Режим доступа – <http://www.primotecusa.com> (дата обращения 25.08.2020).
4. Пат. 3449543 США. Spot welding by means of a pulsating unidirectional current / D. Sciaky. Заявлено 04.11.1966; Опубл. 10.06.1969, – 6 с.
5. Шигаев Т.Г. Сварка модулированным током // Итоги науки и техники. Сер. Сварка. – 1985. – Т. 17. – С.91–133.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДИБОРИДА ГАФНИЯ,  
ПОЛУЧЕННОГО ПРЕССОВАНИЕМ СМЕСИ С МИКРОПОРОШКОМ  
АЛЮМИНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОДОГРЕВА**

С.А. Белякович, А. В. Мостовщиков, Ю.А. Мировой

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: sab41@tpu.ru

**CHARACTERISTICS OF THE MATERIAL BASED ON HAFNIUM DIBORIDE  
OBTAINED BY COMPRESSING A MIXTURE WITH ALUMINUM  
MICROPOWDER UNDER HEATING**

S.A. Belyakovich, A.V. Mostovshchikov, Y.A. Mirovoy

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** In this article, samples of a hafnium diboride alloy with aluminum obtained by diffusion sintering, as well as by hot pressing with and without preliminary liquid-phase sintering, have been investigated. Systems based on unirradiated aluminum and microwave-activated aluminum are considered. It was found that samples based on microwave-activated aluminum had better mechanical properties.*

Целью работы являлось получение металлокерамического материала на основе диборида гафния и порошков алюминия. Выбор материалов обоснован высокой поглощающей способностью диборида гафния. В совокупности с этим, диборид гафния является тугоплавким и хрупким материалом, что предполагает исследование его свойств в сплаве с алюминием. В работе использованы смеси с идентичными составами на основе неактивированного и СВЧ-активированного микропорошков алюминия [1, 2]

На первой стадии получения материала, на основе диборида гафния ( $\text{HfB}_2$ ) в матрице микропорошка алюминия АСД-6М спекание проводили при температуре ниже температуры плавления алюминия (450–550 °С) в течение 4 часов в условиях ограниченного доступа воздуха. В таблице 1 приведены составы смесей порошков, спеченных в условиях твердофазного диффузионного спекания. Смеси с идентичными составами были использованы для получения образцов на основе СВЧ-активированного микропорошка алюминия.

*Таблица 1 – Состав исходных смесей порошков  $\text{HfB}_2$  и Al*

№ п/п	Содержание $\text{HfB}_2$ , мас. %	Содержание Al, мас. %	Содержание добавки, мас. %	Масса смеси, г.
1	90	10	0	5,5
2	50	50	0	10
3	10	90	0	9,5
4	50	20	30	8

Полученные образцы имели недостаточную прочность: образцы материала не сохранили свою форму, плотность образцов снизилась, наиболее вероятно протекание окислительных процессов. Активирование микропорошка алюминия путем облучения кратковолновым СВЧ-облучением (9,94 ГГц) улучшило характеристики образцов материала, снизило пористость структуры, но необходимая твердость не была достигнута.

Вторая часть работы состояла из этапа получения материала методом горячего прессования (ГП) в атмосфере аргона без предварительного спекания, а также ГП в атмосфере аргона с предварительным подогревом смеси  $\text{HfB}_2$  и микропорошка алюминия до 700 °С в условиях образования жидкой фазы алюминия. ГП выполнено со следующим температурным режимом: нагрев линейно осуществлялся в течение 15 минут; выдержка в течение 20 минут при температуре ~ 850 °С; охлаждение в течение

15 минут до температуры 400 °С; естественное охлаждение в течение 15 минут в рабочей камере. Параллельно выполнен режим прессования. Спеченные образцы имели цилиндрическую форму с диаметром  $1,5 \pm 0,02$  мм. Аналогично первому этапу работу были использованы смеси с одинаковыми составами на основе неактивированного и активированного микропорошка алюминия АСД-6М. Компонентный состав навесок смесей порошков для ГП с предварительным жидкофазным спеканием приведены в таблице 2.

*Таблица 2 – Состав смеси порошков HfB<sub>2</sub> и Al для горячего прессования с предварительным спеканием*

№ п/п	HfB <sub>2</sub> содержание, мас. %	Al АСД-6М содержание, мас. %	Al нанопорошок содержание, мас. %	Масса смеси, г.
1	90	10	–	20
2	80	20	–	20
3	90	–	10	20
4	80	–	20	20

Компонентный состав навесок смесей порошков для ГП с предварительным жидкофазным спеканием приведены в таблице 3.

*Таблица 3 – Состав смеси порошков HfB<sub>2</sub> и Al для горячего прессования без предварительного спекания*

№ п/п	HfB <sub>2</sub> содержание, мас. %	Al АСД-6М содержание, мас. %	Al нанопорошок содержание, мас. %	Масса смеси, г.
5	90	10	–	20
6	90	–	10	20

Была проанализирована плотность полученных образцов, а также измерена их твердость с использованием метода индентирования. В совокупности полученных данных, сделан вывод о том, что СВЧ-активирование порошка алюминия позволяет повысить механические свойства материала. Метод горячего прессования с предварительным жидкофазным спеканием позволил получить образцы с наиболее подходящими механическими характеристиками.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-03-00160.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мостовщиков А.В., Ильин А.П., Чумерин П.Ю. Влияние СВЧ-излучения на термическую стабильность нанопорошка алюминия // Письма в Журнал Технической Физики. – 2016. – Т. 42. – № 7. – С. 17–22.
2. Ильин А.П., Роот Л.О. Мостовщиков. А.В. Повышение запасенной энергии в нанопорошках металлов // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – № 8. – С. 140–142.

#### **МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛУМИНА АК12 УДП ВОЛЬФРАМА**

Н.В. Мартюшев, В.С. Башев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: martjushev@tpu.ru

#### **EFFECT OF SILUMIN MODIFICATION WITH ULTRADISPERSED TUNGSTEN POWDER**

N.V. Martyshev, V.S. Bashev

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *In this paper, the effect of introducing the ultradispersed W powder, which had been preliminary activated and wetted with Cu powder in planetary ball mill, in the amount of*

*0.01–0.5 wt. % on the structure, the phase state and the mechanical properties of the AK12 alloy was investigated. It was established that the optimum additive is 0.1 wt. % W+Cu, as far as it results in the uniform eutectic distribution ( $\alpha$ -Al + Si), smaller plates of the eutectic Si, change in shape of coarse plates and improvement of mechanical properties. Further treatment with the ultradispersed W powder allows for reducing the amount of the deposited powder from 30 % to 6 %.*

Распространение силуминов ограничено их невысокими механическими характеристиками. Это связано с тем, что силумин после кристаллизации обладает крупнокристаллической структурой. Фазовый состав такого силумина это  $\alpha$ -Al твердый раствор, железосодержащие фазы и эвтектика ( $\alpha$ -Al + Si). Широко распространенным методом повышения свойств силуминов является модифицирование мелкодисперсными частицами. Как правило это ультрадисперсные порошки тугоплавких металлов, например оксидов различных металлов ( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, SrO) [1,2], редкоземельных элементов (Sr, Cr, Sm) [3,4], карбидов (TiCN) [5], боридов (Nb-B, Ti-B) а также углеродосодержащих материалов (BaCO<sub>3</sub>, C). В данной работе исследуется влияние ультрадисперсного порошка W на структурно-фазовое состояние и механические свойства сплавов системы Al-Si. Актуальность данной работы обусловлена тем, что информации и экспериментальных данных о влиянии добавок модификаторов на основе W крайне мало.

В качестве исследуемого материала был выбран силумин марки АК 12 химического состава по ГОСТ 1583-93. Модифицирующей добавкой, добавляемой в образцы, являлся ультрадисперсный порошок вольфрама сферической формы со средним размером частиц порядка 250 нм и площадью удельной поверхности 1,7–2,4 м<sup>2</sup>/г (ТУ 1791-003-36280340-2008). Данный порошок перед модифицированием подвергался обработке в планетарной шаровой мельнице. В мельнице перемешивался порошок вольфрама и порошок меди ПМУ (ТУ-1793-011-50316079-2004) с чистотой не менее 99,999% также сферической формы со средним размером частиц 7 мкм. В результате такой предварительной обработки порошка происходило внедрение более мелких частиц вольфрама в поверхность меди, что обеспечивало лучшую смачиваемость модификатора при введении в расплав. Для полученных образцов производили металлографические исследования и механические испытания (определяли предел прочности при растяжении ( $\sigma_b$ ) и ударную вязкость (КС)). Заливка расплава АК12 велась в разборный кокиль комнатной температуры. Температура заливки расплава составляла около 800°C.

Результаты проведенного эксперимента показали, что предварительное перемешивание порошка вольфрама с порошком меди в планетарной мельнице дает сокращение количества порошка, который выпадает в осадок с 30 % до 6 %. Внедрение модификатора с дополнительной обработкой оказывает существенное влияние на микроструктуру полученных отливок. Идет уменьшение длины осей 1-го порядка. Если для не модифицированных отливок их длина достигает значений 700–900 мкм, то после добавления модификатора значения падают до величины 170–190 мкм (рис. 1а, в). Анализ микроструктуры полученных отливок с различным количеством модификатора показывает, что наибольшее влияние на структуру оказывает концентрация добавки модификатора на основе W+Cu в количестве 0,1 масс. %. При этом достигается уменьшение расстояния между осями 2-го порядка до 13–16 мкм и уменьшения пластин Si в эвтектике до ~5,7 мкм.

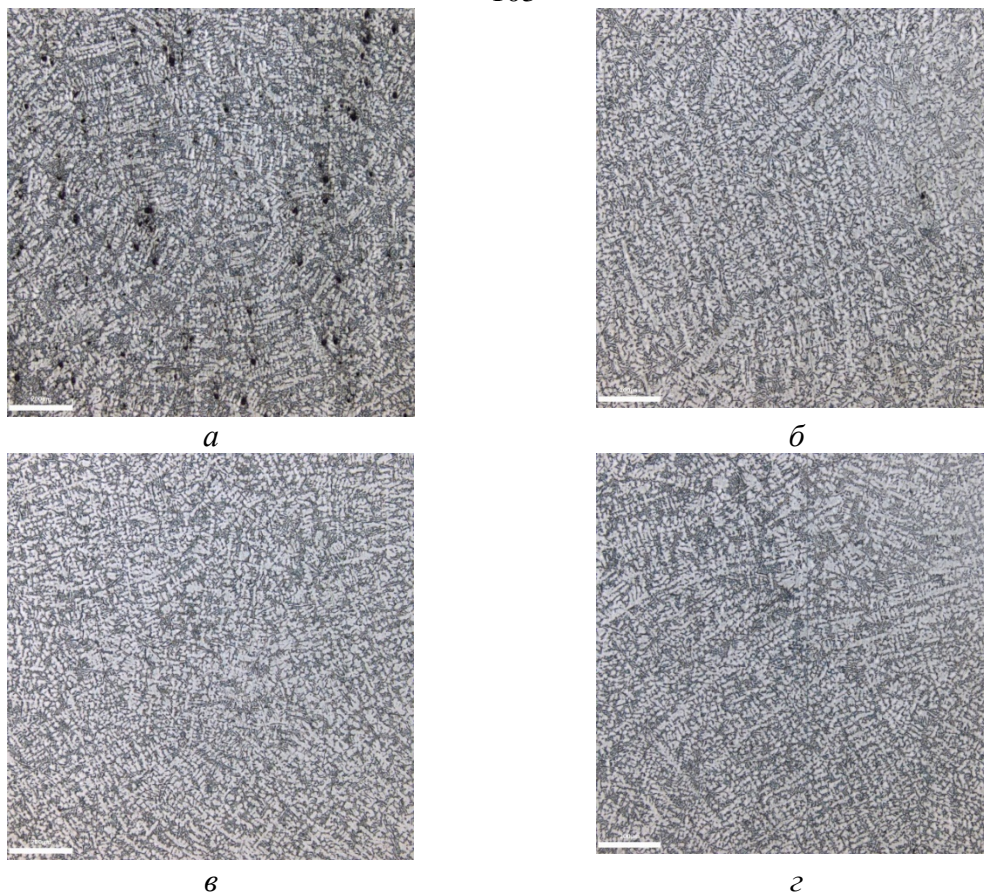


Рис. 1. Микроструктура силумина марки АК12 с различным содержанием W+Cu: а – 0.01 масс. % W+Cu; б – 0.05 масс. % W+Cu; в – 0.1 масс. % W+Cu; г – 0.5 масс. % W+Cu

Такие изменения в микроструктуре модифицированных отливок закономерно приводят и к изменениям в их механических свойствах. Измельчение хрупких и твердых пластин кремния, как правило приводит к росту ударной вязкости и прочности. Приведенные в таблице 1 данные показывают, что увеличение количества добавки модификатора до определенного значения приводит к росту механических свойств. Наиболее высокие значения предела прочности и ударной вязкости получаются при концентрации модификатора 0,1 масс. %. В этом случае достигаются следующие значения – ударная вязкость 18,4 Дж/м<sup>2</sup> и предел прочности 180 МПа. Это на ~ 20-25 % выше, чем в не модифицированных отливках. Такие данные хорошо согласуются с результатами проведенного металлографического анализа. При этом количестве добавленного при заливке модификатора (0,1 %) получается наиболее однородная структура с наиболее мелкими включениями фазовых составляющих (мелкие дендриты матрицы твердого раствора и мелкие пластины включений хрупкого кремния).

Таблица 1 – Показатели ударной вязкости и предела прочности бразцов сплава АК12

Концентрация модификатора W+Cu в отливке, масс. %	Ударная вязкость, Дж/м <sup>2</sup>	Предел прочности, МПа
0	15,6	146
0,01	16,4	155,4
0,05	15,9	163
0,1	18,4	180
0,5	17,9	175

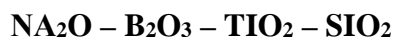
Проведенные экспериментальные работы показали, что дополнительная обработка модифицирующего нанопорошка W с порошком меди в планетарной шаровой мельнице благоприятно сказывается на усвоении модификатора расплавом. Более твердые и тугоплавкие частицы порошка W в результате такой обработки внедряются в частицы более крупного и мягкого порошка меди. При этом реакций между этими частицами не происходит. Так как при смешении порошков в шаровой мельнице использовалась защитная атмосфера и скорость вращения барабана (как следствие и сила соударения шаров) была не очень велика, количество возникающих окислов и гидридов было мало.

В результате отливки из силумина марки АК12, полученные при добавке 0,1 % масс. подготовленного таким образом модификатора, имеют наиболее высокие показатели механических свойств. Ударная вязкость и предел прочности у таких отливок в сравнении с не модифицированными отливками увеличивается на 20–25%. Металлографический анализ показывает, что такое количество модификатора так же наиболее благоприятно сказывается на микроструктуре отливок – происходит измельчение структуры (пластинчатых включений кремния, дендритов матрицы). Оптимальное воздействие с точки зрения свойств достигается при добавлении 0,1 масс. модификатора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Qinglin Li, Tiandong Xia, Yefeng Lan, Wenjun Zhao, Lu Fan, Pengfei Li. Effect of in situ  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles on the microstructure of hypereutectic Al-20%Si alloy // Journal of alloys and compounds. – 2013. – no. 577. – P. 232–236.
2. Iman S. El-Mahallawi, Ahmed YehiaShash, AmerEid Amer. Nanoreinforced cast Al-Si alloys with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> nanoparticles // Metals. – 2015. – no.5. – P. 802–821.
3. CHEN Chong, LIU Zhong-xia, EN Bo, WANG Ming-Xing, WENG Yong-gang, LIU Zhi-yong. Influences of complex modification of P and RE on microstructure and mechanical properties of hypereutectic Al-20Si alloy // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. – 2007. – no. 17. – P. 301–306.
4. Li J.H., Wang X.D., Ludwig T.H., Tsunekawa Y., Arnberg L., Jiang J.Z. and Schumacher P. Modification of eutectic Si in Al-Si alloys with Eu addition // Acta Materialia. – 2015. – no.84. – P. 153–163.
5. Wang K., Jiang H.Y., Jia Y.W., Zhou H., Wang Q.D., Ye B., Ding W.J. Nanoparticle-inhibited growth of primary aluminum in Al-10Si alloys // Acta Materialia. – 2016. – no.103. – P. 252–263.

### ХИМИЧЕСКИ СТОЙКОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ЭМАЛИ СИСТЕМЫ



В. Ю. Боровой, О.В. Казьмина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: vyb5@tpu.ru

### CHEMICALLY RESISTANT COATING BASED ON ENAMEL OF THE



V. Yu. Borovoy, O.V. Kazmina

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The composition of white porcelain enamel was developed, which has a set of specified properties, namely, high fluidity, high coefficient of thermal expansion, chemical resistance and whiteness. In contrast to the known enamels of the Na<sub>2</sub>O – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – TiO<sub>2</sub> – SiO<sub>2</sub> system, the resulting enamel has an expansion coefficient of  $110 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (known compositions  $80\text{--}95 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) and chemical resistance corresponding to class A +. The developed composition includes zinc oxide (4 wt %), a higher content of K<sub>2</sub>O (6 wt % K<sub>2</sub>O) compared to



*the known compositions with a SiO<sub>2</sub> / B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio of 3,6. This composition provides a fluidity of 53 mm, in contrast to the fluidity of 35–45 mm of known compositions.*

Силикатная эмаль — это стекловидное неорганическое покрытие, которое наносят при термической обработке на металл с целью придания необходимых эксплуатационных свойств. Такое покрытие позволяет защитить металлические изделия при работе в агрессивной среде, срок службы которых не уступает дорогостоящим легированным сплавам [1, 2]. В процессе нанесения порошка эмали на металл, который проходит при температурах  $850 \pm 50$  °С, эмаль должна иметь хорошую растекаемость. Данный показатель можно увеличить путем введения в состав эмали оксидов щелочных металлов, однако химическая стойкость, получаемого при этом покрытия, снижается. Кроме того, температурный интервал эмалирования ограничен свойствами металла, на который наносится покрытие [3]. Сочетание высокой растекаемости (более 50 мм) и высокой химической стойкости (не ниже класса А+) для эмали системы Na<sub>2</sub>O – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – TiO<sub>2</sub> – SiO<sub>2</sub> оказывается трудно достижимым.

Цель данной работы заключается в разработке состава титановой боросиликатной эмали повышенной химической стойкости, обладающей растекаемостью не менее 50 мм.

Химическую стойкость эмалевого покрытия определяли по ISO 28706-1:2008(Е) «Стекловидные и фарфоровые эмали. Определение стойкости к химической коррозии». Определение растекаемости эмали проводили согласно требованиям международного стандарта ISO 4534-80.

В качестве исходной фритты исследовали состав, который по содержанию оксидов соответствует марке титановой эмали для белого покрытия наружной поверхности (таблица 1, состав 1) системы Na<sub>2</sub>O–TiO<sub>2</sub>–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>. Корректировку состава 1 проводили путем изменения соотношения оксидов кремния и бора (составы 2, 3, 4), которые оказывают значительное влияние на данные показатели. Порошок сваренной фритты наносили на металлическую подложку при температуре  $870 \pm 10$  °С с выдержкой  $5 \pm 3$  минуты.

*Таблица 1 – Химический состав исследованных фритт*

Обозначение состава фритты	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F*
1	39	19	2	17	3	2	14	4	3.5
2	42	16	2	17	3	2	14	4	3.5
3	43	15	2	17	3	2	14	4	3.5
4	44	16	2	17	3	2	14	4	3.5
5	45	13	2	17	3	2	14	4	3.5

\* – сверх 100 %

Результаты показали, что с увеличением количества кремнезема до 42 – 43 % химическая стойкость покрытия увеличивается до класса А+, с количеством SiO<sub>2</sub> 44 – 45 % увеличивается до класса АА. Фритта всех составов имеет растекаемость менее 50 мм. Значение растекаемости сначала увеличивается с ростом соотношения SiO<sub>2</sub>/B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а затем уменьшаться (рис. 1).

С учетом полученных данных был выбран состав с максимальной растекаемостью (SiO<sub>2</sub> 43 %) и разным количестве оксидов щелочных и щелочноземельных металлов по отношению к оксиду бора, с дополнительно введенным оксидом цинка. Он увеличивает химическую стойкость эмали наиболее сильнее из всех щелочноземельных оксидов, а также увеличивает растекаемость и способствует глушению стекла [4]. Опробованы варианты введения оксида цинка в различном количестве взамен оксида титана и оксида бора (таблица 2). При этом содержание оксида калия увеличили до 6 % за счет оксида натрия, оставив сумму щелочных оксидов постоянной (18 %). Фтор также вводился сверх

100 % в количестве 3,5 %. Установлено, что при введении 5 % ZnO растекаемость эмали увеличивается до 56 мм, при этом стойкость покрытия снижается до класса А. При содержании ZnO 4 % растекаемость составляет 52 мм, класс химической стойкости А+.

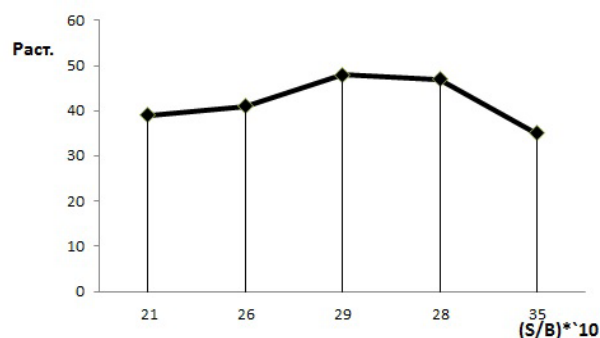


Рис. 1. Зависимость растекаемости эмали от соотношения  $SiO_2/B_2O_3$

Таблица 2 – Химический состав фритты с оксидом цинка

Обозначение фритты	Содержание оксидов, мас. %								
	$SiO_2$	$B_2O_3$	$P_2O_5$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$MgO$	$Na_2O$	$K_2O$	$ZnO$
3.1	43	15	2	17	3	2	12	6	0
3.2	43	14	2	16	2	2	12	6	3
3.3	43	13	2	16	2	2	12	6	4

Таким образом, разработанный состав эмали системы  $Na_2O-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ , отвечающий заданным свойствам, содержит следующие оксиды, мас. %:  $SiO_2$  – 43,  $B_2O_3$  – 13,  $P_2O_5$  – 2,  $TiO_2$  – 16,  $Al_2O_3$  – 2,  $MgO$  – 2,  $Na_2O$  – 12,  $K_2O$  – 6 и  $ZnO$  – 4.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петцольд А., Пешманн Г. Эмаль и эмалирование. Справ. изд. – М.: Металлургия, 1990. – 576 с.
2. Рябов А.В., Яценко Е.А., Керимова В.В., Климов Л.В. Стеклоэмалевое однослойное покрытие для антикоррозионной защиты стальных изделий // Физика и химия стекла. – 2019. – № 1. – С. 97 – 100.
3. Родцевич С.П., Тавгень В.В., Минкевич Т.С. Влияние оксидов щелочных металлов на свойства титансодержащих стекол // Стекло и керамика. – 2007. – № 7. – С. 25 – 27.
4. Яценко Е.А. Особенности ресурсосберегающей технологии функциональных однослойных композиционных эмалевых покрытий для стали // Физика и химия стекла. – 2011. – Т. 37. – № 1. – С. 54 – 69.

#### ТЕХНИКО-АЭРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОТИВОТОЧНЫХ МЕЛЬНИЦ

В.А. Полюшко, А.С. Разва, М.В. Василевский, А.В. Мартынова  
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
 E-mail: razva@tpu.ru

#### TECHNICAL AND AEROMECHANICAL PARAMETERS OF COUNTER-CURRENT MILLS

V.A. Poliushko, A. S. Razva, M.V. Vasilevskii, A.V. Martunova  
 National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** In jet mills, particle failure is determined by the velocity difference of the colliding particles and the frequency of interaction of the particles. The injected particles and moles of gas are accelerated by the jet stream, the velocity of the particles depending on the ratio of

*injection ratios of moles of gas and particles. Estimates of particle velocities in the grinding zone, numerical values of interaction frequencies, in mills with counter flows are given.*

В противоточных мельницах [1, 2] (рис.1), частицы приобретают высокую скорость в разгонном участке за счет инжекции гетерогенной среды.

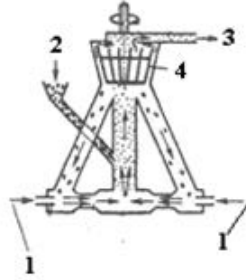


Рис. 1. Аппарат со встречными потоками. 1– ввод энергоносителя, 2 – ввод исходного материала, 3- выход мелкого продукта, 4 – сепаратор

Струя, распространяющаяся в сопловом объеме и камере смешения, ограничена направляющими поверхностями, вследствие чего возникают токи рециркуляции [1], которые распространяются в сопловую секцию и разжижают поступающий сыпучий материал (рис.2).

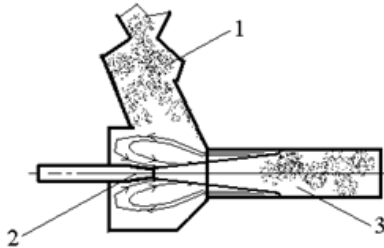
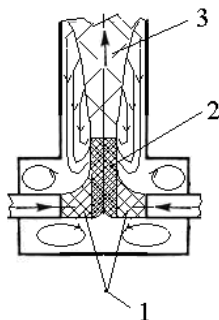


Рис. 2. Схема возвратных токов в сопловой секции и камере смешения: 1–точка, 2–сопловая секция, 3– разгонный участок (камера смешения)

Однако для дисперсного материала с повышенной влажностью транспортировка частиц оказывается невозможной вследствие образования прочных отложений частиц в сопловой секции и камере смешения [3].

Истинная объемная концентрация частиц в разгонном патрубке  $\varepsilon_p$  определяется по соотношению [4]  $\varepsilon_p = G_T / FV\rho_\delta$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , где  $G_T$  – расход материала,  $\text{кг}/\text{с}$ ,  $F$  – площадь разгонного участка,  $\text{м}^2$ ,  $V$  – средняя скорость частиц,  $\text{м}/\text{с}$ ,  $\rho_\delta$  – плотность частиц,  $\text{кг}/\text{м}^3$ . В [4] приведены данные отношений скоростей газа и частиц  $i = W/V$  – коэффициент скольжения частиц, для различных условий транспортирования. В разгонных трубах противоточных струйных измельчителей отношение скоростей частиц – стальных шариков диаметром 0,8 мм и газового потока  $V/W_T$  равно 0,23, а для частиц 100 мкм при массовой расходной концентрации  $\gamma_w = G_T/G_g = 0,5$   $\text{кг}/\text{кг}$  это отношение равно 0,33 [5]. В [4] показано, что в области расходных концентраций  $\gamma_w = 0,1 - 5$   $\text{кг}/\text{кг}$  коэффициент скольжения практически не меняется. Следовательно, истинная массовая концентрация крупных частиц  $\gamma = \varepsilon_p (\rho_\delta/\rho)$  в выходном сечении разгонной трубы в 3 – 4 раза больше расходной  $\gamma_w$ . Требуемая длина разгона для крупных частиц должна ограничиваться значением скорости частиц на стабилизационном участке  $V=0,3W$ , поскольку большие скорости не могут быть достигнуты из-за взаимодействия частиц со стенкой. Высокие скорости частиц (100–150  $\text{м}/\text{с}$ ) на выходе из разгонных труб при расходной концентрации частиц  $\gamma_w = 1$   $\text{кг}/\text{кг}$  могут быть достигнуты при скорости газового потока в разгонной трубе 300 – 600  $\text{м}/\text{с}$ , что требует сверхзвуковых скоростей потока на выходе из сопла 600 – 1200  $\text{м}/\text{с}$  и исходного содержания частиц размером менее 200 мкм.

Скорости столкновения определяются скоростью инерционного пробега частиц в зоне разворота струй при их соударении. Эта зона определяется расстоянием между конечными сечениями разгонных патрубков, которое принимается равным длине начального участка струи [1]. На рис. 3 представлена схема помольной камеры противоточного измельчителя, где заштрихованные зоны, это области интенсивного взаимодействия частиц. В зоне взаимодействия встречных струйных потоков происходит сужение потоков и расширение в поперечных направлениях. В вертикальном канале поток расширяется с образованием возвратных токов, как в потоке после поворота в колене.



*Рис. 3. Схема помольной камеры противоточного измельчителя: 1 – зона повышенной концентрации крупных частиц, зона встречного взаимодействия крупных частиц, 2 – зона высокой концентрации крупных частиц, зона инерционного пробега, зона вертикального движения газа, 3 – зона средней концентрации частиц*

Частицы в зоне 2 оказываются под ударами частиц из зоны 1. Эти частицы приобретают скорость, соизмеримую со скоростью частиц в зоне 1 и становятся ударниками для соседних частиц в той же зоне 2. Таким образом, в зонах 1 и 2 осуществляется многократное взаимодействие частиц даже одного и того же размера.

В [4] приведены данные по времени пребывания в зоне соударения гетерогенных струй с частицами силикагеля крупностью 2,25 мм. Оказалось, что при концентрации  $0,48 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup> время пребывания в крестовине частиц в 10,7 раза больше, чем на стабилизационном участке горизонтального пневмопровода такой же длины.

В противоточных пневмомельницах используют классификатор отбойно-вихревого типа (КОВ). В зазоре между кожухом и ротором часть закрученного потока из верхней части перетекает в нижнюю часть за счет перепада давлений, возникающего из-за разницы центробежных сил в верхней и нижней частях ротора. С увеличением числа оборотов ротора уменьшается как крупность выносимого материала, так и производительность мельницы [1, 2]. С целью уменьшения влияния числа оборотов на коэффициент инжекции материала применяют цилиндрические роторы. В этом случае лопасти ротора работают как отбойники, поскольку в около роторном пространстве за счет турбулентного трения газ закручивается незначительно [6]. Поэтому осуществляется подкрутка дисперсного потока [7]. Удельный расход энергоносителя в зависимости от физико-химических характеристик измельчаемого материала и дисперсности готового продукта лежит в пределах 0,05 – 9 кг/кг, а давление энергоносителя 0,15 – 3,5 МПа.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Акунов В.И. Струйные мельницы. – М.: Машиностроение, 1967. – 262 с.
2. Федотов К.В., Дмитриев В.И. Струйное измельчение. – М.: Горная книга, 2014. – 194 с.
3. Тишин В.М. Экспериментальное исследование пневмотранспортирования влажного дисперсного материала // Вопросы прикладной аэрогидромеханики и тепломассообмена. – 1989. – С. 239 – 242.

4. Разумов И. М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1972. – 239 с.
5. Росляк А.Т., Бирюков Ю.А., Пачин В.Н. Пневматические методы и аппараты порошковой технологии. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1990. –272 с.
6. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 248 с.
7. Уваров В.А. Научные основы проектирования и создания пневмоструйных мельниц. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Белгород, 2006.–457 с.

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОПОРОШКОВ НА ДИНАМИКУ СПЕКАНИЯ АЛЮМИНОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКИ

С.Н. Сорокова, В.Л. Попов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: s\_sorokova@tpu.ru

### MATHEMATICAL MODELING OF ADDITIONS NANOPARTICLES ON THE DYNAMICS DURING THE SINTERING PROCESS ALUMINOSILICATE CERAMICS

S.N. Sorokova, V.L. Popov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** In the model proposed and investigated volume sintering the powder compound  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  with the addition of aluminum nanopowder. Nanoparticulate particles comprising reagents were treated as distinct phase having special properties. It was determined the distribution of temperature and element concentrations and compounds in different times for different synthesis conditions.*

Техническая керамика является самостоятельным классом материалов и применяется в различных отраслях техники и промышленности. Для целенаправленного выбора технологических режимов синтеза и спекания требуется детальное теоретическое исследование закономерностей формирования структуры и фазового состава материала. Есть множество математических моделей [1, 2] спекания порошков соединений и твердофазного синтеза. Но в известных моделях явно не учитываются, что процессы синтеза сопровождаются изменением объема, который может привести к изменению кинетической модели, состава и структуры конечного продукта [2, 3]. Наноразмерные частицы в составе реагентов изменяют как кинетику процесса синтеза и влияют особым образом на физические и механические свойства реагентов и продуктов. Это приводит к дополнительным особенностям в математических моделях.

Рассмотрим прессовку порошков смеси  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  с добавкой нанодисперсного порошка алюминия в виде параллелепипеда, расположенную на керамической подложке. Нагрев образца осуществляется конвекцией и излучением при регулируемом изменении температуры стенок печи. В общем случае процесс нагрева с учетом физико-химических явлений описывается трехмерной задачей теплопроводности с условиями на поверхности:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} = -\varepsilon \sigma_0 (T^4 - T_e^4) + \alpha (T - T_w);$$

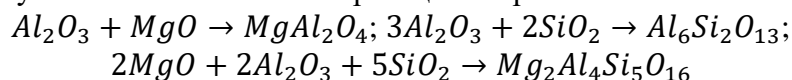
где  $\sigma_0$  – постоянная Стефана–Больцмана;  $\varepsilon$  – степень черноты,  $\alpha$  – коэффициент теплообмена,  $T_w$  – температура в камере. Температура стенок камеры  $T_c$  – меняется по заданному закону. Полагаем что размеры прессовки малы, тогда поле температуры в системе и распределение концентраций фаз можно найти из совместного решения уравнения теплового баланса и задачи химической кинетики:

$$V_0 c \rho \frac{dT}{dt} = -\varepsilon \sigma (T^4 - T_e^4) S + \alpha (T - T_w) S + V_0 W,$$

$$\frac{dy_l}{dt} = \varphi_l,$$

где  $T$  – температура;  $c\rho$  – объемная теплоемкость;  $W$  – суммарная плотность внутренних источников и стоков тепла вследствие химических реакций;  $y_l$  – мольные концентрации реагентов и продуктов;  $S_n$  – площадь всей поверхности образца;  $V_0$  – его объем.

В соответствии с диаграммой состояния системы MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> [4] можем записать систему основных химических реакций в прессовке:



В модели предполагается, что реакции окисления нанофазы Al произошла до начала процесса спекания всей прессовки. Введем обозначения для мольных концентраций реагентов и продуктов реакции, участвующих в превращениях  $y_1 = [Al_2O_3]$ ,  $y_2 = [MgO]$ ,  $y_3 = [SiO_2]$ ,  $y_4 = [MgAl_2O_4]$ ,  $y_5 = [Al_6Si_2O_{13}]$ ,  $y_6 = [Mg_2Al_4Si_5O_{16}]$ . Формально-кинетические уравнения записываем на основе стандартных уравнений баланса. Диффузия – самый медленный процесс, который протекает на пространственных масштабах уровня отдельных частиц и оказывает влияние на макроскопические закономерности. В математической модели это находит отражение в формально-кинетических законах. Поэтому уравнения баланса явно не включают диффузионных слагаемых и имеют вид:

$$\rho \frac{dy_l}{dt} = \omega_l,$$

где  $\omega_k$  – сумма источников и стоков компонента l в реакциях,  $\omega_k = \sum_{i=1}^r m_k v_{ki} \phi_i$ , где  $\phi_i$  – скорости реакций, моль/(м<sup>3</sup>с).

Скорости реакций зависят от концентраций в соответствии с законом действующих масс:

$$\phi_1 = z_1 y_1 y_2; \phi_2 = z_2 y_1^3 y_2^2; \phi_3 = z_3 y_1^2 y_2^2 y_3^5,$$

где [5]:

$$z_i = z_{i0} \exp\left(-\frac{E_{ai}}{RT}\right) \exp(-p_i y) y^{-s_i}, \quad i = 1, \dots, 3$$

$$y = y_4 + y_5 + y_6$$

суммарная доля неподвижных компонентов (конечных и промежуточных продуктов реакций), затрудняющих диффузию реагентов друг к другу;  $z_i$  – константы скорости реакций;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $E_{ai}$  – энергии активации реакций,  $p_i$ ,  $s_i$  – параметры торможения [5].

Полученная система уравнений дополняется условиями в начальный момент времени.

Задача решается численно с использованием метода Рунге–Кутты–Мерсона для тепловой части задачи и неявного метода Эйлера для кинетической части. Результатом численных расчетов являются фазовый и элементный состав спеченной керамики в различные моменты времени и для различных условий синтеза. Все формально-кинетические параметры модели рассчитываются на основе диаграмм состояния и химической термодинамики с использованием стандартного пакета ТЕРРА [6] и литературных данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скороход В. В. Физико-металлургические основы спекания порошков. – М.: Metallurgia, 1984. – 159 с.
2. Boldyreva E. V., Boldyrev V. V. (Eds.) Reactivity of Molecular Solids // Molecular Solid State Series. – Wiley: Chichester, 1999. – 328 p.
3. Князева А.Г. Перекрестные эффекты в ходе твердофазных превращений // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – Т.10. – № 4. – С. 123–130.
4. Хабас Т.А. Нанопорошки металлов в технологии керамики. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 228 с.

5. Мержанов А.Г. Теория безгазового горения. – Черноголовка: Препринт, 1973. – 26 с.
6. Cowards B.G. Simulation of chemical and phase equilibria at high temperatures: Computer software / MSTU. NE Bauman; RosAPO. - State . reg. Number 920054. – 1992.

## НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ПЕРЕНОС КОМПОНЕНТОВ ИЗОТОПНОЙ СМЕСИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТОКОВ КАСКАДА

А.А. Ушаков<sup>1</sup>, А.А. Орлов<sup>2</sup>, В.П. Совач<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Акционерное общество «Производственное объединение «Электрохимический завод»,

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: ushakovaa2015@sibmail.com

## NONSTATIONARY TRANSFER OF ISOTOPE MIXTURE COMPONENTS AS A RESULT OF CHANGES IN CASCADE FLUXES

A. A. Ushakov<sup>1</sup>, A. A. Orlov<sup>2</sup>, V. P. Sovach<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Actional Society "Production Association "Electrochemical Plant",

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The simulation of a non-stationary process caused by a change in the flows of the light and heavy fractions of cascade is carried out using the example of the separation of germanium isotopes. The character of the change in the isotope concentration in the stages and flows of the cascade is shown depending on the final values of the flows. It has been established that in the course of a nonstationary process, it is possible to obtain isotopes of intermediate masses with a concentration significantly exceeding the maximum attainable values for a three-flow cascade.*

При эксплуатации каскада газовых центрифуг (ГЦ) для разделения многокомпонентных изотопных смесей (МИС) возникают нестационарные процессы, одной из частых причин возникновения которых является изменение величин выходящих потоков каскада (потоков легкой и тяжелой фракции). В ходе этого процесса происходит изменение величин потоков, давлений рабочего вещества и концентраций компонентов. Интерес к изучению такого нестационарного процесса обусловлен определением закономерностей изменения концентраций в каскаде и выходящих потоках.

В качестве рабочего вещества для разделения изотопов германия использовался тетрафторид германия  $\text{GeF}_4$  ( $\mu \approx 149$  кг/кмоль). Целевым изотопом выбран  $^{72}\text{Ge}$ . Проведен расчет нестационарного процесса, вызванного мгновенным изменением величины потока легкой фракции каскада в момент времени  $\tau=0$ . В потоке тяжелой фракции каскада концентрация изотопов  $^{70}\text{Ge}$ ,  $^{72}\text{Ge}$ ,  $^{74}\text{Ge}$  и  $^{76}\text{Ge}$  изменяется монотонно от начального к конечному значению. Время установления стационарного значения концентрации (продолжительность нестационарного процесса)  $\tau'$  зависит как от массового числа изотопа, так и от величины  $P_{\text{кон}}/F$ . Так со снижением  $P_{\text{кон}}/F$  продолжительность  $\tau'$  увеличивается для  $^{70}\text{Ge}$  в потоке легкой фракции и уменьшается для изотопа  $^{76}\text{Ge}$  в потоке тяжелой фракции. Это обусловлено тем, что при  $P_{\text{кон}}/F \rightarrow 0$  увеличивается количество крайнего легкого изотопа  $^{70}\text{Ge}$  в каскаде на конечном стационарном режиме в связи, с чем требуется большая продолжительность времени для его накопления в ходе нестационарного процесса.

Максимальное значение концентрации изотопа с промежуточным массовым числом в потоке легкой или тяжелой фракции каскада в ходе нестационарного процесса увеличивается с ростом конечного стационарного значения величины этого потока. Полученные значения концентраций изотопов с промежуточным массовым числом превышают предельно достижимые значения [1], которые возможно получить в потоках легкой и тяжелой фракции каскада на стационарном режиме. Это обусловлено тем, что

в начальном состоянии  $\tau = 0$  на стационарном режиме концентрация  $^{72}\text{Ge}$  и  $^{73}\text{Ge}$  в ступенях средней части каскада выше, чем в конечных ступенях отбора легкой и тяжелой фракции каскада. Так концентрация  $^{72}\text{Ge}$  и  $^{73}\text{Ge}$  достигает значений 79% и 37% в ступенях № 87 и 27 (рис.1). При этом предельно достижимые величины [1] для этих изотопов не превышают 57% и 15% соответственно.

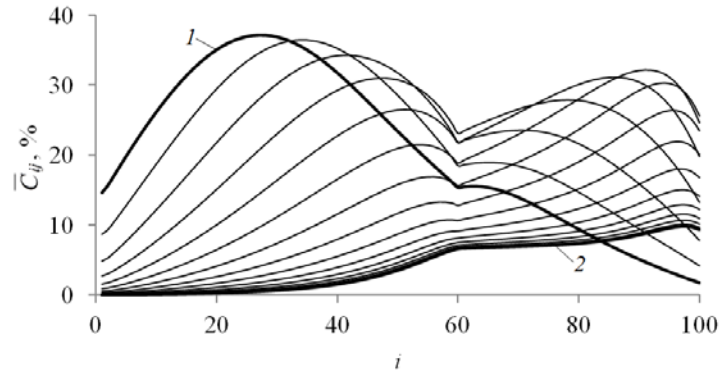


Рис. 1. Изменение средневзвешенной концентрации изотопа  $^{73}\text{Ge}$  в ступенях каскада в ходе нестационарного процесса: 1 – начальное состояние; 2 – конечное состояние

Увеличение потока легкой фракции каскада (величины  $P/F$ ) и, как следствие, уменьшение потока тяжелой фракции каскада приводит к повышению средневзвешенного массового числа изотопной смеси во всех ступенях каскада. В результате этого происходит накопление в каскаде изотопов  $^{74}\text{Ge}$  и  $^{76}\text{Ge}$  и выведение из каскада изотопов  $^{70}\text{Ge}$  и  $^{72}\text{Ge}$ . В этих условиях промежуточный изотоп  $^{73}\text{Ge}$  переносится ближе к отбору легкой фракции каскада. При этом временное повышение концентрации  $^{72}\text{Ge}$  и  $^{73}\text{Ge}$  в потоке  $P$  обусловлено переносом этих изотопов из ступеней, где их концентрация максимальна в начальный момент времени. Однако стоит отметить, что максимальная концентрация  $^{72}\text{Ge}$  и  $^{73}\text{Ge}$  в потоке  $P$  ниже, чем их значения в ступенях каскада в начальном состоянии, что возможно обусловлено наличием смешения в ступени № 57 межступенных потоков и потока питания каскада, имеющих отличный друг от друга изотопный состав. За счет эффекта смешения изменяется монотонность кривых зависимостей концентраций от номера ступени, как на стационарных режимах, так и в ходе нестационарного процесса.

Проведено исследование нестационарного процесса, вызванного изменением величины потока легкой фракции каскада на примере разделения изотопов германия. Показано, что в ходе нестационарного процесса концентрации крайних изотопов ( $^{70}\text{Ge}$  и  $^{76}\text{Ge}$ ) изменяются монотонно в потоках легкой и тяжелой фракции каскада независимо от конечных величин этих потоков. Установлено, что концентрации изотопов с промежуточным массовым числом в потоках легкой и тяжелой фракции могут выходить за пределы диапазона, ограниченного начальным и конечным значением, и даже превышать предельно-достижимые значения для трехпоточного каскада на стационарном режиме. С увеличением значения выходящего потока (потока легкой или тяжелой фракции) возрастает максимальная концентрация изотопов с промежуточным массовым числом в этом потоке в ходе нестационарного процесса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миненко В.П. Предельное обогащение промежуточных изотопов в отборе с концов каскада // Атомная энергия. – 1972. – Т. 33. – № 2. – С. 703–704.



## СИНТЕЗ ТУГОПЛАВКИХ НИТРИДОВ ВАНАДИЯ, НИОБИЯ И ТАНТАЛА В УСЛОВИЯХ ТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА В ВОЗДУХЕ СМЕСЕЙ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ОКСИДОВ

А.О. Чудинова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: chudinova.1509@mail.ru

## SYNTHESIS REFRACTORY NITRIDES OF VANADIUM, NIOBIUM AND TANTALUM IN CONDITIONS OF THERMAL EXPLOSION IN AIR OF MIXTURES OF ALUMINUM NANOPOWDER AND CORRESPONDING OXIDES

A.O. Chudinova

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *As contrasted against conventional methods that necessitate sintering consolidation of the powdered ceramics under intense heat and pressure, this novel approach is more scalable, less expensive, and rapidly produces refractory ceramics with high yields. The maximum yield of metal nitrides  $MeN$  in the combustion products of mixtures of aluminum nanopowder with vanadium, niobium and tantalum oxides in air, according to X-ray phase analysis, reaches  $VN = 61\%$ ,  $Nb_2N = 47\%$ ,  $Ta_2N = 40,7\%$ .*

Тугоплавкие металлы характеризуются высокой температурой плавления (более 2000 °С). С учетом классификации температуры плавления к чистым тугоплавким металлам в Периодической системе относят: W (3422 °С), Re (3185 °С), Ta (3017 °С), Mo (2623 °С), Ru (2334 °С), Ir (2466 °С), Nb (2477 °С), Hf (2233 °С) и Tc (2157 °С) [1]. Карбиды и нитриды переходных металлов IV-VI групп предлагают многообещающие решения в области материалов для широкого применения благодаря их высоким температурам плавления (2600–3900 °С), высокой твердости, высокой химической стабильности и износостойкости.

Принято считать, что только Mo, W, Ta и Nb в чистом виде имеют практическое применение, тогда как остальные металлы имеют ограниченное применение из-за их низкой доступности и высокой стоимости. Традиционное производство тугоплавких нитридов основано на методах порошковой металлургии, которые включают карботермические реакции элементарных переходных металлов или их оксидов с твердым углеродом (графитом или аморфным углеродом) в восстановительной водородной атмосфере при температуре выше 1700 °С [2]. Например, производство такой керамики из нитридов металлов, как правило, требует больших затрат энергии и времени. Кроме того, при спекании уплотняются крупные гранулированные частицы неправильной формы, что приводит к образованию хрупких и структурно слабых материалов.

Ранее в работах было показано, что химическое связывание азота воздуха происходит при высокой температуре в условиях теплового взрыва при горении нанопорошка алюминия (НП Al) с оксидами металлов [3,4].

Рентгенограммы исследуемых образцов получили с помощью дифрактометра «Дифрей-401» с излучением  $Fe_{K\alpha}$  ( $\lambda = 0,193$  нм). Для определения скорости окисления и степени превращения при определенных температурах, а также для диагностирования исходных порошков использовали дифференциальный термический анализ [5,6].

При горении нанопорошка алюминия с добавкой оксида ванадия  $V_2O_5$  происходит разлет продуктов, в составе которых присутствует кристаллическая фаза нитрида ванадия  $V_2N$ . Также был определено содержание фазы нитрида ванадия, которое составило  $V_2N = 61\%$ .

Также сжиганию подвергались навески нанопорошка алюминия с оксидами ниобия и тантала с массовыми соотношениями: НП Al: Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 3:1 и НП Al: Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 4:1. Все экспериментальные данные, связанные с горением полученных навесок проводили в атмосфере воздуха. Выход полученных нитридов ниобия и тантала (таблица 1) согласно рентгенофазовому анализу составил Nb<sub>2</sub>N = 47 % и Ta<sub>2</sub>N = 40,7 %.

Таблица 1 – Состав исследуемых смесей нанопорошка алюминия с оксидами ниобия, тантала и ванадия и результаты рентгенофазового анализа продуктов сгорания

№ образца	Соотношение НП Al:Me <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мольное	Состав образца, мас. частей			Максимальный выход нитридов металлов MeN, %	
		НП Al, г	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , г	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , г	Nb <sub>2</sub> N	Ta <sub>2</sub> N
2	3:1	2,06	-	1,94	47	-
3	4:1	0,79	3,21	-	-	40,7

Таким образом, предложен метод синтеза тугоплавких нитридов металлов IV группы Периодической системы (Nb, Ta, V) сжиганием смесей НП Al с оксидами ниобия, тантала и ванадия в условиях теплового взрыва в воздухе. В отличие от традиционных методов, которые требуют спекания порошкообразной керамики под воздействием высокой температуры и давления, этот новый подход является более масштабируемым, менее дорогим и быстро производит тугоплавкие порошки с высокими выходами. Фазовый состав продуктов сгорания согласно рентгенофазовому анализу входят следующие нитриды металлов с максимальными выходами: V<sub>2</sub>N = 61 %; Nb<sub>2</sub>N = 47 %; Ta<sub>2</sub>N = 40,7 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wuchina E., Opila E., Opeka M., Fahrenholtz W., Talmy I. UHTCs: ultra-high temperature ceramic materials for extreme environment applications // *Electrochemical Society Interface*. – 2007. – vol. 16. – P. 30–36.
2. Laskoski M. *et al.* Synthesis and material properties of polymer-derived niobium carbide and niobium nitride nanocrystalline ceramics // *Ceramics International*. – 2020. – vol.47.– no.1 – P.1163–1168.
3. Ильин А.П., Роот Л.О. Новый механизм высокотемпературного химического связывания азота воздуха // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 6-6. – С. 1377–1381.
4. Назаренко О.Б., Ильин А.П., Тихонов Д.В. Электрический взрыв проводников. Получение нанопорошков металлов и тугоплавких неметаллических соединений. – Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co/KG, 2012. – 274 с.
5. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: МГУ, 1976. – 232 с.
6. Уэндландт У. Термические методы анализа. – М.: Мир, 1978. – 218 с.

#### ИМИТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ НАГРУЖЕНИЯ ЗУБЬЕВ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО РЕДУКТОРА ПРИ ВРАЩЕНИИ

П.Я. Крауиньш, Д.М. Козарь

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: peterkrau@tpu.ru

#### SIMULATION ANALYSIS OF THE LOADING OF THE TEETH OF A KINEMATIC WAVE REDUCER DURING ROTATION

P.J. Krauinsh, D.M. Kozar

National Research Tomsk Polytechnic University

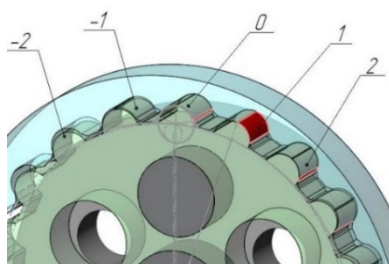
*Annotation.* The design and calculation of new types of gearing and gearboxes based on it require an analysis of the loading of the teeth during operation. This allows to evaluate the

*strength properties of the teeth in engagement and the smooth operation of the entire mechanism as a whole. The paper presents a variant of the analysis of the loading of the teeth by means of simulation modeling with various preload parameters. The analysis was performed using CAD SolidWorks by identifying areas of interference between the teeth of the cogwheel and gear. Since the volume of the interference zones, with the elastic deformation of the material in the contact zone, is to some extent proportional to their loading, the volume of these zones provides opportunity indirectly judged about the loading of the teeth themselves in engagement. The proposed version of the simulation analysis of loading is implemented on the example of a kinematic wave reducer with a modified Novikov gearing.*

Волновые редукторы [1–3] и зацепление Новикова [4–7] получили распространение в сферах промышленности, нуждающихся в относительно компактных и легких редукторах для тяжело нагруженных передач, либо в компактных кинематических передачах с высоким передаточным отношением. Кроме того, зацепление Новикова обеспечивает более высокую кинематическую точность [4, 6], чем традиционное эвольвентное зацепление и может применяться в прецизионных кинематических передачах, требующих высокой плавности работы выходного звена.

Однако, плавность работы зубчатой передачи, в некоторой степени зависит от плавности перераспределения нагрузки между зубьями колеса и шестерни при вращении зубчатой передачи. Более того, как будет показано далее, этим процессом можно управлять за счет применения предварительного нагружения зубчатой передачи, приводящего к незначительным упругим деформациям в зонах контакта зубьев колеса и шестерни.

В ТПУ разработан и испытан кинематический волной редуктор [1], в котором используется зубчатая передача с модифицированным зацеплением Новикова (рис.1). Для анализа плавности нагружения зубьев передачи использовалась САПР SolidWorks, позволяющая определять зоны интерференции (взаимного пересечения) областей деталей при их движении [8].



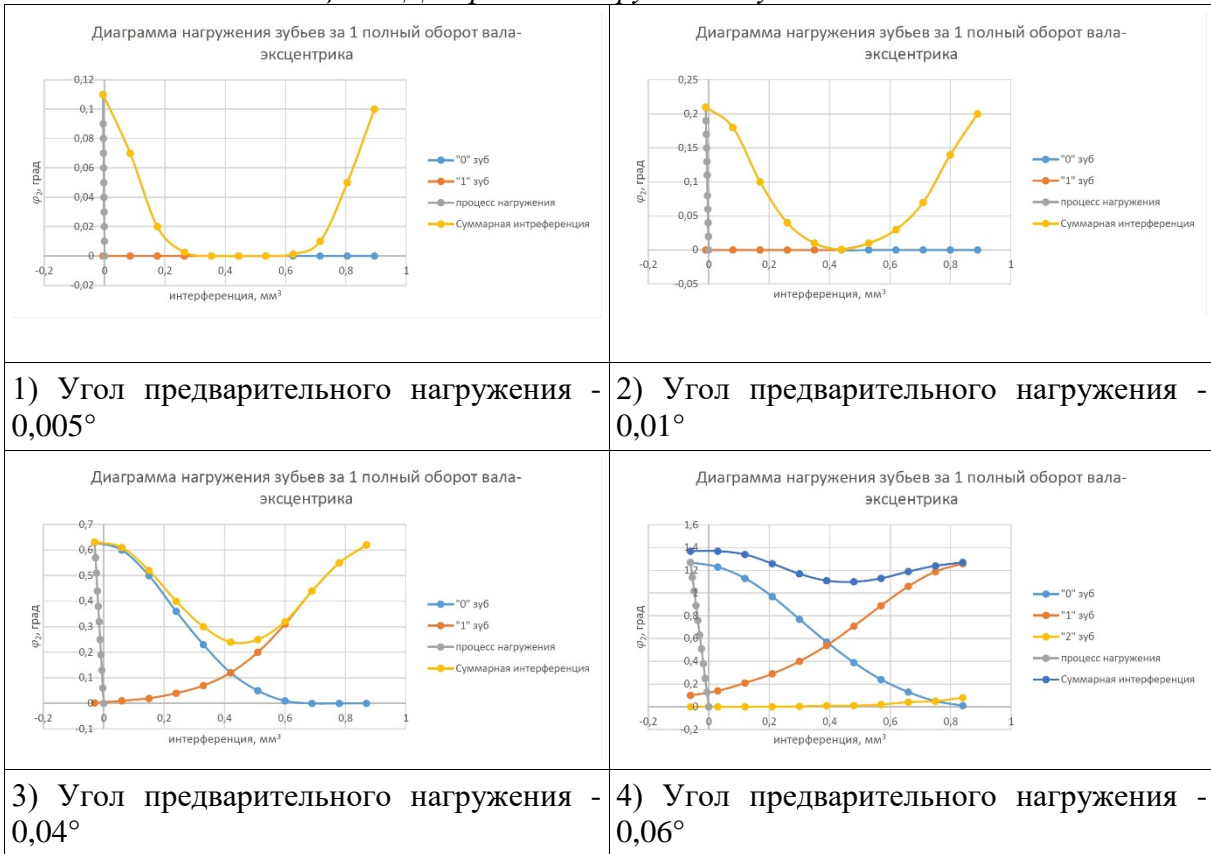
*Рис. 1. Конструктивная схема кинематического волнового редуктора с модифицированным профилем зуба (показано распределение нагрузки по зубьям, находящимся в зацеплении)*

Эта функция позволила выполнить имитационное моделирование работы зубчатой передачи при различных значениях предварительной нагрузки, с определением количества зон интерференции, областей их локализации и объема. Последний параметр позволяет косвенно оценить степень распределения нагрузки между зубьями в зацеплении, поскольку объем этих зон, в случае упругой деформации материала в зоне контакта, в некоторой степени, пропорционален величине их нагружения.

Величина предварительного нагружения задавалась в виде фазового смещения между колесом и шестерней при движении за счет вала эксцентрика, на котором закреплена шестерня. Так вращение передачи в отсутствии предварительной нагрузки показало, что передача нагрузки от зуба 0 к зубу 1 (таблица 1, 1) происходит с прерыванием. Однако в дальнейшем, с увеличением угла предварительной нагрузки (таблица 1, 2), область

разрыва сужается, после чего нагрузка начинает плавно переходить с одного зуба в зацеплении на другой (таблица 1, 3).

Таблица 1 – Диаграммы нагружения зубьев



В конечном счете была подобрана такая величина угла предварительного нагружения, при котором нагрузка между зубьями перераспределялась с совсем незначительным падением (таблица 1, 4), обеспечивая тем самым высокую плавность и бесшумность работы передачи.

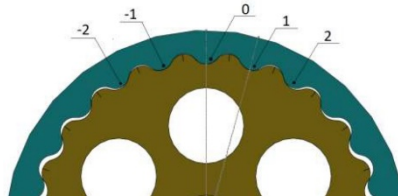


Рис. 2. Зубчатая передача с модифицированным зацеплением Новикова

В тоже время, следует отметить, что характер перераспределения нагрузки между зубьями зацепления во многом зависит от профиля зубьев.

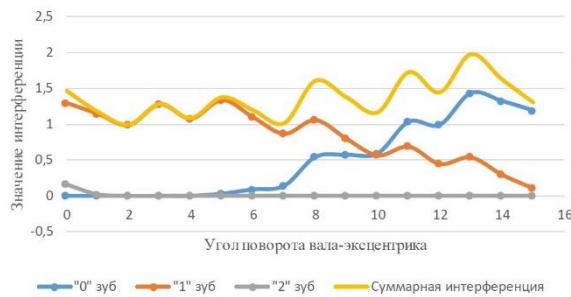


Рис. 3. Диаграммы нагружения зубьев

Так для кинематического волнового редуктора с иным профилем зубьев модифицированного зацепления Новикова (рис. 2), было установлено, что нагрузка при вращении перераспределяется с незначительными колебаниями (рис. 3).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 76093 РФ. МПК F16H 1/10 (2006.01). Самотормозящийся волновой редуктор / П.Я. Крауиньш, Д.П. Крауиньш, С.А. Смайлов, А.В. Иоппа, Сеунг-Су Йеом. Заявлено 04.03.2008; Опубл. 10.09.2008, Бюл. № 25.
2. Пат. 2491455 РФ. МПК F16H 1/32 (2006.01). Волновой редуктор с эксцентриковыми роликами / Н.В. Крылов, М.В. Борисов, С.Л. Самсонович, В.С. Степанов. Заявлено 09.04.2012; Опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24.
3. Пат. 2564556 РФ. МПК F16H 1/32 (2006.01). Двухступенчатый конический волновой редуктор / Б.И. Иванов, А.В. Давыдов, С.В. Казаков, Е.Л. Межирицкий, В.А. Немкевич, Д.Б. Смирнов. Заявлено 01.07.2014; Опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.
4. Краснощеков Н.Н., Федякин Р.В., Чесноков В.А. Теория зацепления. – М.: Наука, 1976. – 175 с.
5. Гавриленко В.А. Зубчатые передачи в машиностроении (Теория эвольвентных зубчатых передач). – М.: Машгиз, 1962. – 530 с.
6. Павленко А.В., Федякин Р.В., Чесноков В.А. Зубчатые передачи с зацеплением Новикова. – Киев: Техника, 1978. – 144 с.
7. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
8. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

### УРАВНЕНИЯ ПРОФИЛЯ ВЕНЦА ДЛЯ ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

В.С. Коротков, Гуаньцин Лао

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: kvs@tpu.ru

### EQUATIONS OF TOOTHING PROFILE FOR A WAVE GEAR

V.S. Korotkov, Guanqing Lao

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The geometric parameters of the tothing of the wave gear with intermediate rolling solids is considered. A coordinate system is selected. The parametric equations of the profile of the rim are derived. In order to improve transmission efficiency and to reduce its running-in period the equations for the rounded edges of tothing are deduced. The product is intended for use in the construction of the power tool electric drill on the basis of the commutator motor with a useful capacity of 1 kW.*

В [1, 2] описана конструкция ручной машины (РМ) электробур на базе коллекторного двигателя с волновой передачей с промежуточными телами качения (ПТК). Отличительной особенностью привода РМ является его малая масса и габаритные размеры. В [3] получены параметрические уравнения профиля венца волновой передачи с ПТК. Профиль представляет собой эпициклоиду с количеством впадин, равным числу тел качения передачи плюс одна. Такой профиль венца имеет острые кромки в местах перехода от одной впадины к другой. На начальном этапе приработки передачи происходит интенсивный износ этих кромок, и продукты износа попадают в места контакта тел качения с венцом, что снижает коэффициент полезного действия передачи. С целью устранения этого недостатка получены уравнения профиля венца со скругленными кромками.

Для получения параметрических уравнений профиля венца со скругленными кромками введем новую систему координат и обозначения, не изменяя кинематической схемы механизма (рис. 1).

Обозначим  $OO_1 = \vec{L}_1$ ;  $O_1O_2 = \vec{L}_2$ ;  $OO_2 = \vec{L}_3$ , тогда:  $\vec{L}_1 + \vec{L}_2 = \vec{L}_3$   
 Применив преобразование Эйлера, параметрические уравнения профиля венца запишем в виде:

$$\begin{cases} x = L_3 \cdot \cos(\varphi_3) + 0,5 \cdot Du \cdot \cos(\varphi_3 - \alpha) \\ y = L_3 \cdot \sin(\varphi_3) + 0,5 \cdot Du \cdot \sin(\varphi_3 - \alpha) \end{cases} \quad (1)$$

$Du$  – диаметр тела качения (шарика или ролика).

Угол передачи движения находим по зависимости:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{V_r}{V_t}; \quad (2)$$

$V_r$  – радиальная составляющая скорости движения центра  $O'_2$ ,

$V_t$  – тангенциальная составляющая скорости движения центра  $O'_2$ .

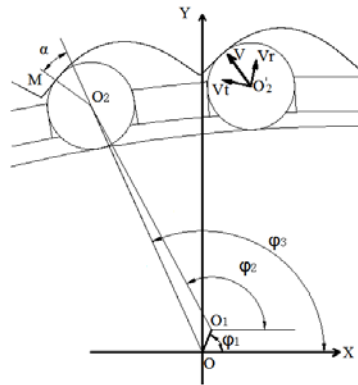


Рис. 1. Новая система координат:  $OO_1$  – эксцентриситет генератора;  $OO_2$  – расстояние между центрами венца и ролика;  $O_1O_2$  – расстояние между центрами генератора и ролика;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_3$  – текущий угол генератора и сепаратора;  $\varphi_2$  – угол поворота воображаемого шатуна ( $O_1O_2$ );  $\alpha$  – угол передачи движения

Выведем уравнения для получения скругленных кромок выступов венца. Для этого изобразим расчетную схему (рис. 2).

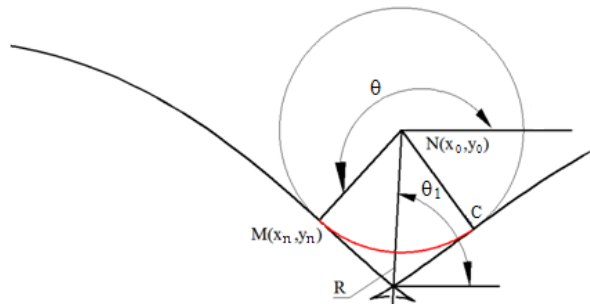


Рис. 2. Расчетная схема  $MC$  – дуга скругления выступов;  $N(x_0, y_0)$  – координаты центра скругляющей окружности;  $R$  – расстояние между центрами венца и скругляющей окружности;  $NC$  – радиус скругляющей окружности ( $r$ );  $\theta$  – угол между перпендикуляром к касательной линии в точке  $M$  и осью  $X$ ;  $\theta_1$  – угол между отрезком  $R$  и осью  $X$

Радиус скругляющей окружности выбирается в зависимости от диаметра тела качения в диапазоне:  $r = 0,5 \dots 0,55 Du$ .

Тогда уравнения для дуги скругления запишем в виде:

$$\begin{cases} x=R \cdot \cos(\theta_1)+r \cdot \cos(\theta+\Delta\theta) \\ y=R \cdot \sin(\theta_1)+r \cdot \sin(\theta+\Delta\theta) \end{cases} \quad (3)$$

Углы  $\theta$  и  $\theta_1$  находим по зависимостям:

$$\theta = \phi_3 - \alpha + \pi; \quad (4)$$

$$\theta_1 = \pi/2 - \pi/U. \quad (5)$$

Координата центра скругляющей окружности  $N(x_0, y_0)$  находится в точке пересечения отрезков  $R$  и  $MN$ , заданных функциями:

$$\begin{cases} y_0=k_1x_0 \\ y_0=k_2(x_0-x_n)+y_n \end{cases} \quad (6)$$

где:  $k_1 = \operatorname{tg}(\pi/2 - \pi/U)$  – для прямой  $R$ ;  $k_2 = \operatorname{tg}(\phi_3 - \alpha)$  – для прямой  $MN$ .

Таким образом, определены все необходимые уравнения для построения профиля венца волновой передачи с промежуточными телами качения со скругленными кромками.

По полученным зависимостям (1, 2) рассчитаны координаты профиля венца передачи с промежуточными телами качения в программе MatCad 15. По этим координатам построена эпициклоида с острыми кромками (рис. 3) с характерными петлями в местах перехода от выступа к впадине (рис. 4).



Рис. 3. Фрагмент эпициклоиды



Рис. 4. Петля на острой кромке

Затем были рассчитаны координаты эпициклоиды со скругленными кромками по уравнениям (3–6) и в программе AutoCad построена кривая профиля венца (рис.5).



Рис. 5. Фрагмент эпициклоиды со скругленными кромками

Файл с эпициклоидой профиля венца загружался в программу ADEM, где создавалась управляющая программа, которая передавалась на УЧПУ станка Emco Concert Mill 155.

В результате проделанной работы получены уравнения для построения профиля венца волновой передачи с промежуточными телами качения со скругленными кромками. По расчетным координатам создана управляющая программа для станка с ЧПУ и изготовлена модель изделия. Профильный венец со скругленными кромками снизит время приработки передачи, исключит попадание большого количества продуктов износа в зону контакта промежуточных тел качения с венцом, что приведет к повышению коэффициента полезного действия, а также надежности и долговечности передачи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 52067 Российская Федерация, МПК E21B 3/02. Электробур с редуктором с промежуточными телами качения. / В.С.Коротков. - №2005124607/22; Заявлено 02.08.2005; опубл. 10.03.2006, Бюл. №7.
2. Коротков В.С., Разумов С.В. Привод с редуктором с ПТК для ручной машины электробур // Справочник. Инженерный журнал. – 2014. – №9. – С. 58–61.

3. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства: Практикум лидера-проектировщика. - Томск: ТГУ, 1998. – 295 с.

### ОБЩАЯ СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В ТРАНСПОРТНОМ МЕХАНИЗМЕ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Г.Р. Зиякаев, Ф.А. Симанкин, К.К. Манабаев, Е.Ю. Валитова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: simankinf@tpu.ru

### GENERAL SCHEME OF LOAD DISTRIBUTION IN THE ORBITAL TRANSPORT MECHANISM

G.R. Ziyakaev, F.A. Simankin, K.K. Manabaev, E.Yu. Valitova

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* A schematic model of the load distribution in the orbital transport mechanism of non-destructive testing system welded joints is described. An example of results of calculations using the proposed model is given. The model is implemented in the software MathCAD.

Современные магистральные трубопроводы представляют собой сочленения отрезков труб стандартной длины. Отрезки труб являются основными элементами, формирующими трубопровод. Эти отрезки режутся, свариваются и контролируются различными устройствами, объединенными одним типом движения – орбитальным перемещением относительно оси трубы. Исполнительными органами могут быть резак для операции отрезания, либо сварочные головки – для операции сваривания, либо чувствительный элемент системы неразрушающего контроля, например цифровая рентгенографическая панель, ультразвуковой детектор, камера визуального контроля.

Для орбитального движения характерны замкнутая кольцевая траектория и постоянная направленность одной из поверхностей движущегося объекта на ось вращения. Теме механизмов, перемещающих полезную нагрузку при неразрушающем контроле трубопроводов посвящен ряд работ [1, 2], но найти информацию по оценке усилий в механизмах осуществляющих орбитальное перемещение не удалось. Однако, вопрос этот весьма актуален. Для исследования особенностей процесса орбитального перемещения сканера кольцевых трубных швов на основе механизма с тяговой цепью и точной оценки требуемой мощности привода механизма орбитального перемещения необходимо подобрать соответствующую методику расчета. Для этого следует составить расчетную схему устройства, учитывающую как можно больше сил, действующих в системе. В дальнейшем, на основе методики можно будет проводить расчеты при конструировании механизмов орбитального перемещения на основе тяговой цепи.

Для оценки величин сил, действующих на тележку, необходимо исследовать распределение нагрузок в различных положениях тележки относительно трубы. В дальнейшем, рассмотренные частные случаи следует объединить и развить в более общую схему, с достаточной степенью точности описывающую любое возможное положение тележки на трубе, в упрощенном виде схема представлена на рис.1.

В данной силовой схеме учтены следующие составляющие:  $T_1, T_2$  – силы натяжения цепи;  $G_{тел}$ ,  $G_{дв}$  – силы тяжести тележки и двигателя;  $N_1, N_2$  – силы реакции опор катков;  $F_{пр}$  – сила упругости пружины.

Из полученных уравнений равновесия для блока выводим зависимости для определения силовых характеристик привода МОП, которые выглядят следующим образом:

$$T_1 = \frac{F_{пр}}{2 \cos \beta} + \frac{F_{пол}}{2 \sin \beta} + \frac{G_{дв} \cdot \sin \alpha}{2 \sin \beta} - \frac{G_{дв} \cos \alpha}{2 \cos \beta}; T_2 = \frac{F_{пр}}{\cos \beta} - T_1 - \frac{G_{дв} \cos \alpha}{\cos \beta}$$



$$M_{дв} = T_1 \cdot \frac{d}{2} - T_2 \cdot \frac{d}{2}$$

Полученные зависимости реализуем в ПО *MathCAD*. Такой подход позволит быстро, удобно и с высокой степенью точности определять распределение сил в нагруженной тележке.

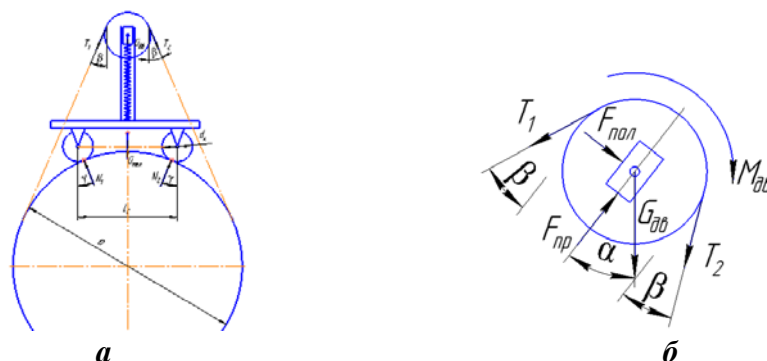


Рис. 1. Общая схема транспортной тележки (а) и схема распределения нагрузок в блоке натяжного устройства тележки, находящейся произвольном положении на трубе (б)

На рис. 2 представлен пример зависимости момента на двигателе привода тележки  $M_{дв}$  от угла поворота  $\alpha$  механизма относительно оси трубы. Данная зависимость получена при следующих исходных данных: диаметр трубы газопровода  $D_{тр}=1,4$ м; вес тележки  $G_{тел}=200$ Н; сила упругости пружины  $F_{пр}=1000$ Н.

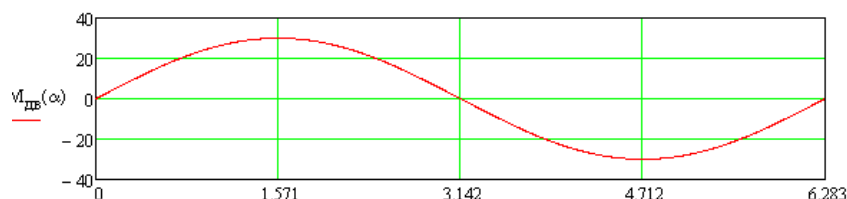


Рис. 2. Зависимость момента на двигателе привода тележки  $M_{дв}$  от угла поворота  $\alpha$  МОП относительно оси трубы

Анализ полученных графических зависимостей показывает, что имеет место так называемая «идеальная» зависимость, не учитывающая целый ряд особенностей, связанных с эксплуатацией механизма орбитального перемещения в реальности. К таким особенностям следует отнести, например, трение в узлах механизма.

Из графика видно, что одну половину цикла величина момента, развиваемого валом двигателя плавно возрастает от нуля до максимального значения 30 Н·м, затем плавно падает до нуля. Однако, это означает, что на этом участке траектории двигатель не потребляет электроэнергию, а вырабатывает ее, т.е. работает в режиме рекуперации. Логика же подсказывает, что подобное развитие событий маловероятно.

Уточнению представленной модели с учетом вышеописанного будет посвящена будущая работа. Тем не менее, использование предлагаемой модели распределения нагрузки при орбитальном перемещении позволяет достичь весьма точных результатов в определенном диапазоне перемещений (на участке подъема МОП, диапазон от метки 6 до метки 12 на рис. 1).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shangjun Ma, Tao Zhang, Geng Liu, Ruiting Tong, and Xiaojun Fu1, Kinematics of planetary roller screw mechanism considering helical directions of screw and roller threads // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2015. – vol. 2015.– Article number 459462.

2. Yunwei Zhang, Guozheng Yan, In-pipe inspection robot with active pipe-diameter adaptability and automatic tractive force adjusting // Mech. and Mach. Theory. – 2007. – vol. 42.–no.12. – P. 1618–1631.

### **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ОПОРА ДЕФЕКТОСКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДА**

Ф.А. Симанкин, К.К. Манабаев, Е.Ю. Валитова, С.А. Курнашов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: simankinfa@tpu.ru

### **ENERGY EFFICIENT FLAW DETECTOR SUPPORT FOR PIPELINE WELD INSPECTION**

F.A. Simankin, K.K. Manabaev, E.Yu. Valitiva, S.A. Kurnashov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** An orbital transport mechanism of non-destructive testing system welded joints using magnetic wheel is described. An example of results of calculations using the proposed model is given. The model is implemented in the software Elcut.*

Строительство магистральных трубопроводов является динамически развивающейся отраслью. Протяженность веток трубопровода может достигать нескольких тысяч километров, однако состоит она из отдельных отрезков труб небольшой длины, которые соединены посредством кольцевых сварных швов. Швы подлежат обязательному контролю качества.

Современные методы неразрушающего контроля сварных соединений труб включают в себя такие как ультразвуковой метод, рентгенография и т.д. Рентгенография подразумевает использование источника и приемника рентгеновского излучения, устанавливаемых с разных сторон объекта контроля. Существует схема компоновки оборудования при проведении контроля кольцевых трубных швов, называемая «просвечивание через две стенки». При такой компоновке источник и приемник излучения располагаются на внешней стороне трубы в противофазе друг к другу. Излучатель настраивается таким образом, чтобы в фокус попадало теневое изображение противоположной стороны трубы и шва. Находящаяся перед излучателем часть шва размывается и на приемнике не регистрируется.

Зачастую, способы крепления источника и приемника излучения выглядят весьма архаично. Однако, сейчас уже весьма распространены системы, так называемого, орбитального перемещения оборудования для рентгенографии [1]. Такие схемы компоновки являются энергоэффективными, поскольку значительно снижают трудо- и энерго-затраты при монтаже оборудования и позволяют эксплуатировать источники излучения в оптимальном режиме.

Одним из вариантов монтажа оборудования на объекте контроля является использование механизмов орбитального перемещения на «магнитных колесах» (рис.1).

Принцип действия магнитных колес, следующий: постоянный магнит кольцевой формы, намагниченный аксиально, расположен между двумя опорными дисками-магнитопроводами. Периферия магнита удалена от опорной поверхности (трубы), но магнитопроводы опираются на нее. Магнитный поток сцепления проходит через тело магнита и примыкающие к нему магнитопроводы. Поток замыкается в ферромагнитном материале трубы и пандеромоторная сила прижимает конструкцию к поверхности трубы.

Описанная конструкция колеса позволяет создавать механизмы орбитального перемещения, не нуждающиеся в дополнительных опорных элементах – поясах, цепях, ремнях, поскольку, механизм опирается непосредственно на трубу. Единственным

ограничением является использование таких механизмов на трубах из ферромагнитных материалов.

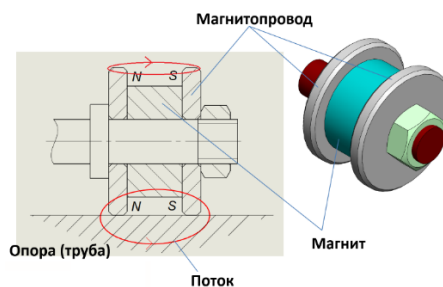


Рис. 1. Опора механизма орбитального перемещения «Магнитное колесо»

Для оценки применимости такой технологии в рентгенографии была предпринята попытка моделирования магнитного сцепления колеса описанной конструкции с трубой с использованием программного обеспечения *Elcut*. Пример модели и результаты расчетов представлены на рис. 2.

В качестве постоянного кольцевого магнита для конструкции колеса был выбран неодимовый магнит N42.

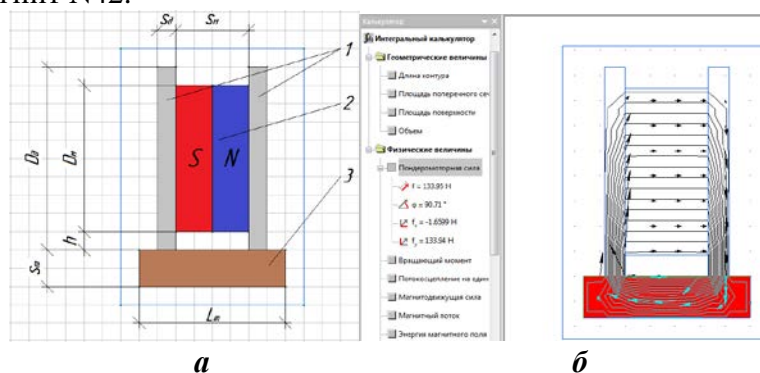


Рис. 2. Исходная геометрическая модель магнитного колеса в ПО *Elcut* (а) и пример результата расчета пандемоторной силы, прижимающей опору к объекту контроля (б); 1 – опорные диски-магнитопроводы; 2 – постоянный кольцевой магнит; 3 – поверхность трубопровода

Магнит имеет следующие характеристики: коэрцитивная сила  $H_c = 955000$  А/м, остаточная магнитная индукция  $B_r = 1,28$  Тл. Относительная магнитная проницаемость магнита  $\mu = 1$ . Магнит имеет аксиальную намагниченность; коэрцитивная сила направлена в сторону движения магнитного потока – от северного полюса магнита к южному. Полученная пандемоторная сила направлена под углом  $90^\circ$  и равна  $F = 133,95$  Н. В совокупности, применение в механизмах орбитального перемещения оборудования для неразрушающего контроля кольцевых трубных швов четырех опорных магнитных колес описанной конструкции с указанными геометрическими параметрами позволит обеспечить достаточное усилие прижатия механизма к объекту контроля.

Таким образом, пользуясь возможностями программного продукта *Elcut* можно оценить величину усилия прижатия опорных магнитных колес специальной конструкции к трубе, выполненной из ферромагнитного материала. Пользуясь полученными данными, можно проектировать механизмы орбитального перемещения оборудования для неразрушающего контроля кольцевых трубных швов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vasilchenko R. and et al. Kinematics of the orbital movement of a digital X-ray scanner of annular pipe seams // MATEC Web of Conferences. – 2018. –vol. 158. – Article number 01031.

**ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАДЗОРА В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ  
ЖИВОТНОВОДСТВА**

А.Е. Каташова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: any7978@yandex.ru

**IMPLEMENTATION OF REGIONAL STATE ENVIRONMENTAL  
SUPERVISION IN THE AREA OF ANIMAL WASTE MANAGEMENT**

A.E. Katashova

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** There is the implementation of regional state environmental supervision in the field of animal waste management in connection with the amendments to the Code of Administrative Offenses of the Russian Federation in this article. The legal aspects of the application for these changes are considered in the environmental protection.*

Президентом Российской Федерации в июне 2019 года подписан новый нормативно-правовой акт о внесении изменений в Кодекс об административных правонарушениях РФ (далее – Кодекс) о штрафах за нарушения требований при обращении с отходами [1]. Таким образом, с 17 июня 2019 года в Кодексе вопрос о нарушениях при обращении с отходами животноводства регулирует обновленная статья 8.2 и 8.2.3.

Цель работы – анализ практики привлечения к административной ответственности по статьям Кодекса, предусматривающих нарушения при обращении с отходами животноводства.

Задачи:

1. Охарактеризовать деятельность по организации и проведению регионального государственного экологического надзора в области обращения с отходами животноводства.

2. Проанализировать использование новых статей Кодекса в правоприменительной практике надзорных органов.

3. Оценить эффективность законодательных изменений применительно к участникам административных правоотношений и окружающей среде.

Актуальным законодательством установлены обязательные требования, оценка соблюдения которых является предметом государственного контроля (надзора). Так, до июня 2019 года привлечение к ответственности по нарушениям в области обращения с отходами возможно было по статье 8.2 Кодекса. В данном случае определение вида отходов не является обязательным.

Согласно вступившим изменениям в Кодексе отдельно выделен пункт по привлечению лиц к ответственности за нарушения при обращении с отходами животноводства. Часть 7 статьи 8.2 предусматривает наказание за несоблюдение санитарно-эпидемиологических требований к сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации или обезвреживанию отходов животноводства. Также статья 8.2.3 предусматривает наказание за несоблюдение требований в области охраны окружающей среды при обращении с отходами животноводства [2].

При этом обязательные требования, оценка соблюдения которых является предметом государственного контроля (надзора), не предусматривают привлечение к ответственности отдельно по направлению «отходы животноводства». К примеру, Управление Россельхознадзора по Томской области привлекало к административной ответственности юридических лиц за размещение куриного помета на землях сельскохозяйственного назначения по ч. 2 ст. 8.7 Кодекса.

На конец 2019 года в Томской области не отработана практика привлечения к административной ответственности по ч. 7 ст. 8.2, поэтому сделать реальный вывод об эффекте правоприменительной практики возможно после появления примеров административных дел.

Стоит отметить, что введение данной статьи может стать важным инструментом в улучшении состояния окружающей среды и земельных ресурсов. С 01.01.2017 вступили в силу положения Федерального закона от 03.07.2016 № 254-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [3]. Данные изменения вводят понятие накопленного вреда. Примером такого вреда в области обращения с отходами животноводства являются помехохранилища и пруды-отстойники жидкой фракции отходов, которые организуются без надлежащего порядка. Таким образом, ч. 7 ст. 8.2 возможно дополнительное привлечение лиц к ответственности, это служит дополнительным основанием для понуждения их к ликвидации данного вреда.

Главой 14.1 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» урегулирован порядок ликвидации накопленного вреда окружающей среде. Так, выявлению объектов накопленного вреда окружающей среде предшествует проведение инвентаризации и обследования соответствующих территорий, на которых в прошлом осуществлялась экономическая и иная деятельность либо на которых расположены бесхозные объекты капитального строительства и объекты размещения отходов.

Таким образом, эффективная работа новых законодательных норм требует времени для накопления опыта их применения, а также принятия общей позиции, согласно которой будут действовать не только суды, но и контролирующие органы. Также стоит отметить необходимость внесения изменений в существующие нормативно-правовые документы, которые бы внесли четкое разграничение между понятиями «твердые коммунальные отходы» и «отходы животноводства».

Используя методику исчисления размера вреда, причиненного почвам, в денежном эквиваленте возможно оценить, какой ущерб может быть причинен земельным ресурсам отходами животноводства (принимая равным отходам производства и потребления). Так, размещение 3 тонн перепревших отходов на землях сельскохозяйственного назначения площадью 0,5 гектара исчисляется ущербом, равным 24 000 руб. Это говорит не только об упущенной экономической выгоде, но и о вреде, причиненном почвам как одному из главных природных компонентов [4].

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 17.06.2019 № 141-ФЗ. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_326892/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_326892/) (дата обращения: 01.10.2020).
2. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 02.08.2019). – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34661/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/) (дата обращения: 25.09.2020).
3. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 03.07.2016 № 254-ФЗ. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_200513/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200513/) (дата обращения: 25.09.2020).
4. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды [Электронный ресурс]: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 08.07.2010 № 238 (ред. от 11.07.2018). – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_104774/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_104774/) (дата обращения: 01.10.2020).

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕТОНИРОВАНИЯ  
ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ НАДЕЖНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ  
В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДНОГО ШЕЛЬФА**

В.В. Матвиенко, В.Г. Крец, А.В. Шадрина  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: kr\_nas\_sh@tpu.ru

**CEMENT COATING OF PIPELINE IMPROVEMENT FOR RELIABLE AND  
SAFE OPERATION IN THE CONDITIONS OF A SHALLOW SHELF**

V.V. Matvienko, V.G. Krets, A.V. Shadrina  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The paper considers a description of the developed gypsum concrete coating and modeling of negative impact factors on subsea pipelines with gypsum concrete coating in the ANSYS software. In addition, the paper presents the possibility of constructing not buried pipelines in a shallow shelf using industrial waste for concrete coatings.*

Для устойчивого положения на дне моря, водоема, реки, озера подводных трубопроводов необходима балластировка. Для обеспечения устойчивого положения подводный трубопровод должен иметь отрицательную плавучесть, то есть полный вес трубопровода в воздухе должен быть больше веса вытесненной им воды.

В практике для балластировки подводных трубопроводов применяют сплошные монолитные бетонные и асфальто-бетонные мастики, наносимые на изоляцию, а также одиночные чугунные, железобетонные или бетонные грузы [1, 2].

Следует отметить, что одиночные грузы могут создавать сосредоточенные нагрузки, повреждать изоляцию, затруднять протаскивание их по дну и исключать применение трубозаглубительных механизмов.

При строительстве морских трубопроводов находят применение пригрузы сплошными покрытиями из бетона, усиленного арматурой, поверх слоя антикоррозионной изоляции. Однако производство компонентов бетона наносит вред окружающей среде. Подходящей альтернативой с экологической и экономической точек зрения является использование в цементе в качестве заменителей минеральных добавок.

В результате анализа и поиска оптимального состава бетонной смеси было принято решение использовать для создания бетонной смеси следующие утяжелители: баритовый песок, гематит и магнетит [3, 4]. Состав бетонной смеси на барите приведен в таблице 1.

*Таблица 1 – Состав бетонной смеси на барите*

Вариант	Состав			
	Фторангидрит, %	Барит, %	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , %	H <sub>2</sub> O, %
Б1	31,5	29,7	0,47	22
Б2	34	21	0,51	17

Физико-механические испытания полученных образцов проводились с помощью разрывной машины Gotech AI-7000M. Исследования образцов бетонных смесей на баритовом песке показали положительные результаты – прочность на сжатие составляла от 10,5 до 11,6 МПа, было достигнуто необходимое требование: прочность на сжатие должна быть не менее 10 МПа [2].

Подходящим составом смеси можно считать 29,7 % баритового песка и 31,5 % фторангидрита, 0,47% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 22% H<sub>2</sub>O. Такие смеси не только обеспечат прочность бетона, но и защиту трубопровода в агрессивной водной среде.

На рис. 1 показано воздействие падающего груза (масса контейнера 16697 кг) на разработанное гипсобетонное покрытие на основе барита на глубине 100 метров (трубопровод не заглублен в грунт).

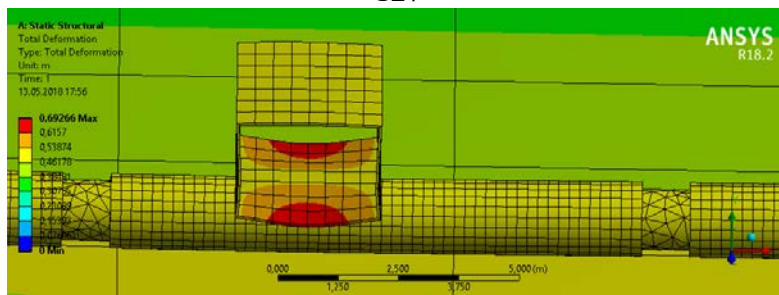


Рис. 1. Воздействие грузового контейнера на подводный трубопровод

Проведенный в Ansys расчет подтверждает возможность применения предложенного состава гипсобетона взамен обычного бетонного покрытия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забела К.А., Красков В.А., Москвич В.М., Сощенко А.Е. Безопасность пересечений трубопроводами водных преград / Под общей ред. К.А. Забелы. – М.: Недра – Бизнесцентр, 2001. – 195 с.
2. Морской стандарт DNV -OS-F101. Подводные трубопроводные системы СТО Газпром 2-3.7-050-2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://zinref.ru/000\\_uchebniki/01500\\_gaz/060\\_STO\\_Gazprom\\_2-3.7-050-2006/001.htm](https://zinref.ru/000_uchebniki/01500_gaz/060_STO_Gazprom_2-3.7-050-2006/001.htm) (дата обращения 06.07.2020).
3. Федорчук Ю.М., Малинникова Т.П. Исследование свойств строительных изделий на основе техногенного ангидрита // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3-1. – С. 46-49.
4. Fedorchuk Y.M., Matvienko V.V., Klemeš J.J., Varbanov P.S. Research Influence of Hazard on the Subsea Pipelines in the Caspian Sea // Chemical Engineering Transactions. – 2017. – vol. 61. – P. 1639–1644.

#### ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ В ОБЛАСТИ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ РАБОТАЮЩЕГО И НЕРАБОТАЮЩЕГО НАСЕЛЕНИЯ

И.И. Романцов, О.А. Антоневиц, И.И. Авдеева, А.А. Аверкиев  
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
 E-mail: antonevich@tpu.ru

#### WAYS OF TRAINING IN THE FIELD OF CIVIL DEFENSE OF THE WORKING AND UNEMPLOYED POPULATION

I. I. Romantsov, O. A. Antonevich, I. I. Avdeeva, A. A. Averkiev  
 National research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* This article considers the main forms of population training in the field of civil defense and protection from emergencies. The advantages and disadvantages of each of them are considered.

В рамках единой системы подготовки населения все граждане проходят обучение в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. В зависимости от категории слушателей обучение может осуществляться в Академиях гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), в учреждениях повышения квалификации министерств, департаментов, комитетов, администраций субъекта Российской Федерации и организаций, в учебно-методических центрах по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям субъектов Российской Федерации, по месту работы, учебы и месту жительства граждан.

Основными принципами обучения в области гражданской обороны, защиты в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера можно выделить всеобщность, непрерывность и комплексность обучения.

Принцип всеобщности заключается в том, что обучение всех категорий населения, не зависит от их возраста, национальной принадлежности, сферы деятельности и других факторов.

Непрерывность обучения определяет поэтапное формирование знаний, умений и навыков у обучаемых на протяжении всего жизненного цикла.

Комплексность обучения, с одной стороны, включает в себя знания о защите от всевозможных опасностей современного мира, с другой – учитывает задачи, которые возлагаются на различные группы обучаемых в данной сфере.

Обучение населения в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций является одной из ключевых задач в Единой государственной системе по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Согласно Федеральному закону №273 «Об образовании Российской Федерации» «...обучение в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, с учетом потребностей, возможностей личности и в зависимости от объема обязательных занятий педагогического работника с обучающимися осуществляется в очной, очно-заочной или заочной форме... При реализации образовательных программ используются различные образовательные технологии, в том числе дистанционные образовательные технологии, электронное обучение».

Очная форма обучения подразумевает еженедельное посещение лекционных, практических и лабораторных занятий. Данная форма предпочтительна для граждан до 25 лет, не имеющих постоянную работу, так как очная форма предполагает наибольшее количество часов отрыва от рабочего процесса. При этом очная форма охватывает более детально разделы каждой дисциплины. Также, исходя из количества часов обучения, данная форма обучения считается самой денежно-затратной, при условии обучения на платной основе.

Заочная форма обучения отличается от очной формы количеством затраченных часов на обучение и стоимостью обучения. Следовательно, по данной форме могут обучаться как неработающая молодежь, так и рабочее население, для которых не критичен отрыв от рабочего процесса на короткий период времени (около месяца каждые полгода).

Самым оптимальным для всех слоев населения является обучение по очно-заочной форме. Данная форма предполагает обучение в различное время суток, что позволяет рабочему населению, обучаться без отрыва от работы, затрачивая при этом меньшую сумму, чем при обучении на рассмотренных выше формах.

Исходя из современного биоритма, а также усовершенствований технических средств связи и возможностей сети Интернет, популяризируется очно-заочная форма обучения на основе Интернет-технологий, называемая дистанционным образованием.

В настоящее время набирает популярность обучение с использованием современных технологий. Это нововведение позволяет обучающимся независимо от их местонахождения получать доступ к учебно-методическим материалам и консультациям преподавателя в любое время суток.

Дистанционное образование имеет ряд преимуществ:

- + возможность доступа к курсу из любого места и в любое удобное время;
- + возможность более быстрой передачи на различные расстояния информации любого объема и вида (визуальной и звуковой, текстовой и графической, статичной и динамичной);
- + возможность оперативного редактирования информации через сеть Интернет в независимости от своего местонахождения;



+ скачивание информации курса для дальнейшего хранения на персональном компьютере в течение необходимого периода времени с возможностью ее редактирования, обработки, распечатки и т.д.;

+ возможность интерактивности с помощью, специально создаваемой для этих целей мультимедийной информации и оперативной обратной связи;

+ возможность доступа к различным источникам информации, в первую очередь к Интернет-ресурсам, удаленным базам данных, многочисленным конференциям через систему Интернет, работы с этой информацией;

+ в случае территориально удаленных слушателей, обучение производится без затрат на учебные пособия, расходов на поездки, проживания в другом городе.

Недостатки дистанционного образования:

- отсутствие живого общения между обучающимся и преподавателем;
- необходимость в персональном компьютере и доступе в Интернет;
- сложность проверки знаний;
- высокая трудоемкость разработки дистанционного курса.

Успешность дистанционного обучения во многом зависит от:

1. охвата курсом всех этапов обучения и всех участников процесса обучения;
2. простоты интерфейса для обучающихся и преподавателей;
3. формы подачи учебного материала;
4. варианта коммуникации между обучающимися и преподавателями (например, форум, аудио или видео связь и т.п.).

Курс дистанционного обучения – это комплекс мероприятий, охватывающий поиск необходимой информации в сети Интернет, коммуникация, как с преподавателем, так и с обучающимися, обращение к базам данных, периодическим информационным изданиям, распространяемым посредством Интернет.

Исходя из нормативных требований и анализа структур дистанционных курсов, формируется компоненты дистанционного курса такие, как:

- информация о курсе;
- цель курса;
- расписание курса (график прохождения тем или разделов, формы и время отчетности, расписание консультаций и т.п.);
- материалы курса;
- задания для самостоятельной работы;
- методические рекомендации;
- процедура оценки успеваемости;
- глоссарий;
- библиотека (ссылки на online-источники, электронные материалы для чтения и т.д.);
- банк контрольных вопросов;
- обратная связь;
- дополнительные разделы.

Анализ основных форм обучения показывает, что для большинства категорий обучающихся актуальным является обучение с использованием современных технологий, т.е. дистанционное образование.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Федеральный закон «О гражданской обороне» от 12.02.1998 г. №28-ФЗ (посл. ред.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_17861/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_17861/) (дата обращения: 15.10.20)
2. Письмо МЧС России от 12.11.2015 №43-5413-11 «Организационно-методические указания по подготовке населения Российской Федерации в области гражданской обороны, защиты от чрезвычайных ситуаций и безопасности людей на водных

объектах на 2016 - 2020 годы». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_252674/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_252674/) (дата обращения: 15.10.20)

3. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 г. №68-ФЗ (посл. ред.). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/) (дата обращения: 15.10.20)
4. Правительства РФ "Об утверждении Положения о подготовке населения в области гражданской обороны" от 02.11.2000 г. №841 (посл. ред.). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_29118/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_29118/) (дата обращения: 15.10.20)

### **ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ НАСЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

И.И. Романцов, О.А. Антоневиц, И.И. Авдеева, А.А. Аверкиев  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: antonevich@tpu.ru

### **EMERGING PROBLEMS IN THE PREPARATION OF THE POPULATION IN THE FIELD OF PROTECTION FROM NATURAL AND MAN-MADE EMERGENCIES**

I. I. Romantsov, O. A. Antonevich, I. I. Avdeeva, A. A. Averkiev  
National research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This article deals with problematic issues in population training in the field of civil defense and protection from emergencies. Measures for the training implementation, that contributes to an increase of life safety culture level and population preparation for action in the case of emergencies are proposed.*

В настоящее время большинство технических систем, используемых в повседневной жизни, а также работающих на благо обеспечения бытовых нужд, соответствуют высоким показателям безопасности. Большинство людей уже не помнит, когда в последний раз была глобальная или большая локальная авария, затронувшая большое количество людей и нанесяшая значительный урон материальной и социальной составляющей общества.

Подготовка работающего населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций предусматривает проведение занятий по месту работы согласно рекомендуемым программам и самостоятельное изучение порядка действий в чрезвычайных ситуациях с последующим закреплением полученных знаний и навыков на учениях и тренировках [1].

Формат такой подготовки подразумевает проведение:

- курсового обучения в области гражданской обороны, посредством прохождения вводного инструктажа;
- участие в учениях, тренировках и других плановых мероприятиях по гражданской обороне;
- индивидуальное изучение способов защиты от опасностей, возникающих при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов [2].

Основная проблема заключается в том, что большая часть населения является работающей, а данное обучение в организациях государственного сектора в большинстве случаев проводится формально и выражается как правило только в проведении вводного инструктажа. Учения и тренировки проводятся очень редко, а самостоятельным изучением порядка действий в чрезвычайных ситуациях как правило

никто не занимается. В коммерческих организациях различных форм собственности ситуация еще плачевнее, потому что зачастую сотрудников вообще не обучают этим вопросам.

Подготовка неработающего населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций предусматривает проведение бесед, лекций, просмотр учебных фильмов, привлечение на учения и тренировки по месту жительства, а также самостоятельное изучение пособий, памяток, листовок и буклетов, прослушивание радиопередач и просмотр телепрограмм по вопросам защиты от чрезвычайных ситуаций [1].

Формат такого обучения включает в себя:

- посещение мероприятий, проводимых по тематике гражданской обороны (беседы, лекции, вечера вопросов и ответов, консультации, показ учебных фильмов и др.);
- участие в учениях по гражданской обороне;
- чтение памяток, листовок и пособий, прослушивание радиопередач и просмотр телепрограмм по тематике гражданской обороны [2].

Что мы имеем на самом деле? Неработающее население, по факту вообще не сталкивается с вопросами гражданской обороны. Следовательно, они в чрезвычайной ситуации никак не смогут отреагировать или отреагируют в корне неправильно, что в свою очередь может привести к осложнению сложившейся ситуации и увеличению потерь от опасного фактора среди населения.

В Федеральном законе «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 № 68 указано, что:

«...основной обязанностью граждан Российской Федерации является изучение, постоянное совершенствование своих знаний и практических навыков в способах защиты в чрезвычайных ситуациях, приемов оказания первой доврачебной помощи пострадавшим, правил пользования средствами защиты...»;

«...Правительством Российской Федерации определяется порядок подготовки населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций...»;

«...пропаганда знаний в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций обеспечивается органами управления, входящими в РСЧС, совместно с общественными объединениями, осуществляющими свою деятельность в области защиты и спасения людей...» [3].

Из данных выдержек видно, что на основании вышеуказанного федерального закона должно проводиться обучение как работающего, так и неработающего населения в области гражданской обороны, но по факту данные мероприятия проводятся очень формально или вообще не проводятся.

Пропаганда безопасности жизнедеятельности в обществе и обучение населения в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера проводится, на наш взгляд, на очень низком уровне. Подойдя к любому человеку на улице и спросив у него, где находится ближайшее убежище, он ответит, что не знает. Заинтересованный человек добьется результата в своих поисках, а не заинтересованный опустит руки и не будет даже стараться искать нужную ему информацию, которая очень полезна при возникновении чрезвычайных ситуаций. Но суть проблемы скрыта не в том, что население не знает, где находятся ближайшие убежища, а в том, что на сегодняшний день их осталось катастрофически мало в действующем состоянии.

Также в данном вопросе присутствует проблематика доступности информации, нужную информацию по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям нужно вырывать отрывками из федеральных законов, постановлений Российской Федерации и иных нормативных документах, связанных с этим вопросом.

Создав простую и удобную программу пропаганды и обучения населения вопросам гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций, можно закрыть огромную брешь в знаниях и обучении в области безопасности жизнедеятельности работающего и

неработающего населения. На примере наилучших практик производственной безопасности больших компаний нефтегазовой отрасли, можно сделать вывод о том, что визуализация и простота доступности – ключ к успеху. Путем создания коротких и понятных видео роликов, адаптированных под каждый город, можно повысить в разы уровень знаний в области гражданской обороны и защиты в чрезвычайных ситуациях всех слоев населения. Также, периодическая пропаганда в рекламные паузы на телевидении и радио, дорожные баннеры, информационные табло имеют высокую эффективность.

Поэтому, эти способы необходимо активнее использовать органам исполнительной власти в работе, направленной на повышение уровня безопасности жизнедеятельности в обществе.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Федеральный закон «О гражданской обороне» от 12.02.1998 г. №28-ФЗ (посл. ред.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_17861/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_17861/) (дата обращения: 15.10.20)
2. Правительства РФ «Об утверждении Положения о подготовке населения в области гражданской обороны» от 02.11.2000 г. №841 (посл. ред.). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_29118/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_29118/) (дата обращения: 15.10.20)
3. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 г. №68-ФЗ (посл. ред.). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/) (дата обращения: 15.10.20)

#### **АРИЛ- И ГЕТЕРОАРИЛДИАЗОНИЙ СУЛЬФОНАТЫ – УДОБНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ БЛОКИ ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**

Е.А. Краснокутская, В.Д. Филимонов, А.Н. Санжиев  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: eak@tpu.ru

#### **ARYL- AND HETEROARYLDIAZONIUM SULFONATES - CONVENIENT ORGANIC SYNTHESIS BUILDING BLOCKS**

E.A. Krasnokutskaya, V.D. Filimonov, A.N. Sanzhiev  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** A new, previously unknown series of aromatic and heteroaromatic diazonium sulfonates (tosylates, triflates, camphorsulfonates) has been developed. All synthesized diazonium salts are safe during storage, have high solubility both in water and in organic polar and low-polarity solvents. The features of the molecular structure, the chemical properties of diazonium salts have been established. Based on the method of isothermal flow calorimetry, a new approach for the quantitative assessment of the storage stability of aromatic and heteroaromatic diazonium salts has been developed.*

Ароматические и гетероароматические соли диазония широко используются в современном органическом синтезе. Доступность исходных аминов и диазотирующих реагентов, а также высокая активность солей диазония в широком спектре реакций обеспечивают высокий и постоянный интерес к данному классу органических соединений. Кроме того, соли диазония играют ключевую роль в промышленно важных процессах получения красителей, лекарственных веществ и др. Общеизвестные синтетические достоинства традиционных диазониевых солей сопряжены с рядом не

менее известных серьезных недостатков, среди которых низкая стабильность и взрывоопасность в сухом состоянии, плохая растворимость в воде.

Ранее показано, что диазотирование анилинов в присутствии сульфокислот - *p*-толуолсульфокислоты (TsOH) и трифторметансульфокислоты (TfOH) приводит к образованию соответствующих аренидазоний сульфонатов ( $\text{ArN}_2^+ \text{OSO}_2\text{R}$ ) с хорошими выходами [1], [2]. Указанные соли диазония стабильны при хранении, обладают хорошей растворимостью как в воде, так и многих органических растворителях (этанол, ДМСО, ДМФА, уксусная кислота, этанол, ацетонитрил, дихлорметан, хлороформ). Указанные соли диазония обладают высокой реакционной способностью в реакциях нуклеофильного замещения и С-С-сочетания.

Диазотирование  $\pi$ -избыточных аминогетероциклов в присутствии TsOH и TfOH также приводит к образованию солей диазония, однако менее устойчивых на воздухе, чем ароматические карбоциклические аналоги. Тем не менее, диазотатные растворы гетероароматических солей диазония пригодны для дальнейших превращений (рис. 1).

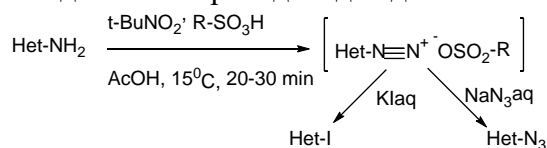


Рис. 1. Схема 1

Диазотирование аминопиридинов и аминохинолинов в присутствии сульфокислот приводит к образованию соответствующих эфиров – гетероарилсульфонатам, что объясняется неустойчивостью образующихся гетероароматических солей диазония [3–5].

Впервые показано, что диазотирование N-оксидов аминопиридинов успешно проходит под действием TsOH, TfOH, камфоросульфокислоты (CamphSO<sub>3</sub>H). При этом возможно использование различных диазотирующих агентов ( $\text{NaNO}_2$ , *t*-BuNO<sub>2</sub>, *n*-BuNO<sub>2</sub>) и реакционных сред (вода, ДМСО, MeCN, уксусная кислота, ацетон, дихлорметан) (рис.2).

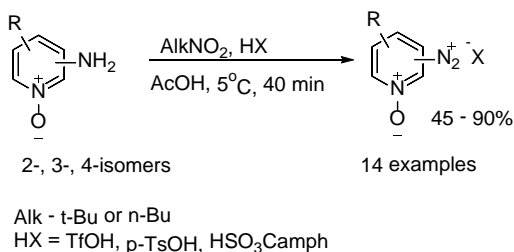


Рис.2. Схема 2

В ходе исследований обнаружены особенности молекулярной структуры синтезированных солей диазония, а также различия в реакционной способности в сравнении с другими гетероароматическими и ароматическими солями диазония. В частности, N-оксиды пиридиндиазоний сульфонаты в условиях палладий катализируемых реакциях С-С-сочетания преимущественно восстанавливаются до пиридин-1-оксидов. Показано, что все пиридиндиазоний сульфонаты хорошо растворимы в воде и органических растворителях (этанол, ДМСО, ДМФА, уксусная кислота, этанол, ацетонитрил, дихлорметан, хлороформ).

На основе метода изотермической потоковой калориметрии разработан новый подход для количественной оценки стабильности при хранении ароматических и гетероароматических солей диазония. Разработанный подход позволил определить энергии активации и время полураспада солей диазония с экстраполяцией к нормальным условиям хранения. Показано, что для 4-нитробензолдиазониевых солей ( $4\text{-NO}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{N}_2^+ \text{X}^-$ ) время полураспада при 25 градусах сильно зависит от природы противоиона и

составляет 4.5 года для  $X = \text{BF}_4$ , 5 лет для  $X = \text{TsO}$  и 46 лет для  $X = \text{TfO}$ . Впервые определено время полураспада ранее неизвестного N-оксипиридин-4- diazonий трифлата – 1.5 года.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Filimonov V.D. and et al Unusually stable, versatile, and pure arenediazonium tosylates: Their preparation, structures, and synthetic applicability // *Org. Lett.* – 2008. – no.10. – P. 3961–3964.
2. Filimonov V.D. and et al Synthesis, structure, and synthetic potential of arenediazonium trifluoromethanesulfonates as stable and safe diazonium salts // *Eur. J. Org. Chem.* – 2019. — no.4. — P. 665–674.
3. Tretyakov A. N. and et al A new one-pot solvent-free synthesis of pyridinyl tosylates via diazotization of aminopyridines // *Tetrahedron Lett.* – 2011. – no. 11. – P. 85–87.
4. Krasnokutskaya E. A., Kassanova Ass. Zh., Estaeva M. T., Filimonov V. D. A new synthesis of pyridinyl trifluoromethanesulfonates via one-pot diazotization of aminopyridines in the presence of trifluoromethanesulfonic acid // *Tetrahedron Lett.* – 2014. – no. 55. – P. 3771–3773.
5. Kassanova Ass.Zh., Krasnokutskaya E.A., Beisembai P., Filimonov V. D. A novel convenient synthesis of pyridinyl of quinolinyl triflates and tosylates via one-pot diazotization of aminopyridines and aminoquinolines in solution // *Synthesis.* – 2016. – no. 48. – P. 256–262.

### РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕКОДЕРА СООБЩЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ-ВЕЩАНИЯ НА ПЛИС

А.Э. Ульяновская<sup>1</sup>, А.Н. Мальчуков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

<sup>2</sup>Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

E-mail: aeu4@tpu.ru

### CRC-DECODER FPGA IMPLEMENTATION FOR ADS-B SYSTEM

A.E. Ulyanovskaya<sup>1</sup>, A.N. Malchukov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University,

<sup>2</sup>Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

**Annotation.** *This article describes decoder implementation for ADS-B system messages. The decoder corrects bit errors that occur in received messages on the basis of the demodulator data and CRC check sum.*

Приём и обработка сообщений в системе автоматического зависимого наблюдения-вещания происходит следующим образом – с помощью навигационной спутниковой системы воздушное судно получает информацию о своём местонахождении и сообщениями в формате АЗН-В (112 бит) [1] передают эти и прочие данные на наземную станцию, где принимаются системой антенн, проходят через входной фильтр и поступают на блок приёмника сообщения. Именно в приёмнике данных и находится реализуемое устройство декодирования сообщений, которое проверяет целостность принятых данных на основе доверительной последовательности (112 бит), которую формирует приёмник сообщений исходя из соответствия бит определенным критериям. После проверки данные поступают на устройство обработки данных наблюдения, а оттуда в центр управления воздушным движением [2].

Каждое сообщение в системе АЗН-В состоит из преамбулы (двух синхронизирующих импульсов) и блока данных (112 бит), который в свою очередь имеет следующий формат [3]:

- тип сообщения (5 бит);

- информация о транспондере (3 бита);
- уникальный ИКАО-адрес летательного аппарата (24 бита);
- данные с полезной нагрузкой (56 бит);
- контроль четности в виде CRC (24 бита).

Алгоритм проверки целостности полученных данных основан на матричном методе алгоритма CRC [4]. Помимо полученного сообщения исходные данные содержат доверительную последовательность, которая в случае несовпадения CRC полученного и рассчитанного, поможет восстановить искаженное сообщение. В доверительной последовательности «1» означает высокую вероятность ошибки в данных, «0» – низкую. Если в последовательности количество единиц будет превышать заданное пороговое значение, восстановление будет невозможно из-за вычислительной сложности большого количества операций перебора и проверок.

На вход устройства подаются исходное сообщение  $D(x)$  и доверительная последовательность  $L(x)$  (рис.1). Далее в Блоке проверки CRC на основе полезных данных (88 старших бит сообщения) и образующего полинома вычисляется CRC и сравнивается с ранее полученной от отправителя CRC (младшие 24 бита сообщения). Если контрольные суммы совпали, на Блок вывода устройства  $D\_out(x)$  посылаются полезные данные сообщения.

При различии в контрольных суммах посылается сигнал об ошибке на Блок прямой проверки, где с помощью доверительной последовательности посредством её сложения по модулю 2 с информационной последовательностью, восстанавливаются данные. Полученная последовательность  $D'(x)$  снова проходит проверку на соответствие CRC. Как и на предыдущем этапе проверки, если контрольные суммы совпали, на выход устройства посылаются данные сообщения. Иначе сигнал о наличии ошибки отправляется на Блок проверки соответствия пороговому значению, в котором считывается количество единиц доверительной последовательности и сравнивается с пороговым значением. Если количество единиц превышает пороговое значение, делаем вывод о невозможности восстановления сообщения – выходная последовательность обнуляется и на выход  $error\_out$  подаётся «1», тем самым сигнализируя об обнаружении неисправимой ошибки. В противном случае данные исходного сообщения и доверительная последовательность отправляются в Блок перебора. Каждую итерацию подозрительный бит исходного сообщения переключается, и уже новые данные посылаются в Блок проверки CRC и сравниваются. Если в ходе перебора не было получено совпадения CRC, на выход устройства посылается сигнал о невозможности восстановления данных – выходная последовательность  $D\_out(x)$  обнуляется и  $error\_out$  – «1». Иначе восстановленные данные посылаются на выход  $D\_out(x)$ .

Согласно обобщенной функциональной схеме (см. рис.) был реализован декодер на ПЛИС посредством САПР Quartus II 9.1sp2 на языке описания аппаратуры VHDL с применением блочно-ориентированного подхода [5].

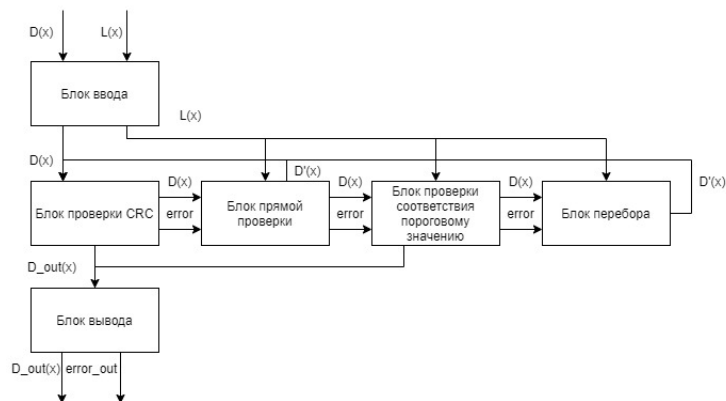


Рис. 1. Обобщённая функциональная схема устройства декодирования сообщений

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abdulaziz A., Yaro A.S., Adam A.A., Kabir M.T., Salau H.B. Optimum receiver for decoding ADS-B signals // American Journal of Signal Processing. – 2015. –no.5(2). – P. 23–31.
2. Применение АЗН-В [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forum.aeronet.aero/viewtopic.php?t=12> (дата обращения: 09.10.2020).
3. Технология ADS-B Расширенный сквиттер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://adsbradar.ru/ads-b-conception> (дата обращения: 04.10.2020).
4. Мыцко Е.А., Мальчуков А.Н. Исследование программных реализаций табличного и матричного алгоритмов вычисления контрольной суммы // Вестник науки Сибири. – 2011. – №1(1). – С.273–278.
5. Ерёмин В.В., Мальчуков А.Н. О применении блочно-ориентированного подхода к разработке устройств на ПЛИС // Вестник науки Сибири. – 2011. – №1(1). – С.379–381.

**ИЗМЕРЕНИЕ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОБМОТОК**

И.А. Набунский, К.В. Образцов, А.С. Глазырин, И.В. Раков, Д.С. Буньков  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: nabunskiiivanlove@tpu.ru

**MEASUREMENT OF INSTANTANEOUS MAGNETIC FIELD VALUES IN AN INDUCTION MOTOR USING A MEASURING WINDINGS**

I.A. Nabunskiy, K.V. Obratsov, A.S. Glazyrin, I.V. Rakov, D.S. Bunkov  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The field-oriented control (FOC) algorithm requires information about the direction of the reference vector of flux linkage. In this paper, we propose one of the methods for measuring the magnetic field parameters in an induction motor. Experimental data of EMF from the measuring winding laid in the slots of the stator have been obtained and analyzed.*

Вращающий момент на валу асинхронного двигателя (АД) образуется путем векторного произведения двух векторов, отвечающих за электромагнитное состояние статора и ротора. В качестве таких векторов может служить как ток, так и потокосцепление [1, 2]. В зависимости от того какая переменная выбрана в качестве переменной состояния статора и ротора возможно шесть вариантов записи мгновенного значения крутящего момента:

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{3}{2} \cdot z_p (\psi_{1\alpha} I_{1\beta} - \psi_{1\beta} I_{1\alpha}); & M &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_1} (\psi_{1\beta} I_{2\alpha} - \psi_{1\alpha} I_{2\beta}); \\
 M &= \frac{3}{2} \cdot z_p (\psi_{2\beta} I_{2\alpha} - \psi_{2\alpha} I_{2\beta}); & M &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} (\psi_{2\alpha} I_{1\beta} - \psi_{2\beta} I_{1\alpha}); \\
 M &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot L_m (I_{1\beta} I_{2\alpha} - I_{1\alpha} I_{2\beta}); & M &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} (\psi_{1\beta} \psi_{2\alpha} - \psi_{1\alpha} \psi_{2\beta}),
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $z_p$  – число пар полюсов АД,  $\psi_{1\alpha}, \psi_{1\beta}, \psi_{2\alpha}, \psi_{2\beta}$  – ортогональные проекции потокосцепления статора и ротора в осях  $\alpha, \beta$ ;  $I_{1\alpha}, I_{1\beta}, I_{2\alpha}, I_{2\beta}$  – ортогональные проекции токов статора и ротора в осях  $\alpha, \beta$ ;  $L_1, L_2$  – эквивалентные индуктивности обмотки статора и ротора;  $L_m$  – результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре машины;  $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}$  – коэффициент рассеяния.



Для построения качественной системы векторного управления асинхронным электроприводом, необходимо измерять или оценивать одну магнитную переменную состояния представленную своими ортогональными проекциями ( $\alpha, \beta$  или  $d, q$ ) в статоре и одну – в роторе [3]. Переменные состояния магнитной системы АД могут быть измерены напрямую с помощью датчиков, либо вычислены косвенным способом. Потокосцепление АД может быть измерено с помощью датчиков, основанных на эффекте Холла. В работе [4] предложено несколько вариантов крепления датчиков Холла на зубцы статора. Также мгновенные значения проекций потокосцепления статора можно восстановить с помощью интегрирования проекций вектора ЭДС измерительной системы  $\vec{E}_{изм}$ , снимаемых с двух измерительных обмоток, уложенных в пазы статора АД,

$$\vec{\psi}_s = \int \vec{E}_{изм} dt \quad (2)$$

При питании обмоток статора АД от трехфазного гармонического источника (380 В, 50 Гц) измерительные обмотки позволяют снять два гармонических сигнала, сдвинутых на 90 электрических градусов.

В асинхронный двигатель АИР 56А4 с числом пар полюсов  $z_p = 2$  и количеством пазов статора  $Z_1 = 24$  было установлено две измерительные обмотки, сдвинутые в пространстве относительно друг друга на угол  $\frac{\pi}{2}$  с учётом целого числа пазов на полюс и фазу (рис. 1).



Рис. 1. Фото экспериментальной установки

На рис. 2 представлены осциллограммы проекций ЭДС измерительной системы  $E_{изм.\alpha}(t)$  и  $E_{изм.\beta}(t)$ . Осциллограммы сняты с помощью двухканального цифрового осциллографа АКТАКОМ АСК-2035. Анализируя рис. 2, можно сказать, что сигналы с измерительных обмоток расходятся по фазе на угол 90°. Сигналы  $E_{изм.\alpha}(t)$  и  $E_{изм.\beta}(t)$  практически равны по амплитуде и содержат шумовые составляющие.

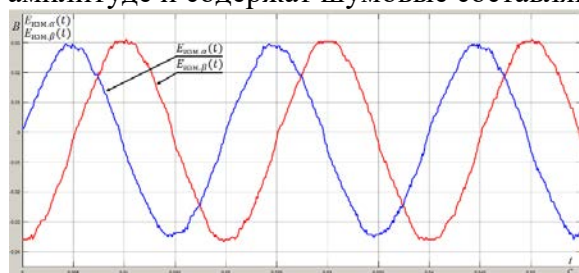


Рис. 2. Сигналы с измерительных обмоток, уложенных в пазы статора АД

При восстановлении сигнала потокосцепления статора АД по (2) возникает проблема неизвестных начальных условий интегрирования. В связи с этим будет неизбежно накапливаться систематическая ошибка интегрирования. Для решения этой проблемы с некоторой степенью приближения интегратор можно заменить аperiодическим звеном

первого порядка [5]. Недостатком данного метода является появление амплитудно-фазовых искажений в потокосцеплении при работе на низких частотах.

На основании косвенной информации о потокосцеплениях, получаемой по проекциям ЭДС  $E_{изм.\alpha}(t)$  и  $E_{изм.\beta}(t)$ , снимаемым с измерительных обмоток, уложенных в пазы статора асинхронного двигателя, возможно восстанавливать проекции потокосцепления статора АД. При этом необходимо будет решить проблему построения высококачественного цифрового интегратора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000 – 654 с.
2. Боловин Е.В. Разработка алгебраических методов идентификации параметров асинхронных двигателей на основе дискретных моделей [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.09.03, 05.09.01. - Томск, 2018. - 271 с.
3. Электропривод с асинхронной машиной [Текст]: пат. 548220 СССР: МПК<sup>7</sup> Н 02 Р 21/12, Н 02 Р 21/10 / Феликс Блашке; патентообладатель СИМЕНС АГ (ФИРМА). - N 1619609; заявл. 27.01.71; опубл. 25.02.77, Бюл. N 7 ; приоритет:; 14.08.69, DT 69 1941312
4. Шатков А.П. Реализация релейно-векторного принципа управления в асинхронном электроприводе при непосредственном измерении параметров магнитного поля // Вестник ИГЭУ. – 2011. – Вып. 5. – С. 52–57.
5. Калачев Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе. – М: МВТУ им. Баумана, 2015. – 60 с.

#### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

И.И. Романцов, О.А. Антоневиц, И.И. Авдеева, А.А. Аверкиев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: antonevich@tpu.ru

#### FORECASTING EMERGENCY SITUATIONS

I. I. Romantsov, O. A. Antonevich, I. I. Avdeeva, A. A. Averkiev

National research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The article is devoted to the problems of monitoring and forecasting emergency situations on the Tomsk region territory. The purpose of the work is to consider forecasting emergency situations technologies. Technologies for long-term and operational forecasting were identified. Approaches to estimating the probability of occurrence of an emergency situation and damage from an emergency are presented.*

Опыт ликвидации крупных чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, имевших место в новейшей истории, показывает, что своевременный прогноз их возникновения приводит к существенному снижению масштабов и смягчению последствий воздействия источников ЧС [1].

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций предполагает определение времени и места ЧС, вероятности наступления ЧС (и в первую очередь, вероятности возникновения источника чрезвычайной ситуации), возможного характера и масштаба чрезвычайных ситуаций. Современные технологии прогнозирования чрезвычайных ситуаций можно условно подразделить на технологии долгосрочного прогнозирования и технологии оперативного (краткосрочного) прогнозирования опасных природных явлений (ураганов, смерчей, наводнений, природных пожаров, цунами и др.). При подготовке прогнозов рассматриваются все возможные источники чрезвычайных ситуаций,

характерные для региона. Это особенно важно при оценке возможности возникновения каскадных ЧС по типу эффекта «домино» [2].

Оперативные (краткосрочные) прогнозы имеют целью получение исходных данных о возможной обстановке для принятия решений о защите населения и территорий от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций. Оперативное прогнозирование базируется на комплексных технологиях, которые включают: технологии мониторинга, технологии математического моделирования, геоинформационные технологии.

В настоящее время существенные усилия в области прогнозирования ЧС сосредоточены на создании информационно-аналитических технологий. Эти технологии позволяют контролировать параметры состояния природной среды, и с помощью соответствующих математических моделей оперативно прогнозировать возникновение и развитие опасных природных процессов, которые приводят к чрезвычайным ситуациям.

Положительный опыт создания подобных технологий имеется и может быть продемонстрирован на примере формирования технологии прогнозирования паводковой обстановки. Надежный контроль уровня воды, снежных запасов, толщины льда, температуры воздуха и других параметров в сочетании с адекватными математическими моделями процесса позволяют с высокой точностью прогнозировать масштабы и последствия паводковых наводнений [3].

В настоящее время высокую степень проработки имеет технология прогнозирования лесных пожаров, в основе которой лежит комплекс взаимосвязанных метеорологических характеристик (количество и динамика осадков, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра), параметры и состояние лесного покрова и др.

В общем случае прогнозирование рассматривается как исследовательский и расчетно-аналитический процесс, целью которого является получение вероятностных данных о будущем состоянии и характере развития прогнозируемого явления, состоянии и определяющих параметрах функционирования систем или объекта [4,5].

В результате были сделаны следующие выводы:

1. Рассмотрены и проанализированы все виды прогнозов и способы их совершенствования для территории Томской области.
2. Оценка географической, климатической и социально-экономической характеристик позволила выявить характерные риски для г. Томска и Томской области.
3. Анализ существующих расчетных программ и систем позволил научиться более детально прогнозировать чрезвычайные ситуации различного характера, а также и их последствия.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Болов В.Р. Применение современных технологий, методов мониторинга и прогнозирования в обеспечении системы управления в кризисных ситуациях // Средства спасения. Противопожарная защита. Российские инновационные системы. – 2010. – № 10. – С.88–100
2. Гражданская защита. Энциклопедия / Под. общ. ред. С.К.Шойгу. – М.: Деловой экспресс, 2007. – 548 с.
3. Шахраманьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А. Оценка природной и техногенной безопасности России. Теория и практика. – М.: ВНИИ ГОЧС, 1998. – 217с.
4. Методика оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций // Проблемы анализа риска. – 2007. – Т. 4.– № 4. – С. 366–377
5. Горбунов С.В., Макиев Ю.Д., Малышев В.П. Анализ технологий прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Стратегия гражданской безопасности, проблемы и решения. – 2011. – Т.1.– №1(1). – С. 43–53.

## ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ ХОБЛ

Н.А. Алексеев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

E-mail: alekseevtomsk@gmail.com

## APPLICATION OF MOBILE DEVICES IN THE DIAGNOSTICS AND TREATMENT OF COPD

N.A. Alekseev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

***Annotation.** The current level of development of medicine makes it possible to successfully treat a person from a variety of acute diseases, thereby reducing mortality and increasing the overall life expectancy, but at the same time the percentage of chronic diseases (CHNID) is steadily growing. Bronchial asthma and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) occupy one of the leading places in terms of prevalence among CHNIDs.*

Несмотря на то, что все современные клинические рекомендации делают акцент на необходимости своевременного выявления болезней, устранения факторов риска и раннего начала терапии ХНИЗ – распространённость поздней диагностики и недостаточной эффективности терапии остается достаточной высокой.

Путь к улучшению качества жизни больных и снижению стоимости лечения многие специалисты видят в постепенных изменениях структуры здравоохранения: переходе от эпизодического лечения «обострений» к постоянному контролю течения заболевания, повышению степени вовлеченности пациента в заботу о своем здоровье, увеличении количества лечебных мероприятий, проводимых в домашних условиях [1]. Таким образом, в рамках контроля комплаенса и поощрения персистенции пациентов интеграция телемедицинских решений в клиническую практику представляет особый интерес.

В частности, мобильная телемедицина – использование мобильных устройств и приложений для обеспечения контроля за состоянием пациента – в настоящее время одна из самых актуальных задач как для практических врачей, так и для исследователей и самих пациентов.

Экономическая составляющая – один из трех столпов ценностно-ориентированной медицины наряду с клинической эффективностью и удовлетворенностью пациента проводимыми вмешательствами. Возможные экономические и социальные выгоды – одна из причин развития телемедицины. Такого рода взаимодействие «врач-пациент» не требует дорогостоящих медицинских вмешательств, но при этом способствует значительному снижению финансовых затрат на лечение осложнений. Мобильные технологии позволяют создавать персонифицированные и универсальные формы взаимодействия с пациентом, учитывая его пол, возраст, длительность заболевания, проблемы с которыми он наиболее часто сталкивается и др.

Большинство современных систем используют мобильные устройства (планшеты и смартфоны под операционные системы Android или iOS) в качестве конечных узлов при взаимодействии с пользователем [2–5]. Существуют также системы, использующие для тех же целей веб-интерфейс [6,7]. Однако существующие в настоящее время информационные приложения не удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к системам удаленного мониторинга хронических больных - почти все они обеспечивают только сбор данных о состоянии пациента, тогда как вся аналитическая часть ложится на плечи врача.

На первый взгляд может показаться логичным, что все регистрируемые пациентом данные должен обрабатывать непосредственно лечащий врач (врач общей практики,

врач-специалист). Однако, принимая во внимание постоянную занятость последних, становится ясно, что для реализации достаточно крупных и жизнеспособных систем нужны некоторые «фильтры», которые будут доводить до врачей наиболее важную информацию, уже обработанную.

Кроме того, для улучшения эффективности использования мобильных технологий необходимо использовать поведенческие теории и включать в процесс: постановку целей лечения, обратную связь по результатам, адаптировать взаимодействие врач-пациент, предоставлять информацию о возможных последствиях, предупредить возможные барьеры во взаимодействии с пациентом и пути их преодоления.

Проектируемая технология представляет собой телемедицинское решение, работающее по модели «врач-пациент» основанное на мобильных и веб-технологиях. Это трехзвенная клиент-серверная технология мониторинга больных в режиме реального времени. В роли проектного решения выступают 3 системных клиента: мобильный клиент со стороны пациента, мобильный клиент со стороны врача, веб-клиент - рабочее место врача в медицинской организации.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Lovell N. H., Redmond S. J., Basilakis J., Shany T., Geller B. G. Telehealth technologies for managing chronic disease — experience from Australia and the UK // EMBS: proceedings of the 32th Annual International Conference of the IEEE– 2010. – P. 5267–5269.
2. Lan M., Samy L., Alshurafa N., Suh M, Ghasemzadeh H., Macabasco-O’Connell A., Sarrafzadeh M. WANDA: An end-to-end remote health monitoring and analytics system for heart failure patients // Proceedings of the Conference on Wireless Health. – 2012. – P. 11–19.
3. Spaulding R. Kansas care: e-health clinic appointments using ipad minis between multiple professionals and complex patients in their homes. am. telemedicine association. [Электронный ресурс]. –Режим доступа:<http://www.americantelemed.org/about-telemedicine/telemedicinecase-studies/case-study-full-page/kansas-icare-mhealth-clinic-appointments-using-ipad-minis-between-multiple-professionals-and-complex-patients-in-their-homes#.VD98VnVILmi> (дата обращения 10.02.2020).
4. Doherty S.T., Oh P. A multi-sensor monitoring system of human physiology and daily activities // Telemedicine and e-Health. – 2012. – vol. 18.– no.3. – P. 185–192.
5. Lee Y.G., Jeong W.S., Yoon G. Smartphone-based mobile health monitoring. // Telemedicine and e-Health. – 2012. – vol. 18.– no.8. – P. 585–590.
6. Nenov V., Klopp J. Remote analysis of physiological data from neurosurgical ICU patients // J. Am. Med. Inform. Association. – 1996. – vol. 3.– no.5. – P. 318–327.
7. Magrabi F., Lovell N.H., Huynh K., Celler B.G. Home telecare: system architecture to support chronic disease management // Engineering in Medicine and Biology Society: proceedings of the 23rd Annual International Conference. – 2001. – P. 3559–3562.

## ЗАНЯТОСТЬ ЛИЦ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

В.Ю. Бабышев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: vacheslav84@mail.ru

## EMPLOYMENT OF ELDERLY AGE IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION OF THE ECONOMY

V.Yu. Babyshev

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *This article «Employment of elderly age in the conditions of digitalization of the economy» V.Yu. Babyshev vacheslav84@mail.ru the tendencies of continued labor activity of people after reaching old age are investigated. The current trends in the digitalization of the economy and their importance for the employment of older people are considered. An overview of the employment of elderly people by age profiles, gender differences, as well as in the sectoral structure is made. The qualitative composition, peculiarities of employment regimes and problems of employment of elderly people have been studied.*

Современная демографическая ситуация в России характеризуется неуклонным старением рабочей силы (таблица № 1).

Таблица 1 – Средний возраст рабочей силы в России, 2006-2019[1].

Год	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2019
Всего	39,4	39,5	39,7	40,0	40,2	40,4	40,9	41,0
Мужчины	39,0	39,0	39,2	39,6	39,6	39,9	40,5	40,6
Женщины	39,8	40,0	40,2	40,5	40,7	40,9	41,3	41,5

При этом если в 2017 году население в возрасте 50 и более лет составляла 42,6 % от всей численности рабочей силы, то к 2028 году этот показатель возрастет до 45,4 %, при этом максимальный рост численности будет наблюдаться в возрасте 65+ [2]. При этом растет средняя продолжительность жизни после выхода на пенсию: если в 2006 году данный показатель составлял 13,9 и 23,3 года для мужчин и женщин, а в 2019 году 17,6 и 26,4 года соответственно [3].

При этом современные тенденции цифровизации, автоматизации и механизации производственных процессов в сочетании с структурно-отраслевыми сдвигами изменили характер рабочих мест путем уменьшения доли тяжелой неквалифицированной работы и увеличения роли интеллектуального высококвалифицированного труда. Уменьшилось значение физического здоровья и увеличилась роль опыта, знаний и трудовых навыков. Это в свою очередь увеличило роль пожилых работников, имеющих, как правило, большой опыт работы.

Увеличение удельного веса пенсионеров идет на фоне повышения их образовательного уровня (в период с 2000 по 2013 год доля пенсионеров с начальным профессиональным и средним специальным образованием увеличилась в 1,3 раза, с высшим образованием в 1,6 раза). Также в среднем улучшалось состояние их здоровья (доля пенсионеров с оценкой своего здоровья как плохого и очень плохого за период с 1994 по 2012 годы уменьшилось с 40 до 30 %) [1].

И хотя уровень занятости после достижения пенсионного возраста заметно снижается по сравнению со средним возрастом (58 % для группы 55–59 лет и 18 % после 60 лет) [3], занятость людей пожилого возраста в последнее время демонстрирует тенденцию к росту. С 2000 по 2015 год доля работающих среди пенсионеров увеличилась с 15,9 до 30,1 % [4]. При этом занятость женщин увеличилась на большую величину: в период с 2000 по 2012 год занятость среди женщин в возрасте 55-59 лет увеличилась с

38,7 % до 52,9 %, а у мужчин возраста 60-72 года с 25,0 % до 27,7 % [5]. В период с 2002 по 2013 год наибольший прирост занятости среди людей пенсионного возраста наблюдался среди женщин 60–64 года (12,6 %) при увеличении мужского показателя в аналогичном возрасте на 8,6 % [1]. При росте экономической активности пенсионеров происходило уменьшение уровня их безработицы: в период с 2005 по 2017 год безработица снизилась с 4,6 до 3,9 % - ниже, чем среди молодежи и людей средней возрастной группы [2]. Увеличение экономической активности лиц пожилого возраста шло на фоне ухудшения среднего благосостояния пенсионеров (в период с 2010 по 2016 год соотношение средней начисленной пенсии к прожиточному минимуму сократилось с 180,6 % до 163 %) [5].

Однако занятость лиц пенсионного возраста имеет свою специфику. Во-первых, пик заработной платы наступает задолго до официального пенсионного возраста и к пожилому возрасту работники подходят уже с пониженным уровнем заработной платы. Среди пожилых работников наблюдается более сильная поляризация в уровне заработной платы [2]. При этом пожилые работники в целом согласны на меньший размер оплаты труда по сравнению с молодыми коллегами из-за наличия дополнительного источника дохода в виде пенсий. Также готовность на более низкую оплату труда в сочетании с стремлением иметь более низкую интенсивность работы приводит к распространению занятости на низкой квалификации среди людей пенсионного возраста. При этом среди пожилых работников есть определенный запрос на рабочие места с частичной занятостью и гибким регулированием рабочего времени. Также занятость лиц пожилого возраста в целом характеризуется более высокой долей неформальной занятости, что может говорить о затрудненном доступе на официальный рынок труда. Также для российских пенсионеров характерно большая распространенность частичной занятости, но при этом (вопреки тенденциям развитых стран) наблюдается слабый уровень самозанятости. Если в России уровень самозанятости колеблется на уровне 2–3 % для пенсионеров-мужчин и 2 % для пенсионерок-женщин, то в Канаде 40 % работающих пожилых людей и 32 % в Великобритании соответственно [1].

Структура занятости лиц пенсионного возраста также имеет свою специфику. Трудовая судьба людей после наступления пенсионного возраста зависит от сферы деятельности: в бюджетной сфере пенсионеры в целом сохраняют свои рабочие места и прежний уровень заработка, а в частной сфере они либо вынуждены уходить с работы, либо соглашаться на потерю квалификации и официального статуса занятости [1].

В целом занятость пожилых людей сосредоточена в таких сферах, как образование, здравоохранение, ЖКХ, ВПК и наука [1]. При этом наблюдается сокращение занятости в сельском хозяйстве и обрабатывающей промышленности и увеличение занятости в торговле, образовании и здравоохранении, но при этом сдвиг в сторону сферы услуг оказывается ниже [2].

При этом в изменении характера занятости наблюдаются гендерные особенности. У мужчин при наступлении пенсионного возраста занятость в ЖКХ увеличивается на 9 %, образования на 7,7 %, здравоохранение 4,6 %, ВПК 4,1 % и наука 3,7 %. У женщин структура занятости при наступлении пенсионного возраста меняется слабее, но даже у них наблюдается рост в здравоохранении на 8,5 %, образовании 5,1 %, ЖКХ 4,1 %, наука 3,9 % при падении в сфере торговли на 14,1 % [1].

В целом наблюдается определенная дискриминация пожилых работников на рынке труда, хотя многие опросы отмечают преимущество знаний и опыта над состоянием здоровья. В свою очередь занятость пожилых людей во многом носит вынужденный характер из-за низкого уровня жизни. Также занятость мужчин пенсионного возраста представляет более трудную проблему по сравнению с женщинами, потому что мужская занятость в большей степени сосредоточена в сферах

с преобладанием тяжелого физического труда, требующего хорошего состояния здоровья.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-исследовательского проекта «Трансформация качества жизни и характеристика занятости в условиях технологических и демографических вызовов», проект № 19-310-90050.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Колесникова О. А. Пожилые люди на рынке труда // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2019. – № 1 (28). – С. 165–168.
2. Лукьянова А. Л. Занятость населения старшего возраста. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://isp.hse.ru/data/2020/04/28/1544886314/03%20Lukyanova\\_Doklad%20KPAD\\_28-04-2020.pdf](https://isp.hse.ru/data/2020/04/28/1544886314/03%20Lukyanova_Doklad%20KPAD_28-04-2020.pdf) (дата обращения 15.10.2020)
4. Сони́на Ю. В. Колосни́цына М. Г. Пенсионеры на российском рынке труда: тенденции экономической активности людей пенсионного возраста // Демографическое обозрение. – 2015. – Т. 2. – № 2. – С. 37–53.
5. Федеральная служба государственной статистики. Рабочая сила, занятость и безработица в России (статистический сборник). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/2EfrJGVJ/Rab\\_sila\\_2020.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/2EfrJGVJ/Rab_sila_2020.pdf) (дата обращения 15.10.2020)
6. Щанина Е. В. Востребованность пожилых людей в трудовой сфере в современных социально-экономических условиях // Власть. – 2017. – Т. 25. – № 8. – С. 151–155.

#### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНОВ**

А.И. Полисадова

Национальный исследовательский Томский государственный университет

E-mail: [mozgaleva.alena@mail.ru](mailto:mozgaleva.alena@mail.ru)

#### **COMPARATIVE ANALYSIS OF REGIONAL INTELLECTUAL POTENTIAL INDICATORS**

A.I. Polisadova

Tomsk State University

***Annotation.** The article discusses the definition of the structure of the intellectual potential of the regions. Several independent groups of quantitative data are compared, namely, the indicators of the intellectual potential of regions for six years, using the Kruskal-Wallis test using a package of applied statistical programs.*

Формирование и развитие инновационного потенциала региона направлено на повышение конкурентоспособности территорий во всех социально-экономических областях. Можно выделить пять взаимосвязанных составляющих, определяющих интеллектуальный потенциал регионов: показатели образовательного потенциала, социального благополучия, научного потенциала, показатели информационно-коммуникационной составляющей и ресурсного капитала [1, 2].

В ходе исследования были выбраны статистические показатели для анализа интеллектуального потенциала регионов Сибирского федерального округа (таблица 1). На выбор показателей повлияло наличие данных за выбранный период (2010–2016 гг.) для проведения исследования. Данные были взяты с официального сайта Федеральной службы государственной статистики [3].

Экспериментальное исследование в области социологии предполагает количественный анализ большого объема данных. Выводы такого исследования



становятся обоснованными только тогда, когда они сделаны на основе результатов применения соответствующих методов математической статистики.

В данной работе рассматривается сравнение тринадцати независимых групп (регионов) количественных данных, которые не подчиняются закону нормального распределения, путем применения непараметрического дисперсионного анализа – критерия Краскела-Уоллиса [4].

Таблица 1 – Составляющие интеллектуального потенциала

Группа показателей	Показатель
Показатели образовательного потенциала	Доля занятого населения с высшим профессиональным образованием
	Доля расходов на образование
	Численность студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования
Показатели социального благополучия	Коэффициент Джини
	Уровень безработицы
Показатели научного потенциала	Число организаций, выполняющих научные исследования и разработки
	Доля внутренних затрат на научные исследования и разработки
Показатели информационно-коммуникационной составляющей	Число персональных компьютеров с выходом в Интернет в расчете на 100 работников
	Удельный вес компьютеров, имеющих выход в Интернет
Показатели ресурсного капитала	Инвестиции в основной капитал на душу населения
	Число используемых передовых производственных технологий
	Число созданных передовых производственных технологий
	Удельный вес инновационных товаров, услуг в общем объеме

Была вычислена сумма квадратов разностей средних рангов в группе и среднего ранга по всей выборке. В качестве зависимой переменной было выбрано значение показателя интеллектуального потенциала, а независимой – номер региона.

Анализируя суммы рангов, представленные в результирующем отчете, полученные значение уровня значимости для всех проведенных экспериментов меньше заданного (0.05), следовательно, между исследуемыми группами имеются значимые различия (рис. 1).

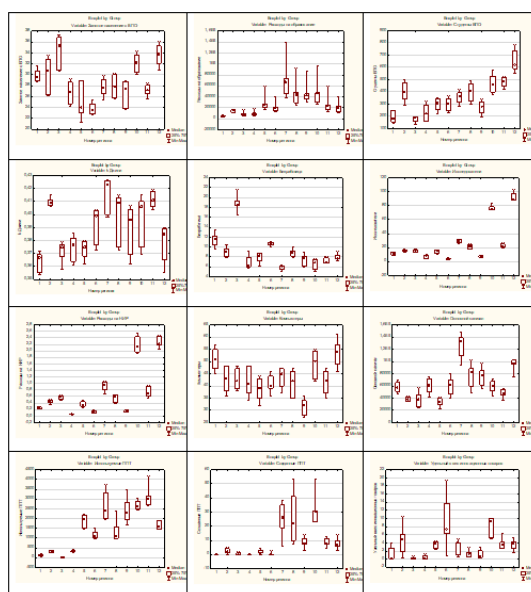


Рис. 1. Результаты расчета критерия Краскела-Уоллиса для переменных интеллектуального потенциала регионов СФО

Полученное значение уровня статистической значимости для критерия Краскела-Уоллиса позволяет отвергнуть нулевую гипотезу  $H_0$ . Можно сделать вывод, что уровень показателей интеллектуального потенциала для всех регионов отличается.

Для дальнейшего исследования будет необходимо провести апостериорные попарные сравнения групп с помощью критерия Манна-Уитни.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котенкова С.Н. Оценка интеллектуального потенциала регионов Приволжского федерального округа // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 6 (7). – С. 1447–1451.
2. Лосева О.В. Интеллектуальный потенциал региона: оценка и механизм управления в инновационной деятельности // *Управленческие науки*. – 2016. – № 6(2). – С. 38–47.
3. Регионы России. Социально-экономические показатели: статистический сборник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru> (дата обращения 10.09.2019).
4. Берестнева О.Г., Марухина О.В., Шевелев Г.Е. Прикладная математическая статистика: учебное пособие – Томск: ТПУ, 2012. – 188 с.

### ЦИФРОВАЯ ЦИКЛИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

Е.Г. Брындин

Исследовательский центр «ЕСТЕСТВОИНФОРМАТИКА»

E-mail: bryndin15@yandex.ru

### DIGITAL CYCLICAL ECOLOGICAL REGIONAL ECONOMY

E. G. Bryndin

Research Center "NATURAL INFORMATICS"

***Annotation.** The economy is sphere of public work and the set of relations that form in the system of production, distribution, exchange and consumption. The paper examines the digital, cyclical, environmental and regional aspects of a cyclical digital environmental regional economy. The digital direction of the economy uses digital twins and robots as assistants to improve its quality, productivity and efficiency. The cyclical economy uses savings and profits to boost its competition and development. The environmental direction of the economy maintains the viability of the environment. The regional economy increases diversification and capacity of local production and preserves the environment in its territory regardless of the type of economic activity.*

#### **Введение.**

В 1995-ом году американский информатик Николас Негропonte (Массачусетский университет) ввел в употребление термин «цифровая экономика». Цифровая экономика — это экономическая деятельность, основанная на цифровых технологиях. По результатам исследования 2017 года Норвегия, Швеция, Швейцария, Дания, Финляндия, Сингапур, Южная Корея, Великобритания, Гонконг, США входили в ТОП-10 стран с наиболее развитой цифровой экономикой. Сингапур, Великобритания, Новая Зеландия, ОАЭ, Эстония, Гонконг, Япония и Израиль характеризовались высоким уровнем и быстрыми темпами цифрового развития. В 2019 году размер цифровой экономики составляет, по оценкам, от 4,5 до 15,5% мирового ВВП. Почти 40% добавленной стоимости, создаваемой в мировом секторе информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), приходилась на Соединенные Штаты и Китай. Стремительно распространяющиеся цифровые технологии преобразуют многие виды экономической и социальной деятельности. Они помогают развиваться циклической экономике.

Впервые о циклической экономике заговорили в 1970 году. Авторство подхода и названия приписывают экономистам Джону Лайлю и Вальтеру Штайнеру. Развитие мысли о необходимости перехода на новую экономическую парадигму получила в материалах шведской некоммерческой организации The Natural Step, пропагандирующей идеи устойчивого развития и и Европейской комиссией. Согласно циклическим принципам, предлагается сразу создавать круговорот материалов и энергии всех видов производств и потребления. Когда производитель решает выпустить товар, он заранее продумывает цикл его экологического существования в экономической системе. У циклической экономики сегодня две основных движущих силы – крупные компании и правительства. Деятельность больших транснациональных корпораций охватывает всю производственную цепочку от поставки материалов до реализации товара, им проще и выгоднее внедрять циклические проекты. Продвижению циклической экономики способствуют и государственные институты. Они создают благоприятную налоговую, законодательную и институциональную среды для развития новых моделей работы бизнеса, для поддержки начинаний в циклическом производстве и управлении. Закон о содействии экономике замкнутого цикла был принят в Китае, свой план развития циклической экономики выпустила Шотландия. Европейская комиссия выпустила документы, которые должны повысить плановые показатели переработки отходов и запретить выбрасывать на свалки материалы, которые можно снова пустить в производство.

Выход регионов на международную арену в качестве непосредственных действующих лиц представляет собой важнейшую тенденцию XXI в. не только для развитых стран, но и для России. Регион становится едва ли не ключевым понятием новой реальности. Для России характерно устойчивое повышение интереса к региональной проблематике. В нашей стране тема регионального развития превратилась в одну из приоритетных тем экономического развития.

### **1. Цифровой сектор экономики.**

Цифровая экономика сама по себе, без реального и сырьевого секторов, без производства, которое превращает сырье в продукты, без сельского хозяйства и без транспорта, доставляющего сырье на завод, продукцию на склад и товары со склада в магазин или к вам на дом — существовать не может. То есть цифровая экономика — это не целостная экономика, а ее сектор, состоящий из цифровых технологий и услуг (в том числе услуг по выбору и заказу реальных товаров). Поэтому правильнее говорить не «цифровая экономика», а цифровой сектор экономики. Цифровой сектор экономики обслуживает промышленный, финансовый и другие сектора экономики.

Цифровая экономика предоставляет гораздо быстрее, качественнее и удобнее информационный, образовательный, научный, медицинский перечень услуг. Цифровая экономика многих стран мира находится в стадии бурного развития. Появились роботы консультанты, юристы. В Японии в больницах трудятся роботы. Они носят покрытыми мягким материалом руками пациента с места на место. Фирма Kiva Systems производит роботы-транспортровщики. Они получают от оператора команду доставить нужный товар на складе, находят его и подвозят упаковщику.

Современные информационно-компьютерные технологии устанавливают связи между компаниями, банками, правительством и населением, убирая длинные цепочки посредников и ускоряя проведение разнообразных сделок и операций (купли-продажи, кредита, аренды, уплаты налогов, штрафов, взносов, других платежей и расчётов).

The Boston Consulting Group прогнозирует, что объем цифровой экономики к 2035 году может достичь 16 трлн долларов США.

По прогнозам консалтинговой компании Accenture, использование цифровых технологий должно добавить в 2020 году 1,36 трлн долларов США, или 2,3% ВВП в общем объеме ВВП десятки ведущих мировых экономик. ВВП развитых стран подрастет за счет «цифровой экономики» на 1,8%, а ВВП развивающихся стран – на 3,4%.

Цифровая модель экономики обеспечит «цифровые дивиденды» обществу в виде более высокой производительности труда, повышения конкурентоспособности компаний, снижения издержек производства, ослабления кризисов за счёт ускоренной реализации товаров и услуг, роста высокотехнологической занятости населения, более полного удовлетворения потребностей человека и даже ослабления или полного преодоления социальной поляризации общества.

Развитие цифровой экономики основывается на массовом и качественном сборе и анализе данных и формализации для оцифровки. Тот, кто предлагает принципиально новые — «цифровые» — способы удовлетворения новых и старых потребностей, просто вынужден создавать и осваивать новые принципы общения с клиентами и работы на рынках. Он должен визуализировать потребности и продукты, включать в цифровую экономику потребителей, оказывать постоянную и удобную им поддержку. Ему нужна цифровая система управления взаимодействием, которая позволяет на практике прогнозировать, планировать, организовывать, исполнять, контролировать и координировать всю деятельность по активному использованию данных в деле удовлетворения необходимых потребностей человечества.

Цифровая платформа – это новая, лишь для цифровой экономики характерная бизнес-модель, суть которой заключается в предоставлении бизнесам и населению специфической услуги по координации деятельности различных участников рынка. Платформа предоставляет участникам ряд удобств, автоматически формирует рейтинги доверия между ними, а главное – позволяет продавцам и покупателям товара/услуги быстро найти друг друга, быстро заключить сделку и произвести расчеты. Функционирование платформ ускоряет и удешевляет процессы продажи товаров, устраняет из них лишние посреднические звенья, резко повышает эффективность рынков и производительность труда. При этом многие платформы могут обслуживать участников сделок без каких-либо географических ограничений, практически по всей планете. Платформенная концепция разрабатывалась и реализовывалась преимущественно в сегменте торговли и логистики. Примерами цифровых платформ являются Uber, Airbnb, Amazon, Alibaba и другие. Сегодня различные цифровые платформы объединяются во взаимосвязанные, основанные на обмене данными «экосистемы», охватывающих огромное количество разных рынков и умных предприятий.

Все звенья умных предприятий предельно автоматизированы цифровыми двойниками с искусственным интеллектом и роботизированы. Производственные процессы и линии умных предприятий способны быстро обновляться и перестраиваться. На всех этапах жизненного цикла изделия функциональные звенья умных предприятий работают как единое взаимосвязанное целое, регулируемое потоками обратных связей в режиме онлайн. Объектом управления становится весь жизненный цикл изделия (PLM - управление), включая интеграцию с логистикой, сервисными центрами и получение обратной связи.

Сегодня цифровая экономика с искусственным интеллектом названа одним из приоритетных направлений стратегии научно-технологического развития России. Подготовка кадров в высокотехнологической области, развитие высокотехнологической промышленности и интеллектуальная последовательная цифровизация российской региональной экономики станет платформой для качественного изменения ее структуры и долгосрочных возможностей [1–5].

## **2. Циклические аспекты экономики.**

Циклические аспекты экономики в основном касаются финансового кругооборота, и замкнутого производственного цикла. Задача циклической экономики — как можно более широко использовать возобновляемые ресурсы и в идеале переход на безотходное производство. Многократное использование одного и того же материала как сырья поможет минимизировать экономический ущерб окружающей среде, уверены аналитики

Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) — «клуба» 36 наиболее развитых стран мира. В своем исследовании «Бизнес-модели циклической экономики» они рассмотрели основные вызовы и возможности циклической экономики и то, как правительства могут поспособствовать ее внедрению.

Экономика замкнутого цикла, которую также называют циклической или циркулярной, базируется на принципе повторного использования ресурсов — производитель еще на этапе проектирования товара должен понимать, каким образом он будет переработан. Продукт, который создан в рамках циклической экономики, при этом должен служить долго, а потребитель должен иметь возможность не приобретать, а брать в аренду.

Циклические бизнес - модели меняют направление движения продуктов и материалов по всей экономике, чем помогают сократить отрицательное воздействие добычи, использования и утилизации этих материалов для природы. Речь идет не только о совершенствовании конкретного производственного цикла или фабрики, но в целом об изменении процесса производства и потребления. Например, не просто обращаться с природными ресурсами более эффективно, а не использовать их вовсе. Можно выделить пять основных направлений подобных бизнес - моделей.

1. Модель циклической поставки — замена традиционных (первичных) источников сырья возобновляемыми или биологическими материалами, вторсырьем.

2. Модель вторичного использования — переработка отходов во вторсырье с последующим использованием.

3. Модель продления срока службы — замедляет оборот продукции в экономике, сокращая тем самым темпы образования новых отходов.

4. Модель шеринга — совместное использование одного продукта разными потребителями, что снижает спрос на новые продукты.

5. Сервисные модели — выстроены вокруг предоставления услуг, нежели продажи продуктов, стимулируя разработку экологически чистых продуктов и ответственного потребления.

Многие компании сочетают ту или иную бизнес-модель. Например, предприятие может производить определенную продукцию, заниматься его переработкой и одновременно предоставлять некие услуги в рамках «зеленой» экономики. Также бизнес - модели не существуют в изоляции — если одна компания выбирает для себя определенное направление, ее партнеры могут избрать связанную бизнес-модель. Замыкая ресурсную цепочку и замедляя движение продукции внутри экономики, циклические бизнес-модели сокращают негативный эффект хозяйственной деятельности на экологию. Например, использование в производстве вторсырья, способно сократить выбросы парниковых газов вплоть до 90%, в зависимости от отрасли. Восстановление полностью использованной продукции снизит объемы создания отходов до 80%.

Использование некоторых моделей растет опережающими рынок темпами и связано это во многом с развитием технологий. Чтобы расширить рыночную долю зарекомендовавших себя циклических моделей, потребуются комплексные решения на уровне правительства. В конечном итоге переход к заметно более ресурсосберегающей экономике, при которой ущерб окружающей среде, связанный с производством и потреблением, заметно ниже нынешнего, потребует глубокого проникновения в жизнь указанных циклических бизнес - моделей. Правительственная политика может играть важную роль в преодолении препятствий, мешающих конкурентоспособности этих моделей. Например, обеспечить полное отражение издержек производства и потребления продукта для экологии.

Циклическая экономика предполагает устойчивую систему финансовых циклических кругооборотов от инвестиций к накоплению, основанную на числовых показателях. С социально-экономической точки зрения это означает достижение цели основывается на параметрах, которые требуют динамической количественной оценки: цена, тариф,

рентабельность, расходы, обязательства, активы, доходность, убытки, дивиденд, рента, фондовый индекс, балансовая стоимость, заработная плата, издержки, и другие. Динамическая количественная оценка социально-экономических параметров позволит обеспечить необходимую меру, число и вес, а также устойчивость системы финансовых циклических кругооборотов от реинвестирования к накоплению.

Накопления для реинвестирования (НР) – это прибыль, оставшаяся в распоряжении предприятия (нераспределенная прибыль, а также фонды и резервы, созданные за счет прибыли):

$$НР = ЧП - Д,$$

где  $ЧП$  – чистая прибыль,  $Д$  – дивиденды.

Формула вычисления коэффициента реинвестирования денежных средств:

$$КР = (УОС + УОК) / (ЧП + БР - БП - Д) * 100\%,$$

где  $КР$  – коэффициент реинвестирования денежных средств, %;  $УОС$  – увеличение основных средств;  $УОК$  – увеличение оборотного капитала;  $ЧП$  – чистая прибыль;  $БР$  – безналичные расходы;  $БП$  – безналичные продажи;  $Д$  – дивиденды.

Коэффициент реинвестирования денежных потоков показывает возможность движения денежных средств покрытия потребностей в обновлении основного и оборотного капитала, используемого в текущей деятельности компании [6,7]. Коэффициент реинвестирования денежных средств полезен тогда, когда требуется определить объем денежных потоков, которые компания регулярно вкладывает в экологическое обновление производства.

В циклической экономике решение о размерах и темпах накопления принимаются и реализуются на уровне предприятий, чтобы способствовать реинвестированию накоплений на предприятиях. Повышение накопления обусловлено техническими предпосылками - возможностью освоения мировых достижений научно-технического прогресса, уровнем развития и структурой национальной экономики.

Финансовый кругооборот циклической экономики путем реинвестирования ее накоплений позволяет проводить экологическую модернизацию, диверсификацию и развитие различных производств.

### **3. Экологическая модернизация производств и потребления.**

В быстро меняющемся мире экологические характеристики производства становятся одним из главных условий успешности предприятия. Сегодня развитие предприятий невозможно без экологической модернизации производства, переходом на лучшие доступные технологии. Это мировая тенденция. Накопленные мусорные свалки должны стать источником ресурсов и энергии для промышленной индустрии. Особое внимание нужно уделить созданию экологических технологий переработки мусора и отходов. Потребление не должно быть связано с растущим производством отходов, оказывающихся на полигонах или в печах мусоросжигательных заводов. 80% товаров оказываются на свалке первые полгода своего существования. Переход на экологические технологии переработки мусора и отходов, на экологические производства и циклическую экономику с реинвестированием накоплений должно стать главной задачей всех государств. Эти мероприятия позволят сохранить экологию окружающей среды, обеспечить чистоту воздуха, воды и пищи и избавиться от отходов и мусора [7].

Циклические бизнес – модели меняют направление движения продуктов и материалов по всей экономике, чем помогают сократить отрицательное воздействие добычи, использования и утилизации этих материалов для природы [8]. Речь идет не только о совершенствовании конкретного производственного цикла или фабрики, но в целом об изменении процесса производства и потребления. Например, не просто обращаться с природными ресурсами более эффективно, а не использовать их вовсе. Использование в производстве вторсырья способно сократить выбросы парниковых газов вплоть до 90%, в зависимости от отрасли. Восстановление полностью использованной продукции снизит объемы создания отходов до 80%. Циклическая экономика с реинвестированием

накоплений в экологическую модернизацию различных производств является драйвером чистых городов и агломераций и здоровья населения. Экологическая модернизация производств осуществляется по замкнутым технологическим циклам.

### 3.1 Замкнутые технологические циклы.

Замкнутый технологический цикл представляет собой производственный процесс, в результате которого не образуется отходов производства. Такое возможно, если отходы одного производственного процесса одновременно являются сырьем для другого, а все количество исходного сырья будет переработано в конечную продукцию (рис. 1).



Рис. 1. Общая схема безотходного технологического цикла

В настоящее время не существует на 100% замкнутых технологических циклов, так как не все отходы удается использовать для производства побочной продукции. На современном этапе можно говорить лишь о малоотходных производствах, на которых степень замкнутости технологического цикла приближается к 100%. Чаще всего замкнутый цикл производства удается обеспечить в сельском хозяйстве. Это связано с возможностью приблизить производственный процесс в этой отрасли к процессам функционирования естественных экосистем. Образующаяся в секторе растениеводства биомасса частично используется в секторе животноводства, а органические отходы животноводства, например навоз, служат удобрениями для выращивания сельскохозяйственных культур.

В современных малоотходных производствах удается замыкать лишь отдельные технологические стадии, например водоснабжение. Такие системы называются оборотными системами, например системами оборотного водоснабжения. Примером реализации таких технологий являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, на которых образуется большое количество производственных сточных вод, загрязненных опаснейшими химическими соединениями. В настоящее время на большинстве таких предприятий внедрены системы очистки производственных стоков, позволяющие довести качество сточных вод до уровня, при котором их можно повторно использовать в процессе промывки целлюлозной массы. Таким образом, производственные стоки целлюлозно-бумажного комбината более не попадают в окружающую среду, а вода из природных водоемов лишь забирается для восполнения потерь на выпаривание.

Малоотходные технологии активно внедряются и на предприятиях химической промышленности и металлургии. Там это связано с возникновением большого количества побочных продуктов основного химического процесса. На заводах, занимающихся рафинированием руд, образующийся в технологическом процессе сернистый газ вступает в контакт с поглощающими жидкостями различного химического состава, что позволяет получать минеральные удобрения, например суперфосфат и сульфат аммония, а также строительные материалы. Если в качестве поглощающей жидкости брать воду, то в итоге можно получить серную кислоту, широко применяемую в качестве сырья для многих технологических процессов. Аналогичные схемы направления отходов в качестве сырья в другие технологические процессы используют при удалении из отходящих газов соединений азота. При этом получают азотную кислоту и ценные азотные удобрения.

Процесс возврата отходов производства и потребления в производственный процесс называют рециклингом. Как правило, отходы производства не могут быть возвращены в тот же самый производственный процесс, в котором они образовались, иначе эти материалы не попали бы в отходы изначально. Примером возврата отходов производства в тот же производственный цикл может быть металлургические производства или производство стекла и бумаги, в которых конечный продукт, по каким-либо причинам утративший свои потребительские свойства, например бой стекла, бумажные обрезки или некондиционные металлические заготовки, может быть повторно переработан (переплавлен) в основном технологическом процессе. В большинстве же случаев отходы производства могут являться сырьем для производства продукции принципиально другой товарной группы по сравнению с продукцией, в процессе изготовления которой был получен рассматриваемый отход. Например, оксиды серы и азота из металлургического производства могут быть использованы при производстве соответствующих кислот и некоторых групп минеральных удобрений, но никак не в металлургическом производстве.

Отходы, полученные в процессе потребления продукции, чаще подвергаются рециклингу. Например, полиэтиленовая пленка, утратившая свои потребительские свойства, может быть использована повторно в качестве сырья для производства полиэтилена. Пустые стеклянные бутылки могут быть возвращены в стекольное производство. То же самое можно сказать про лом черных и цветных металлов, а также про бумажные отходы, рециклинг которых широко распространен. Рециклинг является действенным инструментом сокращения количеств отходов и снижения потребления ресурсов. Благодаря рециклингу в производственный цикл можно вернуть большие количества ценных материалов, тем самым сократив уровень добычи сырья и снизив темпы истощения природно-ресурсного потенциала.

Безотходным называется производство, при котором все сырье и даже отходы все равно превращаются в готовую продукцию. В том числе концепция такого процесса предусматривает переработку любой продукции, даже после ее морального или физического износа. Это замкнутый цикл, который можно сравнить только с природными экологическими системами, в основе которых выступают биогеохимические круговороты веществ. Создание безотходного производства представляет постепенный и длительный процесс, для которого требуется решение ряда экономических, технологических, психологических, организационных и других задач. Используются такие принципы безотходного производства:

- цикличность материальных потоков – замкнутый производственный процесс, который определенным образом сможет повторить природные круговороты;
- рациональная организация – это когда невосполнимые потери ресурсов можно свести к минимуму за счет переработки отходов;
- принцип экологической безопасности.

Безотходная и малоотходная технология обеспечивают полную переработку сырья при использовании компонентов на основе производства новых безотходных процессов; выпуск и изготовление новых разновидностей продукции с учетом запроса вторичной переработки; использование отходов и их потребление с итоговым получением товарной продукции, либо любого полезного их использования без смещения экологического равновесия; применение замкнутых систем водоснабжения в промышленности; изготовление безотходных комплексов.

Безотходное производство в России славится переработкой древесины, на сегодняшний день ее уровень составляет более чем 80%. Практически все отходы перерабатываются в полезные продукты, а именно – топливные брикеты и гранулы. Щепки и опилки прекрасно подойдут для отопления, так как такое сырье считается достаточно дешевым и имеет хорошую теплоотдачу. Безотходное производство древесины называют самым качественным и замкнутым процессом, так как отходы от



него минимизированы, и можно сказать, практически отсутствуют. Помимо традиционных пиломатериалов также можно производить высококачественные мебельные щиты и мебель.

В сельском хозяйстве безотходным производством может послужить продуманная переработка навоза. Исходный материал используется для удобрения кормовых культур, которые затем и скармливаются имеющемуся поголовью.

Экология окружающей среды особенно требует перерабатывать мусор и отходы в энергию и восполняемые ресурсы. Пищевые отходы нужно отдельно собирать и перерабатывать компостированием в минеральные удобрения, чтобы не множить инфекционные болезни и эпидемии через свалки, животных и птиц.

#### **4. Особенности региональной экономики России.**

Особенности регионального развития России обусловлены созданием нового геополитического пространства и принципиально новой модели экономического развития.

Фундаментальной основой экономического развития регионов является концентрация экономической деятельности на территориях. Развитие определяется такими факторами, как наличие природных ресурсов, географическое положение, эффект агломерации, активы человеческого капитала, институциональная среда.

В существующей пространственной конфигурации региональная экономика характеризуется разрывом в темпах экономического роста между различными субъектами РФ. В этой связи жизненно важными стали проблемы совершенствования механизмов регионального управления и разработки принципиально новых инструментов реализации региональной политики. Поиск оптимальных вариантов регионального развития является важной задачей, которая решается в зависимости от конкретных условий развития. Анализ основных тенденций регионального развития позволил определить основные механизмы территориально-пространственного развития.

Важным аспектом регионального развития является подход к совершенствованию системы расселения и приоритеты размещения производительных сил. Использование региональных форм развития, обеспечивающих комплексный характер развития территорий, включает такие механизмы, как специальные экономические зоны, территории опережающего развития, зоны регионального развития, территориальные кластеры, городские агломерации. Рационально оптимизировать и обосновать перспективные подходы к административному территориальному делению, а также разрабатывать территориально обоснованные госпрограммы с учетом создания территорий опережающего развития и приоритетов для развивающихся регионов, имеющих особое стратегическое значение.

На региональном уровне подготовка госпрограмм по развитию экономики и социальной сферы должна осуществляться с учетом обоснованных предложений местных органов власти, касающихся выделения местной производственной, социальной, транспортной, таможенной инфраструктуры и логистики. Это должно основываться на экономических приоритетах и конкурентных преимуществах, которые имеются в муниципальных образованиях.

Особое значение в системе стратегического регионального развития имеют стратегии социально-экономического развития федеральных округов. Они призваны координировать линии развития федеральной, региональной и муниципальной инфраструктуры с учетом территориального распределения ресурсной базы, рационального межрегионального разделения труда и межрегиональной экономической интеграции [9,10].

Система стратегического планирования социально-экономического развития субъектов РФ, муниципальных образований должна иметь предсказуемую, благоприятную среду для планирования и реализации инвестиционных проектов и

бизнес - программ. Экономический характер мер должен проявиться в создании наиболее благоприятных условий для развития бизнеса на соответствующих территориях в части их экономической специализации и социальной модернизации. При этом возрастает важность согласования стратегий социально-экономического развития для всех федеральных округов и координации деятельности региональных органов по реализации мероприятий по поддержке международной экономической деятельности, созданию благоприятного инвестиционного климата и привлечению иностранных инвестиций.

На региональном уровне нужна консолидация ресурсов и механизмов развития посредством диверсификации структуры экономики и занятости в регионах и городах. Важно также создание и развитие импортозамещающих и ориентированных на экспорт высокотехнологичных отраслей. Еще создание функционально сбалансированных систем поддержки экспорта и привлечения инвестиций с точки зрения региональной специфики.

Региональная политика должна также включать меры по стимулированию внутренней миграции населения для закрепления необходимых постоянных трудовых ресурсов в развивающихся территориях за счет активизации промышленной деятельности и создания качественной социальной инфраструктуры.

Актуальное значение приобретает подготовка и переподготовка кадров для удовлетворения потребностей региональных экономик в трудовых ресурсах в территориальном и профессионально-квалификационном контексте с учетом перспективных долгосрочных инвестиционных планов крупных компаний и организации сотрудничества с учебными заведениями.

Приоритетным направлением регионального развития является разработка комплекса мер и инструментов, обеспечивающих мотивацию для мобилизации внутренних ресурсов и наращивания собственного экономического потенциала территорий. Наличие четких приоритетов регионального развития позитивно отражается на эффективности реализации вводимых мер и инструментов.

Многоуровневое управление с участием национальных, региональных и местных органов власти, а также заинтересованных сторон, как эксперты и исследовательские организации, имеет также значение для эффективного регионального экономического развития.

Региональные программы экономического развития должны быть ориентированы на создание механизмов поддержки конкурентных преимуществ в отношении вклада региона в динамику его развития. Необходимо установить показатели и стандарты в мониторинге и оценке результатов программ, направленных на региональное развитие. Тогда региональное развитие действительно будет направлено на повышение эффективности с учетом особенностей регионов.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Bryndin E. Cognitive Robots with Imitative Thinking for Digital Libraries, Banks, Universities and Smart Factories // *International Journal of Management and Fuzzy Systems*. – 2017. – vol. 3.– no.5. – P. 57– 66.
2. Брындин Е.Г. Развитие цифрового сектора экономики // *Модели государственного и корпоративного управления: традиции и перспективы: сборник VII Международной научно-практической конференции*. – Москва, 2018. – С. 362–369.
3. Брындин Е.Г. Автоматизация и искусственный интеллект улучшают и ускоряют уборку территорий // *Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность: материалы международного симпозиума*. – Кемерово, 2020. – С. 103–105.
4. Сергеев А. С., Макаров А. М., Поступаева С. Г., Тихонова Ж. С. *Промышленные роботы и роботизированные технологические комплексы*. – Волгоград: ВолгГТУ, 2018. – 126 с.

5. Bryndin E. Increased sensitivity and safety of cognitive robot by development of professional and behavioral skills // Saudi Journal of Engineering and Technology. – 2020. – vol. 5. –no. 5. – P. 187–196.
6. Bryndin E. Financial turnover of cyclical economy by reinvesting in ecological production of its savings // J. Resources and Environmental Economics. – 2020. – vol. 2. –no. 1. – P. 96–101.
7. Bryndin E. Cyclical ecological economy with reinvesting of its savings // Integrative Journal of Conference Proceedings. – 2020. – vol. 2. –no. 2. P. 1–5.
8. Bryndin E. Development of living floor spaces on the basis of ecological economic and social programs // J. Resources and Environmental Economics. – 2018. – vol. 1.– no. 1. –P. 1–8.
9. Bryndin E. Mobile innovative transformational ecosystem of management of humane technological society // Integrative Journal of Conference Proceedings. – 2019. – vol. 1. –no. 3. – P. 1– 6.
10. Рубцов Г.Г., Литвиненко А.Н. Роль межрегионального сотрудничества в системе современной региональной экономики РФ // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2019. – Т. 12. –№ 1. – С. 97–110.

**АППРОКСИМИРУЮЩАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ДЕСУБЛИМАЦИИ  
ГЕКСАФТОРИДА УРАНА ОТ ВРЕМЕНИ, ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЕМКОСТИ И  
ЕЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

М.В. Верлинский<sup>1</sup>, А.А. Орлов<sup>1</sup>, Р.В. Малюгин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

<sup>2</sup>Тюменское отделение СургутНИПИнефть ПАО Сургутнефтегаз

E-mail: orlova@tpu.ru

**OBTAINING THE APPROXIMATING DEPENDENCE OF THE DESUBLIMATION  
RATE OF URANIUM HEXAFLUORIDE ON TIME, THE THICKNESS OF THE  
TANK WALL AND ITS THERMAL PROPERTIES**

M.V. Verlinskii<sup>1</sup>, A.A. Orlov<sup>1</sup>, R.V. Malyugin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University

<sup>2</sup>Tyumen Branch of SurgutNIPIneft PJSC Surgutneftegaz

***Annotation.** This article presents the results of numerical simulation of the desublimation process of uranium hexafluoride in a vertical tank with smooth inner walls, determination of the effect of the wall thickness and its thermophysical parameters on the desublimation rate.*

Проводимая модернизация разделительного оборудования сопровождается увеличением разделительных мощностей предприятий и нагрузки на цеха конденсационно-испарительных установок, в которых происходит десублимация UF<sub>6</sub>. В связи с этим приобрели актуальность работы, направленные на исследование и интенсификацию процесса десублимации UF<sub>6</sub>, проектирование коллекторов десублимации UF<sub>6</sub> повышенной производительности и совершенствование конструкции емкостей.

Наиболее перспективным способом решения подобного рода задач является использование математического моделирования нестационарных процессов тепло- и массообмена, протекающих при десублимации UF<sub>6</sub>, поскольку экспериментальный подход дорог и занимает много времени.

Целью данной работы является исследование влияния толщины стенки емкости и ее теплофизических параметров на динамику изменения массы десублимированного UF<sub>6</sub> в емкости, а также получение аппроксимирующих зависимостей скорости десублимации UF<sub>6</sub> от указанных величин.

Для расчета динамики заполнения десублимированным UF<sub>6</sub> вертикальной погружной емкости без оребрения объемом 1 м<sup>3</sup> использовалась математическая модель [1].

Для получения аппроксимирующих зависимостей скорости десублимации газообразного UF<sub>6</sub> от времени, толщины стенки емкости и ее коэффициента температуропроводности использовался метод наименьших квадратов, широко применяемый как в статистике, так и для установления коэффициентов аппроксимирующих функций [2].

Скорость десублимации – это количество десублимата, образующегося за единицу времени:

$$v = \frac{dM}{dt}$$

В результате была получена аппроксимирующая зависимость скорости десублимации от времени, толщины стенки емкости, ее коэффициента температуропроводности:

$$v(h, a, t) = (138 \cdot t^{-0,60717} + 5,66 \cdot a^{-0,0046} - 1,28473 \cdot h + 1,84) \cdot 10^{-6}$$

где  $v$  – скорость десублимации [кг/с],  $h$  – толщина стенки емкости [м],  $a$  – коэффициент температуропроводности [м<sup>2</sup>/с],  $t$  – время [с].

В результате проведенных исследований установлено, что влияние толщины стенки емкости и ее теплофизических свойств сказывается только на начальном этапе заполнения емкости, после чего основным фактором, влияющим на скорость десублимации UF<sub>6</sub>, является толщина слоя десублимата и его термическое сопротивление.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orlov A.A., Tsimbalyuk A.F., Malyugin R.V., Glazunov A.A., Dynamics of UF<sub>6</sub> desublimation with the influence of tank geometry for various coolant temperatures // MATEC Web of Conferences. – 2016. – vol. 72.– Article number 01079.
2. Крицкий О.Л., Михальчук А.А., Трифонов А.Ю., Шинкеев М.Л. Теория вероятности и математическая статистика – Томск: ТПУ, 2010. – 212с.

#### ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА НИТРИДОВ ХРОМА

О. В. Семченко, Л. О. Роот

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: lgsemchenkoo@gmail.com

#### PRODUCTION AND PROPERTIES OF CHROMIUM NITRIDES

O. V. Semchenko, L. O. Root

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* The preparation of refractory nitrides in the air under the conditions of thermal explosions of aluminium nanopowder mixtures with metal oxides presents practical interest both for materials science and for the theory of the reactivity of air at high temperatures. This synthesis is the least energy-intensive, and it does not require complicated equipment. Only the heating of the initial charge is necessary for synthesis, then the process proceeds spontaneously. The main aim of the research is to determine experimentally compositions of combustion products of aluminum nanopowder mixtures with chromium (III) oxide from 5:1 to 5:5 in the air, to substantiate theoretically the stabilization of chromium nitrides in the air. Method: x-ray analysis (diffractometer Difrey-401).

Среди всех нитридов металлов нитриды хрома являются наиболее стойкими к окислению, обладают полупроводниковыми свойствами, покрытия из них обладают повышенной износостойкостью, и эти свойства нашли применение в производстве износостойких режущих инструментов и изготовлении электродов солионов – электрохимических приборов, предназначенных для измерений весьма малых

акустических давлений, преобразовывая энергии последних в электрическую [5]. Данные свойства позволяют производить контроллеры, интегральные микросхемы [1]. Покрытия на основе нитрида хрома также широко используются в качестве защитных и декоративных в таких областях, как автомобилестроение, аэрокосмическая индустрия, водородной энергетике [1, 2, 4]. Также для нитридов хрома характерен один из самых низких коэффициентов отражения в видимой области длин волн, что обуславливает их применение в оптическом приборостроении [1]. Нитриды хрома – перспективные катализаторы [5]. В системе хром-азот известны два нитрида хрома.  $\text{Cr}_2\text{N}$ , светло-серого цвета, характеризуется распределением атомов азота в гексагональной плотнейшей упаковке решётки из атомов хрома. Характер связи ковалентно-металлический.  $\text{CrN}$  чёрного цвета, имеет простую кубическую решётку типа  $\text{NaCl}$ . Характер связи ионно-ковалентный [2, 5]. Нитриды хрома – парамагнетики с большей восприимчивостью, чем у чистого хрома. При этом парамагнетизм  $\text{Cr}_2\text{N}$  меньше, чем  $\text{CrN}$ . Это обусловлено склонностью атомов хрома первого соединения к образованию стабильного  $4s^23d^{10}$ -состояния и снижению количества неспаренных  $d$ -электронов (антиферромагнетизм); атомы хрома в  $\text{CrN}$  стабилизируются в  $4s^23d^5$  состоянии, где все  $d$ -электроны неспарены. Нитрид хрома  $\text{CrN}$  является перспективным полупроводником с шириной запрещённой зоны 0,24 эВ, с высоким электросопротивлением и термо-э.д.с. -  $92 \pm 6$  мкВ/град, что имеет значение, в частности, для использования его в термоэлектрических генераторах. Нитриды VI группы, с точки зрения термодинамики, довольно неустойчивы. Мононитрид  $\text{CrN}$  более устойчив, чем  $\text{Cr}_2\text{N}$ . В процессе разложения мононитрида выделяется газообразный азот и образуется твёрдый раствор азота в металле,  $\text{Cr}_2\text{N}$  - газообразный азот и пары металла. Чёрные кубические кристаллы  $\text{CrN}$  разлагаются на элементы при нагревании до  $1500^\circ\text{C}$  без доступа воздуха, превращаются в  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с выделением азота при нагревании в воздухе. При нагревании в хлоре образуются  $\text{CrCl}_3$  и азот. Подвергаются действию сухого  $\text{HCl}$  [2,5]. На сегодняшний день существует несколько способов получения нитридов хрома. Нитрид  $\text{CrN}$  получают азотированием порошка хрома аммиаком или азотом при температуре  $600-900^\circ\text{C}$ , возгонкой амальгамы хрома в атмосфере азота, нагреванием бромида хрома с аммиаком, действием нитрида лития, магния или аммиака в присутствии  $\text{NH}_4\text{Cl}$  на  $\text{CrCl}_3$  [3, 5]. При азотировании порошка хрома температура  $900-950^\circ\text{C}$  оптимальна для получения  $\text{CrN}$ , для получения однофазного  $\text{Cr}_2\text{N}$  необходимо 2-4 часа выдержки при  $1200-1300^\circ\text{C}$  с последующим резким охлаждением полученного продукта вместе с реактором, т. к. при медленном охлаждении усиливается поглощение азота, что приводит к образованию смеси нитридов. Для получения плёнок нитридов хрома пропускают аммиак над хромом, обезгаженным в вакууме. Плёнка  $\text{CrN}$  образуется при  $950-1000^\circ\text{C}$ , а плёнка  $\text{Cr}_2\text{N}$  – только при самых высоких температурах  $1300-1400^\circ\text{C}$  и выше, в промежутке – смесь нитридов. Также основным методом получения плёночных покрытий многие годы было электроосаждение, но постоянно усиливающиеся требования экологов вынуждают исследователей и производителей искать альтернативные способы хромирования, например, осаждение из пара путём распыления плазмы, генерируемой в среде аргон+азот или чистого азота [2]. Широкое распространение получил метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) – азотирование в атмосфере азота порошка хрома насыпной плотности в газонепроницаемой металлической оболочке при температуре от  $800^\circ\text{C}$  и выше [1]. Все эти способы энергозатратны, требуют герметичное оборудование и очень чистых исходных веществ. Данная работа направлена на разработку способа получения нитридов хрома методом теплового взрыва. Особенностью способа является реализация процесса в атмосфере воздуха при нормальных условиях и простейшее аппаратное оформление. Микронный порошок оксида хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и нанопорошок  $\text{Al}$  (НП  $\text{Al}$ ) смешивались в четырёх вариантах массовых соотношений 1:5, 2:5, 3:5, 5:5 и поджигались при помощи лазерной указки. Температура начала воспламенения НП  $\text{Al}$   $400-415^\circ\text{C}$  [4]. С увеличением доли

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  в смеси время воздействия излучения лазерной указки увеличивалось. Процесс горения смесей протекал в две стадии: выгорание сорбированного водорода и высокотемпературное горение непосредственно алюминия [4]. Образованные в результате горения спёки были измельчены, гомогенизированы и отправлены на рентгенофазовый анализ (РФА) (дифрактометр Дифрей-401). В продуктах реакции отсутствуют нитриды хрома, присутствует субоксид хрома  $\text{CrO}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браверман Б. Ш. Технология получения нитридов хрома методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: специальность 05.17.11: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук. — Томск, 2008. — 21 с.
2. Гугля А. Г., Неклюдов И. М. Покрyтия на базе нитрида хрома. Опыт создания и исследования // Успехи физ. мет. – 2005. – Т.6 – С. 197 – 232.
3. Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия / Под ред. В. И. Спицына и др. – М.: Мир, 1972. – Т.2 – С. 277.
4. Рот Л. О., Сморгина К. С., Звягинцева Е. С., Ильин А. П. Каталитическое действие добавок оксида хрома (III) на процесс горения нанопорошка алюминия в воздухе // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320.–№3 – С. 5 – 9.
5. Самсонов Г. В. Нитриды. – Киев: Наукова думка, 1969. – 380 с.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ N-АЦЕТИЛ-L-ЦИСТЕИНА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ МЕТОДОМ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

Е.И. Короткова, В.А. Попова, А.А. Кривошеина, Е.В. Дорожко, Е.В. Михеева  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: eikor@tpu.ru

#### DETERMINATION OF N-ACETYL-L-CYSTEINE IN WATER SOLUTION BY VOLTAMMETRIC METHOD

E.I. Korotkova, V.A. Popova, A.A. Krivosheina, E.V. Dorozhko, E.V. Mikheeva  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The method of voltammetry for the determination of N-acetyl-L-cysteine in model water media was proposed. The use of mercury film electrode as an indicator allows to increase the detection sensitivity. This method will be used for the quantitative analysis of pharmaceuticals for the content of N-acetyl-L-cysteine*

#### Введение.

Аминокислоты, как строительные блоки белков, являются биологически важными соединениями и используются в различных областях, включая клинические и биологические исследования. N-ацетил-L-цистеин участвует в различных процессах организма, стимулирует биосинтез глутатиона, способствует детоксикации и поглощает свободные радикалы [1].

N-ацетил-L-цистеин (НАС) уменьшает количество гомоцистеина в крови, тем самым сокращает вероятность повреждения эндотелиальных клеток, повреждение которых может привести к атеросклерозу. Исследования показали эффективность этого вещества при лечении язвенного колита, рака печени, ВИЧ, болезни Альцгеймера и Паркинсона, а также улучшает работу мышц, в результате чего увеличивается выносливость [2].

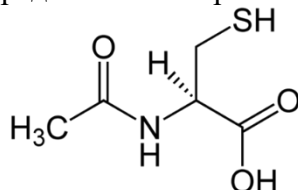
Кроме того, НАС является мощным муколитическим средством для лечения хронического бронхита и других заболеваний легких, осложненных образованием вязкой слизи. Содержание N-ацетил-L-цистеина в фармацевтических препаратах необходимо строго контролировать, так как в больших дозах данная аминокислота может вызвать нарушение нормального метаболизма организма [3, 4].

В настоящее время существует не так много работ, посвященных определению N-ацетил-L-цистеина в фармацевтических препаратах. Электрохимические методы, в частности, вольтамперометрия, отличаются высокой чувствительностью и точностью определения. Поэтому разработка нового вольтамперометрического метода определения N-ацетил-L-цистеина в фармацевтических препаратах является весьма актуальной задачей.

В связи с этим, целью исследования являлась разработка вольтамперометрического способа определения N-ацетил-L-цистеина в фармацевтических препаратах.

#### **Материалы и методы.**

В качестве стандартного вещества использовалась субстанция N-ацетил-L-цистеина, структурная формула которого представлена на рис. 1.



*Рис.1. Структурная формула N-ацетил-L-цистеина*

Экспериментальные исследования в данной работе проводили на вольтамперометрическом анализаторе ТА-2 (ООО «НПП «Томьаналит» г. Томск, Россия) в комплекте с персональным компьютером. Рабочим электродом служил ртутно-плёночный электрод (РПЭ). В качестве электрода сравнения был взят хлорид – серебряный электрод (ХСЭ). Вспомогательным электродом был платиновый электрод.

#### **Методика исследований.**

В трех-электродную электрохимическую ячейку, представляющую собой кварцевый стаканчик, помещали раствор фонового электролита объемом 10 см<sup>3</sup>. В качестве фонового электролита использовали ацетатный буферный раствор с pH 4,4.

Для измерений использовали постоянно-токовую катодную вольтамперометрию с инверсией в режиме первой производной, скорость развертки потенциала  $v = 80$  мВ/с, рабочий диапазон потенциалов от 0 до -0,6 В,  $E_{нак} = 0.1$  В,  $t = 3$  с.

Перед началом эксперимента проводили деоксигенизацию раствора азотом в течение 10 минут.

Вольтамперограммы фонового электролита снимали не менее трех раз. После получения чистой и воспроизводимой фоновой кривой переходили к работе с объектом исследования.

В ячейку при помощи дозатора вносили определенный объем исследуемого вещества и проводили съемку вольтамперограмм.

#### **Результаты и их обсуждения.**

Подобранные рабочие условия для электрохимического определения N-ацетил-L-цистеина на РПЭ: Фоновый электролит – ацетатный буферный раствор с pH 4,4; Потенциал накопления: 0.1 В., время накопления: 3 сек., скорость развертки потенциала: 80 мВ/сек.

На рис. 2 представлена вольтамперограмма электровосстановления N-ацетил-L-цистеина.

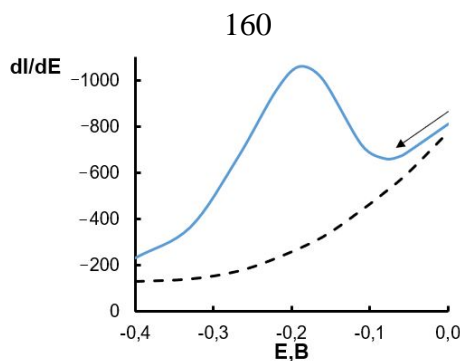


Рис. 2. Дифференциальная вольтамперограмма восстановления N-ацетил-L-цистеина на РПЭ в рабочих условиях при  $C = 5 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

Линейная зависимость тока электровосстановления N-ацетил-L-цистеина от его концентрации в растворе соблюдается в диапазоне концентраций  $1 \cdot 10^{-5} - 9 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

#### **Заключение.**

Таким образом, в работе подобраны оптимальные условия и разработана методика количественного определения N-ацетил-L-цистеина в водных растворах, используя метод катодной вольтамперометрии, который может быть использован для контроля качества фармацевтических препаратов на основе данной субстанции.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Shahin A.Y., Hassanin I.M., Ismail A.M., Kruessel J.S., Hirchenhain J. Effect of oral N-acetyl cysteine on recurrent preterm labor following treatment for bacterial vaginosis // International Journal of Gynecology & Obstetrics. – 2009. – vol. 104. – no.1. – P. 44–48.
2. Amin A.F., Shaaban O.M., Bediawy M.A. N-acetyl cysteine for treatment of recurrent unexplained pregnancy loss // Reprod Biomed Online. – 2008. – vol. 17. – no.5. – P. 722–726.
3. Elgindy E.A., El-Huseiny A.M., Mostafa M.I., Gaballah A.M., Ahmed T.A. N-acetyl cysteine: could it be an effective adjuvant therapy in ICSI cycles? A preliminary study // Reprod Biomed Online. – 2010. – vol. 20. – no.6. – P. 789–796.
4. Agarwal A., Allamaneni S.S.R. Oxidants and antioxidants in human fertility // Middle East Fertility Society Journal. – 2004. – vol. 9. – no.3. – P. 187–197.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОБРАЗЦОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНАТА НЕОДИМА СО СТРУКТУРОЙ ПЕРОВОКСИТА СИНТЕЗИРОВАННОГО МЕТОДОМ СВС**

А.М. Герасимчук, А.О. Семенов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: amg12@tpu.ru

### **INVESTIGATION OF THE LEACHING RATE OF SAMPLES BASED ON NEODYMIUM ALUMINATE WITH A PEROVSKITE STRUCTURE SYNTHESIZED BY THE SHS METHOD**

A.M. Gerasimchuk, A.O. Semenov

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* This paper shows result of neodymium aluminate productions by self-propagating high-temperature synthesis as one of the alternative method of actinides immobilization. The parameters of SHS were discovered and leaching rate was performed.

Иммобилизация РАО в кристаллические матрицы, т.е. внедрение радионуклидов в кристаллическую структуру синтетических минералов, является одним из перспективных методов обращения с радиоактивными отходами. Однако, их



применение затруднено в связи с отсутствием промышленной технологии получения, высокими энергетическими затратами на производство, сложными технологическими цепочками производства [1,2].

В данной работе рассматривается технология саморапространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) как альтернативного способа изготовления керамических матриц на примере  $\text{NdAlO}_3$ . Преимуществом данного метода является возможность получения необходимого соединения с нужной чистотой, а также возможностью регулирования процесса синтеза на любых его этапах, низкими энергетическими затратами [3,4].

Синтез материала методом СВС производился в несколько этапов. Первым этапом происходило смешивание порошков в течении 30 минут (оксид неодима, оксид алюминия, никель и алюминий), затем происходила сушка получившейся шихты. На следующем этапе исходная смесь реагентов прессовалась в цилиндрические таблетки при варьировании давления и последующим осуществлением процесса СВС в лабораторной установке. Полученные образцы подвергались исследованию на гидrolитическую стабильность.

Методика испытания образцов на выщелачиваемость при  $90^\circ \text{C}$  основана на статическом тесте для монолитных образцов с известной геометрической поверхностью МСС-1 МАГАТЭ [5]. Для испытания использовались только монолитные образцы правильной геометрической формы с легкоопределяемой площадью геометрической поверхности, полученные при следующих условиях: количество добавки имитатора РАО (оксида неодима  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ) варьировалось от 10 до 30%, давление прессования – 10 – 30 МПа (плотность образцов лежала от 4,84 до 5,15 г/см<sup>3</sup>). Диаметр образцов составлял 22 – 25 мм, высота 10 – 12 мм, масса – 28 – 32 г.

На рис. 1 представлены скорости ( $10^{-10} \left( \frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}} \right)$ ) выщелачивания образцов с разными значениями плотностей, зависящие от давления прессования.

Как видно из представленных зависимостей видно, что при увеличении давления прессования с 10 до 30 МПа, т.е. изменении плотности с 94 до 98% от теоретической, происходит снижение открытой пористости в среднем на 11%, приводящей к уменьшению скорости выщелачивания имитатора актиноидной фракции РАО на 5 – 6%.

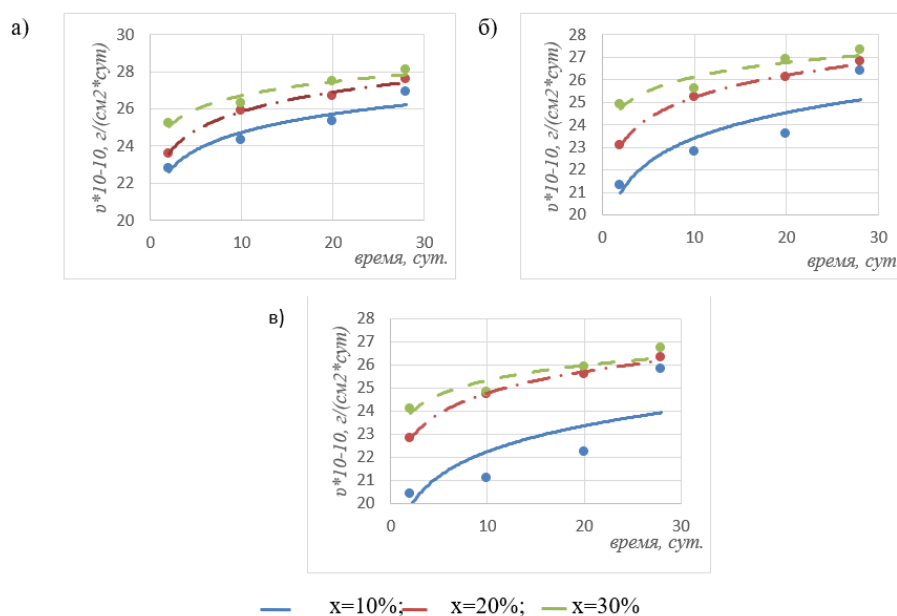


Рис. 1. Скорость выщелачивания неодима из матричного материала: а)  $P = 10$  МПа; б)  $P = 20$  МПа; в)  $P = 30$  МПа

Среднее значение скорости выщелачивания водой при температуре 90° С из матричного материала на основе алюмината неодима составляет порядка  $2,5 \cdot 10^{-9}$   $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}\right)$  и стремится к значению  $2,66 \cdot 10^{-9}$   $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}\right)$ , обусловленное насыщением матричными материалами выщелачивающего раствора. Среднее значение скорости выщелачивания  $2,46 \cdot 10^{-9}$   $\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$ , что в 100 раз ниже, чем максимально допустимая скорость выщелачивания актиноидов из отвержденных материалов  $10^{-7}$   $\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$  в соответствии с ГОСТ Р 50926-96 [6].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедзянов В. Р., Лащёнова Т. Н., Максимова О. А. Обращение с радиоактивными отходами. – Москва: Энергия, 2008.–284с..
2. Кулагин В. А., Кулагина Т. А., Матюшенко А. И. Переработка отработавшего ядерного топлива и обращение с радиоактивными отходами // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2013. – Т. 6. – №. 2. – С. 123–149
3. Шлёнский О. Ф. Горение и взрыв материалов. – Москва: Машиностроение, 2012. — 215 с.
4. Посохов Д.В., Кузьмин В.С., Луцк И.О. Исследование влияния давления прессования на образование алюминидного перовскита полученного методом СВ-синтеза // Материалы конференции в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ. – Северск, 2016. – С. 45–45.
5. ГОСТ Р 52126-2003. Отходы радиоактивные. Определение химической устойчивости отвержденных высокоактивных отходов методом длительного выщелачивания. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 12 с.
6. ГОСТ Р 50926-96 Отходы высокоактивные отвержденные. Общие технические требования. – М.: Госстандарт России, 1996. – 8 с.

### АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕРОГРАММ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

М. И. Волков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: miv5@tpu.ru

### THE ANALYSIS OF THE FEATURES OF SPECTRUM RECONSTRUCTION IN MILIMETRES WAVELENGTH RANGE FROM THE EXPERIMENTAL INTERFEROGRAMS.

M. I. Volkov

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *In the present paper the features of obtaining spectrums from the interferograms based on discrete Fourier transformation (DFT) are investigated. Methods of minimising of DFT leakage such as interferogram's zero-padding and apodisation were considered. This method has been tested on the real experimental data. Algorithms of DFT and fast Fourier transformation (FFT) were written in Wolfram Mathematica.*

Одной из наиболее важных задач в экспериментах является получение и анализ спектральных характеристик излучения. Спектральные характеристики излучения в этом диапазоне могут быть получены измерением интерферограмм с использованием интерферометров различного типа.

Одним из наиболее распространенных и простых способов получения спектров является дискретное преобразование Фурье (ДПФ) интерферограмм [1]. Рационализированной версией ДПФ является БПФ (быстрое преобразование Фурье), которое используется в практических расчетах.

В качестве исходных данных для получения спектра применяются интерферограммы, полученные с помощью интерферометра. В миллиметровом диапазоне волн для этих целей используется интерферометр Мартина-Паплетта [2], схема которого представлена на рис.1.



Рис. 1. Схема интерферометра Мартина-Паплетта

Исследуемый пучок проходит через поляризатор 1 и попадает на делитель пучка, на котором он делится на две взаимно перпендикулярные поляризации излучения, одна из которых проходит, а другая отражается. Далее каждая составляющая попадает на соответствующее ей зеркало и отражается от него, в результате чего фаза изменяется на 90 град. Попадая снова на делитель пучка первоначально отразившаяся составляющая проходит через этот поляризатор, а первоначально прошедшая — отражается от него. Далее две составляющих движутся в одной плоскости поляризации в сторону детектора. Изменяя положение одного из зеркал и фиксируя интенсивность полученного излучения на детекторе получаем интерферограмму. Полученную интерферограмму с помощью ДПФ можно преобразовать в спектр с помощью формулы ДПФ и БПФ.

Недостатком ДПФ и БПФ является утечка, которая заключается в «перетекании энергии» в «соседние частоты» и возникает, когда исследуемая в спектре частота не соответствует частоте одной из компонент в исходном сигнале. Для минимизации влияния утечки ДПФ нами была применена аподизация, которая заключается в умножении исходной интерферограммы на функцию окна, сглаживающую концы интерферограммы с ненулевой интенсивностью. При этом несколько ухудшается спектральное разрешение в процедуре восстановления спектра.

Для улучшения спектрального разрешения в процедуре восстановления спектра нами был использован метод дополнения интерферограммы нулями.

Рассмотрим особенности восстановления спектральной картины на примере интерферограммы, полученной из интерферометра Мартина-Паплетта от излучения при взаимодействии выведенного пучка релятивистских электронов с энергией 6.1 МэВ из тефлоновой мишени [3]. Макро-импульс ускоренных электронов длительностью 4 мкс. представляет собой последовательность электронных сгустков с периодом 380 псек. Населённость сгустка  $N_e = 7 * 10^7$ .

Полученная интерферограмма представлена на рис. 2а.

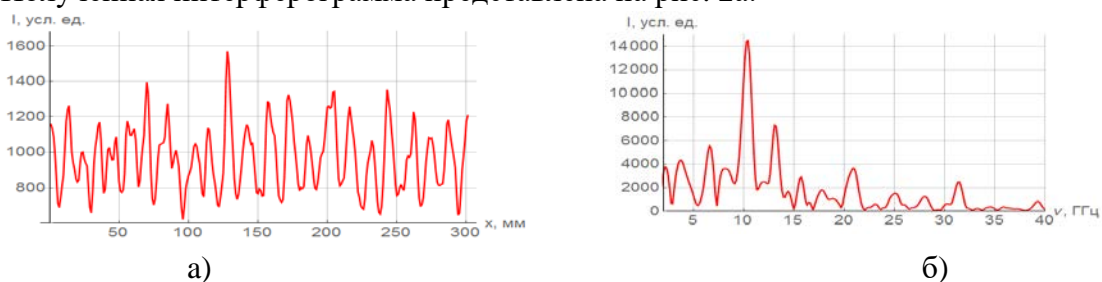


Рис. 2. Исходная интерферограмма (а) и восстановленный из нее спектр (б)

Предварительно домножив интерферограмму на функцию Хэмминга (функция окна) и дополнив количество ее общих элементов с  $N = 512$  до  $N = 2048$  нулями получим спектр, представленный на рис. 1б. На этом рис. представлены 4-ый, 5-ый и 6-ой порядки резонансов на последовательности электронных сгустков. Построенный спектр был построен с помощью алгоритма БПФ, разработанный нами в пакете «Wolfram Math».

Для оценки влияния дополнения интерферограммы нулями сопоставим предыдущий спектр со спектром без добавления нулей, т.е.  $N = 512$  (рис. 3а).

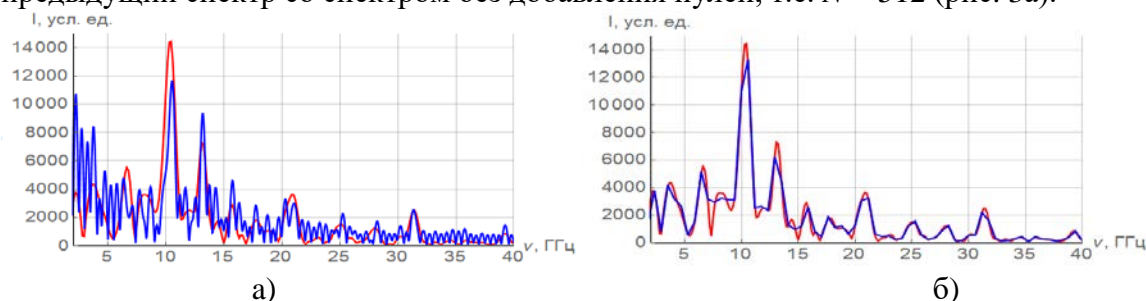


Рис. 3. Сопоставление спектров: (а) — для оценки влияния аподизации (синий спектр с аподизацией, красный — без); (б) — для оценки влияния дополнения интерферограммы нулями (для синего спектра  $N = 2048$ , для красного  $N = 512$ )

Для оценки влияния аподизации сопоставим два спектра, отчеты интерферограммы одного из которых умножены на функцию Хэмминга, а отчеты другой интерферограммы не изменены. Число элементов в интерферограммах равны  $N = 2048$ . Результаты представлены на рис. 4б (интенсивность спектра без окна уменьшена вдвое). Влияние максимумов интенсивности у боковых лепестков подавлено, при этом несколько ухудшилось спектральное разрешение в процедуре восстановления спектра.

Из всего вышесказанного следует подчеркнуть, что дополнение интерферограммы нулями позволяет улучшить спектральное разрешение в процедуре восстановления спектра. Из минусов данного метода только увеличение времени вычисления ДПФ. Аподизацию следует применять только в том случае, когда концы интерферограммы имеют ненулевую интенсивность, поскольку несколько ухудшается спектральное разрешение в процедуре восстановления спектра.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. — М.: Бином-Пресс, 2006. — 656 с.
2. Lars Fröhlich. Bunch Length Measurements Using a Martin-Puplett Interferometer at the VUV-FEL. Diploma Thesis. Desy-Thesis 2005-011 TESLA-FEL 2005-02 June 2005. — 52 p.
3. Науменко Г.А., Потылицын, А.П., Шевелёв М.В., Шкитов Д.А., Попов К.Е., Вуколов А.В. Квазичеренковский механизм излучения релятивистских электронов, пролетающих вблизи многослойной призматической мишени // Письма в ЖЭТФ. — 2020. — Т. 1115. — №5.—С. 295–299.

## РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА С ИНЕРЦИОННЫМ УДЕРЖАНИЕМ

Я. Гударзи, Ю. Б. Чертков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: Yasin1@tpu.ru

## DEVELOPMENT OF A HYBRID DESIGN FOR AN INERTIAL CONFINEMENT FUSION REACTOR

Y. Goudarzi, Yu. B. Chertkov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This paper summarizes the results of research for developing a hybrid variant of a pure inertial confinement fusion reactor from the neutronic point of view. Various fertile fuels and tritium breeding ceramics were investigated to propose the best blanket configuration that meets the design criteria. The neutronic analysis was performed with the help of Monte Carlo Code MCNPX v2.6 and nuclear data library ENDF-VII and the results compared with the open literature.*

Несмотря на 2,9% темпов роста глобального потребления энергии в 2018 году и 2% ежегодных темпов роста выбросов углерода, доля атомной энергии в мировом производстве энергии существенно снизилась с 18% в 1988 году до 10% за 20 лет [1]. Этот резкий спад является результатом озабоченности общественности последствиями использования обычных реакторов для безопасности и окружающей среды. Гибридный термоядерно-делительный реактор, который определяется как реактор с термоядерной активной зоной, окруженной докритической blanketом деления, может быть среднесрочным решением, с помощью которого могут быть уменьшены не только потребности в плазме будущих термоядерных реакторов, но и долгоживущие радиоактивные продукты реакторов деления могут быть сожжены. С другой стороны, гибридные реакторы должны производить тритий, необходимый им для производства термоядерного топлива, а также повышать энергоэффективность реактора за счет выработки энергии в докритическом blanketе за счет деления и экзотермических взаимодействий нейтронов и материалов blanketа.

В этом исследовании конфигурация blanketа термоядерного реактора PROMETHEUS [2] была модифицирована для размещения 10 рядов воспроизводящих топливных материалов. В системе защиты первой стенки реактора используется схема смачиваемой стенки, в которой жидкий свинец (Pb) протекает в каналах, сделанных из пористого карбида кремния, и образует 5-миллиметровую пленку жидкости на первой стенке реактора. Blanket исследуемого реактора представляет собой галечный слой, охлаждаемый гелием (HCPB), в котором SiC служит конструкционным материалом и замедлителем нейтронов, а газообразный гелий при 2,5 МПа является теплоносителем. Blanket толщиной 60 см разделен на три части: две зоны воспроизводства трития (ЗВТ) толщиной 15 и 37 см соответственно, и 12 см зона воспроизводства делящегося топлива (ЗВДТ), которая содержит 10 рядов сфер воспроизводящего топлива из урана с оболочкой из SiC, расположены в виде шестиугольной решетки с шагом 1,2 см. На рис. 1 показано поперечное сечение blanketа реактора.

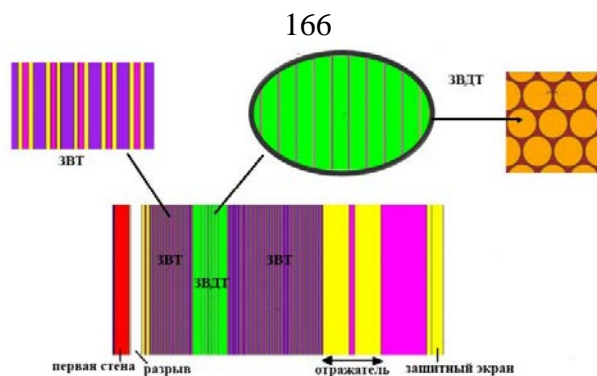


Рис. 1. Поперечный разрез blankets реактора

Используя две разные керамические литийсодержащие керамики, а именно  $\text{Li}_2\text{O}$  и  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ , четыре воспроизводящих материала на основе урана с естественным изотопным составом, включая UC, UN,  $\text{U}_3\text{Si}_2$  и  $\text{UO}_2$ , и с помощью универсального кода Монте-Карло MCNPX 2.6 [3], нейтронно-физические характеристики blankets были исследованы для оценки влияния выбора материала на ключевые параметры, такие как оптимальное обогащение  $^6\text{Li}$ , коэффициент воспроизводства трития (КБТ), который представляет собой сумму воспроизводства трития в  $^6\text{Li}$  (Т6) и  $^7\text{Li}$  (Т7), коэффициент воспроизводства делящегося топлива (КБДТ), утечка нейтронов (L), отношение захвата к делению ( $\Gamma$ ) и коэффициент умножения энергии (M). Поскольку коэффициент умножения энергии исходного термоядерного реактора равен 1,14, гибридный вариант должен одновременно увеличивать коэффициент размножения энергии и соответствовать критерию самодостаточного коэффициента воспроизводства трития ( $\text{КБТ} > 1,05$ ). В связи с тем, что плотность лития в керамике  $\text{Li}_2\text{O}$  выше, чем у  $\text{Li}_2\text{SiO}_4$ , КБТ обычно выше в случае использования керамики  $\text{Li}_2\text{O}$ , но коэффициент умножения энергии выше, когда  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  используется в качестве материала-размножителя трития. Оптимальный уровень обогащения  $^6\text{Li}$  составил 25% для  $\text{Li}_2\text{O}$  и 50% для  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ . В таблице 1 приведены результаты расчетов при оптимальном уровне обогащения  $^6\text{Li}$  для каждого случая.

Таблица 1 – Выбранные результаты расчетов

генератор трития	Воспроизводящий материал	T6	T7	ЗВТ	КБДТ	$\Gamma$	M	L
$\text{Li}_2\text{O}$ (25%)	$\text{U}_3\text{Si}_2$	1.131	0.080	1.211	0.103	2.448	1.965	0.02297
	UC	1.125	0.080	1.205	0.128	2.707	2.040	0.02137
	UN	1.109	0.079	1.189	0.130	2.727	2.037	0.02088
	$\text{UO}_2$	1.118	0.080	1.198	0.095	2.706	1.865	0.02154
$\text{Li}_4\text{SiO}_4$ (50%)	$\text{U}_3\text{Si}_2$	1.104	0.0264	1.131	0.11	2.327	2.038	0.03656
	UC	1.098	0.0263	1.124	0.137	2.587	2.12	0.03402
	UN	1.082	0.0261	1.108	0.139	2.611	2.117	0.0333
	$\text{UO}_2$	1.09	0.0265	1.116	0.101	2.578	1.922	0.03451

С учетом всех исследованных факторов и исходя из приоритета конечного пользователя предлагаются две оптимальные конфигурации. В гибридных реакторах первого поколения, в которых количество трития ограничено, большое значение воспроизводства трития имеет большое значение, и достаточно удовлетворительных значений других факторов. В этом случае предлагаемая конфигурация представляет собой  $\text{Li}_2\text{O}$  в качестве материала-размножителя трития с обогащением 25% и UC в качестве материала-размножителя делящегося топлива. Если желателен самый высокий коэффициент размножения и, следовательно, более высокая эффективность реактора с лучшими теплофизическими свойствами материалов, тогда  $\text{Li}_2\text{SiO}_4$  с обогащением 50% и UC в качестве делящегося топлива. предлагается племенной материал. Результат этого исследования хорошо согласуется с аналогичной работой, выполненной с помощью детерминированного подхода, реализованного в коде SCALE 4.3 [4].

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. BP Statistical Review of World Energy. – Pureprint Group Limited, UK, 2019
2. Waganer, L M, Driemeyer, D. E. and Lee, V. D. Inertial fusion energy reactor design studies: Prometheus-L&Prometheus-H. s.l.: McDonnell Douglas Company Report, 1992, MDC 92E0008/DOE/ER-54101.
3. Hendricks, J. S., McKinney, G. W. and Fensin, Michael L. MCNPX 2.6.0 Extensions, Los Alamos National Laboratory report, 2008, LA-UR-08-2216.
4. Yapıcı H, Übeyli M, Yalçın, S., Neutronic analysis of PROMETHEUS reactor fueled with various compounds of thorium and uranium// Annals of Nuclear Energy. – 2002. – vol. 29. – P. 1871–188.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЯДЕРНОГО  
РЕАКТОРА СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ГЛУБИНЫ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА**

Ю. Б. Чертков, Т. Т. Элзаят

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: elzayattarek@yahoo.com

**INVESTIGATION OF OPERATING REGIMES OF A NUCLEAR  
REACTOR WITH SPECTRAL SHIFT CONTROL TO INCREASE THE FUE  
BURNUP.**

Y.B. Chertkov, T.T. Elzayat

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The SSCR reactor is a pressurized water reactor that controlled with spectral shift control, by using variable concentrations of heavy water / light water to control reactivity. In the presence of heavy water in the reactor coolant, the neutron population moves to higher energy levels and remains longer at resonant energies, so that excess neutrons are mainly absorbed in the fertile material, rather than in the control poison. This means that during an SSCR operation, more fissile material is produced and burned on-site than in a conventional PWR.*

В связи с сокращением запасов урана все большее значение придается эффективному использованию уранового топлива в ядерных реакторах. Проводимая во всем мире политика затягивания разработки реактора-размножителя на быстрых нейтронах еще больше подчеркивает необходимость улучшения топливных характеристик обычных легководных реакторов. Если рост ядерной промышленности ограничивается обычными легководными реакторами, то генерирующая мощность, обеспечиваемая ядерной энергетикой, может быть ограничена количеством, которое является менее желательным для удовлетворения прогнозируемого спроса на нагрузку.

Однако несколько реакторных систем, включая реактор на тяжелой воде, реактор-размножитель легкой воды (LWBR) и реактор со спектральным регулированием (SSCR), являются жизнеспособными альтернативами, которые могут внести значительный вклад в сохранение ресурсов урана и тем самым увеличить потенциальную ядерную генерирующую мощность. Как реактор на тяжелой воде, так и реактор-размножитель на легкой воде потребовали бы существенной разработки и/или модификации обычного реактора на воде под давлением (PWR), что снизило бы вероятность его развития в ближайшей перспективе. Кроме того, LWBR требует больших первоначальных запасов, и поэтому его вклад в сохранение ресурсов будет только в долгосрочной перспективе [1].

Напротив, SSCR в полной мере использует технологию и компоненты PWR и, следовательно, обладает наибольшим потенциалом для успешного применения. Реактор, контролирующийся со спектральным регулированием, использует переменные

концентрации тяжелой воды / легкой воды для осуществления контроля реактивности. При наличии тяжелой воды в теплоносителе реактора заселенность нейтронов перемещается на более высокие энергетические уровни и дольше остается при резонансных энергиях, так что избыточные нейтроны преимущественно поглощаются в фертильном материале, а не в контрольном яде. Таким образом, во время операции SSCR производится и сжигается больше делящегося материала на месте, чем в обычном PWR.

Метод контроля ядерного реактора со спектральным регулированием – это метод, связанный с концепцией управления долговременными эффектами реактивности в активной зоне ядерного реактора путем изменения спектра энергии нейтронов в течение периода топливного цикла. Эта концепция реализуется многими методами, первый метод (химический метод), который будет исследован в этом исследовании, был предложен в 1960-х годах в США (Компания Babcock & Wilcox и инженерная корпорация Stone & Webster ; D. Mars и др., 1961; MC Edlund, 1964), который включал изменение концентрации  $D_2O$  в смеси  $D_2O - H_2O$ , которая служит как замедлителем, так и теплоносителем, следующая; При запуске реактора с новой загрузкой топлива активной зоны смесь замедлителя имеет высокую концентрацию  $D_2O$  (до 80 мол.% Смеси).

Следовательно, замедлитель имеет относительно низкую замедляющую мощность, поскольку  $D_2O$  является менее эффективным замедлителем, чем  $H_2O$  (из-за замедления мощность  $\zeta_{\sum_s D_2O}$  составляет всего 16% от мощности  $H_2O$ ). что в свою очередь вызывает увеличение потоков эпitherмальных и быстрых нейтронов. Таким образом, существует высокая скорость поглощения нейтронов в фертильном материале по сравнению с поглощениями в топливе, но с увеличением утечки нейтронов.

Поскольку активная зона реактора продолжает работать и реактивность уменьшается из-за выгорания топлива и накопления продуктов деления, отношение  $D_2O$  к  $H_2O$  в замедлителе уменьшается за счет разбавления первичной системы с  $H_2O$ . Спектр нейтронов становится более тепловым, поскольку замедления мощность увеличивает, и вероятность резонансного выхода нейтронного потока увеличивается, что, в свою очередь, увеличивает (Кэфф). Этот эффект более чем компенсирует повышенное поглощение нейтронов в водороде, добавляемом в замедлитель, и в конструкционном материале [2].

Таким образом, реактивность активной зоны регулируется для поддержания реактора на полной мощности. Процесс разбавления замедлителя  $H_2O$  продолжается в течение всего срока службы активной зоны, пока конечная концентрация  $D_2O$  не станет настолько низкой, насколько это целесообразно с экономической точки зрения (около 2 мол.%).

Поэтому во время работы реактора на полной мощности реактивность активной зоны контролируется поглощением нейтронов фертильном материале, а не в поглотителях, таких как контрольные стержни или выгорающие дисперсные яды (гадолиний) или химическая прокладка (борная кислота). Поглощение нейтронов в фертильном материале приводит к образованию нового расщепляющегося материала; плутоний в случае урана в качестве плодородного материала; U-233 в случае тория в качестве плодородного материала. Таким образом, коэффициент конверсии выше для реактора управления со спектральным регулированием, чем для отравленного реактора, и наблюдается соответствующее улучшение экономии топлива.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Matzie R. A. and Sider F. M. Evaluation of Spectral Shift Controlled Reactors Operating on the Uranium Fuel Cycle// Proceeding of the EPRI NP-1156.–1979. –Р. 1–5.
2. Васильченко И.Н., Махин В.М., Кушманов С.А., П.Н. Алексеев, В.Ф. Горохов, А.С. Духовенский и др. Расчетно конструкторские проработки активных зон ВВЭР со спектральным регулированием. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2011/documents/mntk2011-107.pdf> (дата обращения 01.09.2020)



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВ-СИНТЕЗА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ МАТРИЦ ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

М.Д. Юрченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mdy2@tpu.ru

## THE USE OF SH-SYNTHESIS TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF INTERMETALLIC MATRICES OF DISPERSION NUCLEAR FUEL

M. D. Yurchenko

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *In this paper the possibility of producing NiAl intermetallic matrices for dispersive nuclear fuel by the method of self-propagating high-temperature synthesis are investigated. It was found that the optimal range of the charge pressing pressure is 12–20 MPa, the possibility of diluting the starting reagents with an inert additive up to 60% is shown, it is determined that the matrix makes a minimal contribution to reducing the reactivity of the fuel.*

Современная ядерная энергетика – это обширная отрасль промышленности, закрепившая свое существование на энергетическом рынке. В России АЭС играют немаловажную роль в обеспечении населенных пунктов электроэнергией и отоплением в зимнее время. В последнее время актуальной проблемой является повышение КПД реакторных установок. Этот вопрос неразрывно связан с модернизацией топливных композиций.

Используемое в большинстве реакторов топливо из диоксида урана характеризуется низкой теплопроводностью, вследствие чего при эксплуатации АЭС в топливной таблетке возникают сильные термические напряжения, приводящие к её растрескиванию. Данный факт накладывает существенные ограничения на возможно осуществимые температурные режимы внутри активной зоны реактора, что влияет на максимально достижимый КПД. Кроме того, растрескивание топлива приводит к выходу продуктов деления за пределы таблеток, снижая эффективность обеспечения ядерной и радиационной безопасности на АЭС.

Данная работа посвящена разработке перспективной замены керамического ядерной топлива – дисперсионному ядерному топливу (ДЯТ), представляющему собой делящиеся соединения, диспергированные в инертную матрицу, свойства которой стабилизируют недостатки топливных частиц на необходимом уровне.

Многообещающим материалом для матрицы являются интерметаллидные соединения, зачастую обладающие хорошими теплофизическими показателями, а также характеризующиеся высокой радиационной стойкостью. Одним из таких соединений являются и NiAl [1].

Данное соединение можно получать перспективным методом – самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС). Метод основан на использовании экзотермических реакций между рядом химических элементов, в ходе которых энергия, произведенная при химическом взаимодействии, расходуется на инициацию реакции в близлежащих слоях реагирующих веществ [2].

В работе исследована зависимость плотности спрессованного порошка Ni+Al и полученного методом СВС NiAl от давления прессования. Замечено, что при давлении выше 25 МПа таблетки разрываются на несколько частей вследствие избыточной запасенной энергии. Оработана схема получения интерметаллидной матрицы для ДЯТ методом СВ-синтеза. Синтезировано 15 таблеток с различным содержанием инертной по отношению к синтезу добавки. При увеличении количества инертной добавки происходит уменьшение максимальной температуры реакции, что объясняется

уменьшением числа реагирующих частиц. При этом удовлетворительными параметрами обладают лишь образцы с массовой долей добавки порядка 50-60%. Исследованы нейтронно-физические свойства полученного материала. Из экспериментальных и теоретических данных установлено, что матрица NiAl оказывает минимальный отрицательный вклад в запас реактивности топлива, а значит может применяться внутри активной зоны реактора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базылева О. А., Аргинбаева Э. Г., Туренко Е. Ю. Жаропрочные литейные интерметаллидные сплавы //Авиационные материалы и технологии. – 2012. – №. 5. – С. 57.
2. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учебное пособие. Под научной редакцией В.Н. Анциферова. –М.: Машиностроение, 2007. – 471 с.

### АНАЛИЗ КАДРОВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА РОССИИ

О.А. Пасько, В.Ф. Ковязин  
Агрофизический научно-исследовательский институт  
Горный университет  
E-mail: oap@tpu.ru

### ANALYSIS OF PERSONNEL SECURITY OF RUSSIAN FOREST FUND LANDS

O.A. Pasko, V.F. Kovyazin  
Agrophysical Research Institute  
Mining University

***Annotation.** Personnel indicators in the management of forest lands in Russia (on the example of the Tomsk region), the Republic of Belarus and the United States are studied. It is established that in the Tomsk region, the area of forest areas varies from 53611 to 56300065 ha (105 times), the number of district forest areas – from one to nine; the number of full – time employees in the forest area – from five to twenty-seven (5.4 times), the forest area per employee – from 4468 to 331486 ha (74 times). The Tomsk region accounts for 172 times more land area per forest guard worker than the Republic of Belarus and 37 times more than in the United States; financial security in the Tomsk region is about 5 times lower than in Belarus.*

В последние годы в России обострилась ситуация с горением лесов. Ежегодно регистрируют 10 – 30 тыс. лесных пожаров на площади в 0,5 – 3,2 млн. га. Число пожаров, приходящихся на 1 млн. га земель лесного фонда России, в несколько раз меньше, однако средняя площадь одного пожара в несколько раз больше, чем в Европе и Америке. Основными причинами этого являются правовая неопределенность; «сырой» Лесной кодекс [1], сокращение численности лесной службы и неэффективное управление лесной отраслью. ликвидация наземной лесной охраны; сокращение численности лесной службы; децентрализация системы органов управления [2]. Эффективность выполнения должностных обязанностей и оперативность принятия управленческих решений во многом зависят от числа штатных сотрудников.

По данным анализа статистической информации [3] установлено, что в Томской области площадь лесничеств меняется от 53611 га (Томское) до 56300065 га (Каргасокское) (в 105 раз). Число участковых лесничеств варьирует от одного (Васюганское и Зырянское лесничества) до девяти (Каргасокское); число штатных сотрудников в лесничестве – от пяти (Зырянское) до двадцати семи (Верхнекетское) (в 5,4 раза). Площадь леса, приходящаяся на одного сотрудника, изменяется от 4468 га

(Томское) до 331486 га (Васюганское) (в 74 раза). Максимальная нагрузка приходится на лесничества Каргасокского, Васюганского и Александровского районов – 296319 – 331486 га/чел., что обусловлено большими размерами лесничеств (2592674 – 5630065 га). В Верхнекетском лесничестве (4305201 га) нагрузка снижена до 159452 га/ чел. за счет увеличения штата в связи с его особой ролью как центра лесоперерабатывающего производственного комплекса Томской области. Близость к областному центру обеспечивает массовый доступ людей к лесным территориям и требует дополнительного контроля со стороны административных органов.

По площади лесов (26,8 млн га) Томская область занимает промежуточное положение между США (77 млн. га) и Республикой Беларусь (РБ) (7 млн га) [4]. Средняя площадь лесничества в РБ составляет 1000 га. На одного штатного сотрудника в РБ приходится 650 га, в США – 2300 га, в Томской области – 111 496 (в 172 раза больше, чем РБ, и в 37 раз больше, чем в США). Обеспеченность лесничеств финансами в Томской области в 5 раз ниже, чем в РБ, Следовательно, максимальный разрыв выявлен для площади леса, приходящейся на одного сотрудника, минимальный – для финансирования лесохозяйственной деятельности.

Сравнение показателей кадровой и финансовой обеспеченности лесопожарных работ в США и Республике Беларусь позволяет сделать вывод о пробелах в кадровом и организационном направлениях деятельности в России, что способствует развитию и сохранению крайне неблагоприятной ситуации с лесными пожарами.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Kovyazin V.F., Pasko O.A. Why are forests burning in Russia? // Bulletin of MANEB. – 2019. – vol. 24. –no. 2. – P. 23–29.
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 31.07.2020) . [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_64299](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299) (дата обращения 12.10.2020).
3. Официальный сайт Департамента лесного хозяйства Томской области. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Режим доступа: <https://deples.tomsk.gov.ru> (дата обращения 12.10.2020).
4. Grigoriev A. Yu., Zakharov V.P., Shmatkov M.P. Examples of foreign experience in sustainable forest management and forest management, in Belarus // State forest fire protection system: collection of articles. – Moscow, 2012. – P. 9–23.

#### **РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО ТРЕХМЕРНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРИМЕТРА ЯДЕРНОГО ОБЪЕКТА**

Е.А. Суханов, О.В. Селиваникова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: eas70@tpu.ru

#### **DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PACKAGE MODULE FOR THREE- DIMENSIONAL DESIGN OF A NUCLEAR FACILITY PERIMETER PROTECTION SYSTEM**

E.A. Sukhanov, O. V. Selivanikova

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The work is devoted to the development of a module for 3D design of a physical protection system for the perimeter of a nuclear facility. The proposed option allows you to improve the level of security due to visual design, taking into account the peculiarities of the placement of the nuclear facility. The developed module is planned to be introduced into the*

*software-analytical complex, for further implementation in the field of training specialists and industry.*

В современном мире существует террористические организации, которые хотят завладеть ядерным материалом или оружием. Приобретение ими ядерного материала или ядерного оружия приведет к серьезным последствиям, включая экологические.

Международное сообщество обеспокоено этим вопросом и для предотвращения такого развития разработала и приняла ряд различных мер, призванных ввести ограничения в распространение ядерного оружия и материала. Одним из договоров является: «Конвенция о физической защите ядерного материала и ядерных установок», подписанная принятая 26 октября 1979 года [1]. Россия также подписала данную конвенцию и разработала систему физической защиты. Следовательно, на каждом ядерном объекте должна быть разработана и функционировать система физической защиты. Исходя из выше сказанного, целью данной работы является разработка модуля трехмерного проектирования системы физической защиты периметра ядерного объекта. Для достижения поставленной цели рассматривается нормативно-правовая база по созданию системы физической защиты, предлагается алгоритмы по визуализации ядерного объекта и проектирования системы физической защиты.

Природные и климатические условия, регион, наличие водоема, расположение зданий и многое другое, может критически повлиять на защищенность периметра объекта. Разработка метода использованием трехмерной графики, позволит наглядно спроектировать систему физической защиты периметра, в которой учитывается данные особенности объекта [1].

Первым этапом, специалист моделирует и визуализирует ядерные объект: размеры в масштабе, загружает и расставляет модели зданий на площадке, выстраивает автомобильное и железнодорожное сообщение на объекте. Также на данном этапе предлагается задать параметры района расположения объекта, а именно: климатические условия, растительность, описание фауны.

Следующим, вторым этапом, пользователю программного комплекса предлагается разместить инженерные средства по границе защищенной зоны ядерного объекта. На выбор предлагается несколько видов, а именно: железобетонное, сетчатое, сварное ограждение или контрольно-следовая полоса. Высоту данного ограждения и длину, пользователь задает самостоятельно при установке. Высота инженерного ограждения не может быть слишком маленькой, например меньше 1,7–1,9 м. Исключение применяется в случае, использования физического барьера, в качестве предупреждающего, тогда высота может быть полтора метра. В таком случае пользователь помечает галочкой данный параметр, доступный только при вводе первого физического барьера. Исходя из вышеупомянутого, необходимо проводить проверку введенных пользователем размеров, на их корректность. В противном случае, просить пользователя еще раз ввести корректно размеры.

Согласно нормативно-правовой базы, периметр ядерного объекта должен содержать не менее двух физических барьеров с контрольно-следовой полосой [2]. Допускается отсутствие контрольно-следовой полосы на территории периметра, в случаях невозможности ее реализации. Одним из таких случаев является, твердый или мерзлый грунт, тогда полоса заменяется дополнительным физическим барьером.

Таким образом, алгоритм должен учитывать данные аспекты и максимально облегчить работу специалиста. Разработанный алгоритм, учитывает аспекты нормативно-правовой базы и некоторых принципов построения системы физической защиты. Данный алгоритм представлен на рис. 1, который обеспечивает размещение и проверку на соответствия.

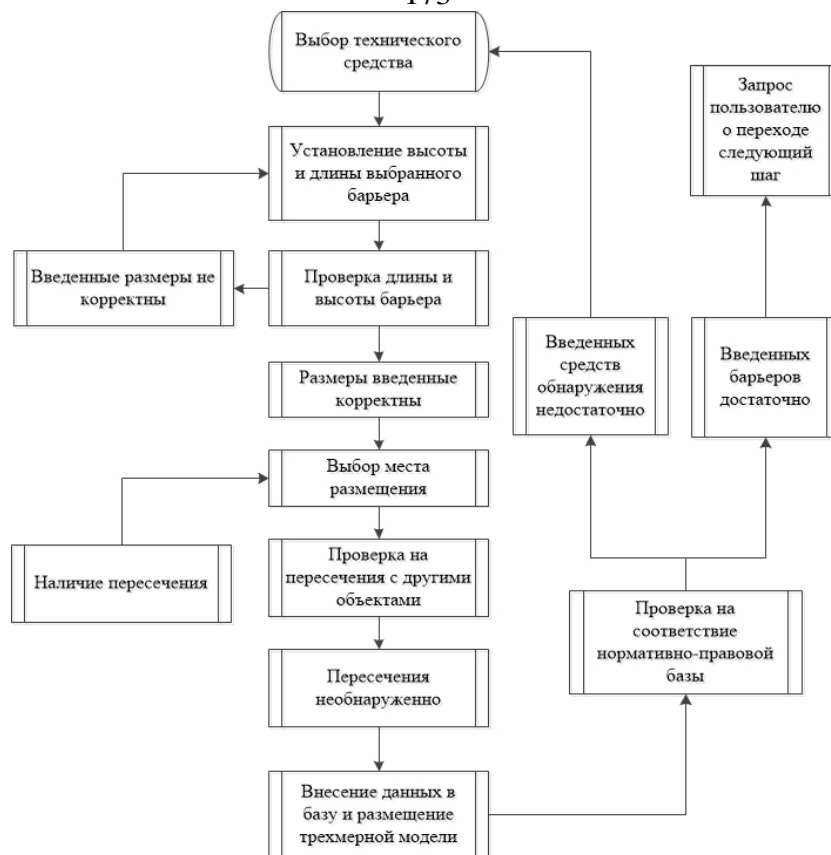


Рис. 1. Алгоритм по размещению и проверки физических барьеров

Третьим, и завершающим этапом данного модуля, является размещение технических средств системы физической защиты. В данную категорию попадают средства обнаружения нарушителя, специалисту предлагается на выбор база с более 200 разных устройств. Данные устройства работают на различных физических принципах, что позволяет соблюсти требования нормативной базы, которая гласит, что на периметре должно применяться от двух и более средств обнаружения, работающих на разных физических принципах [3].

Также программный комплекс позволяет самостоятельно внести необходимое средство, путем заполнения перечня характеристик и загрузки трехмерной модели. Размещение технических средств возможно только на инженерных средствах [3], таким образом, алгоритм по размещению технических средств будет незначительно отличаться от предыдущего. На рис. 2 представлен данный алгоритм.

Таким образом, данный модуль позволяет создавать систему физической защиты периметра, которая соответствует требованиям нормативно-правовой базы и учитывает особенности размещения ядерного объекта. В данный момент, модуль может применяться при подготовке специалистов по физической защите.



Рис. 2. Алгоритм по размещению и проверки средств обнаружения

Использование трехмерной графики позволит закрепить полученные знания и в будущем применить на практике. Также ведется работа над аналитическим модулем данного комплекса, что позволит использовать данный комплекс в промышленности, а также позволит совершенствовать систему физической защиты на этапе проектирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Б.П., Годовых А.В. Основы проектирования систем физической защиты ядерных объектов. – Томск: ТПУ, 2009. – 118 с.
2. НП-083-15. Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_189442/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_189442/) (дата обращения: 01.10.2020).
3. Соколов Е.Е. Физическая защита ядерных материалов и установок. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 78 с.

#### ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ $Re_2S_7$

Е.А. Исаева, Н.Б. Егоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Email: egorov@tpu.ru

#### PHOTOCHEMICAL SYNTHESIS OF $Re_2S_7$ NANOPARTICLES

E.A. Isaeva, N.B. Egorov

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The production of  $Re_2S_7$  is of interest because of its application in industry as a catalyst and in medicine as a lymphotropic drug (tracer) injected into tissue with subsequent visualization of the lymphatic pathways in cancer patients. The paper considers a new method of obtaining  $Re_2S_7$  by the photochemical method.

Наночастицы гептасульфида рения ( $Re_2S_7$ ) являются рентгеноаморфными и обладают неправильной формой, что позволяет использовать их в качестве объекта ультрафагоцитоза для  $^{99m}Tc$  в форме  $TcO_2$ . Существует два метода получения  $Re_2S_7$ :

а) путем осаждения из кислых растворов перренатов сероводородом;

б) обменной реакцией перренатов с тиосульфатами в кислой среде. В отличие от известных на данный момент методов синтеза  $Re_2S_7$ , разрабатываемый нами новый способ получения наночастиц  $Re_2S_7$  осуществляется без использования токсичных

реагентов и в слабокислой среде. В основе способа лежит облучение УФ-излучением водных растворов, содержащих перренат-ионы и тиосульфат-ионы.

Раствор, содержащий  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , помещали под УФ-лампу  $\text{KrCl}$  ( $\lambda_{\text{max}}=222$  нм) и облучали при комнатной температуре. Для выделения из облученного раствора твердофазных продуктов использовали центрифугу *Allegra 64R* (26200 об/мин), трехкратно промывали их водой и сушили в вакуумном эксикаторе. Процедуру получения осадка повторяли многократно до накопления количества, достаточного для проведения анализов.

При облучении бесцветный раствор, содержащий  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , приобретает сначала желтый, а затем темно-коричневый цвет. Скорость окрашивания раствора зависит от концентрации солей и времени фотолиза.

Исследования показали, что из перечисленных источников УФ-излучения при использовании эксимерной лампы  $\text{KrCl}$  в фотолите спектрофотометрическим методом регистрируется наибольшая концентрация продуктов фотолиза. Также было обнаружено, что заметное влияние на процесс фотолиза оказывает кислород воздуха и только в аэрированных растворах возникает интенсивная окраска, обусловленная продуктами фотолиза. Поэтому в дальнейших исследованиях УФ-облучение водных растворов, содержащих  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , осуществляли на воздухе с использованием эксимерной лампы  $\text{KrCl}$ .

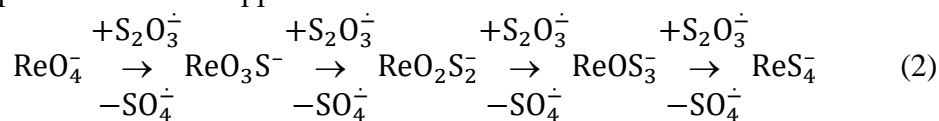
Облучение смеси водных растворов, содержащих  $\text{NaReO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , приводит к появлению в электронном спектре поглощений при  $\sim 300$  нм,  $\lambda_{\text{max}} \sim 415$  нм,  $\lambda_{\text{max}} \sim 480$  нм и  $\lambda_{\text{max}} \sim 610$  нм.

Согласно [1] фотолиз иона  $\text{ReO}_4^-$  происходит в присутствии восстановителя только в сильноокислых растворах. Раствор, содержащий  $\text{NaReO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , имеет почти нейтральную реакцию. Облучение 10 мл раствора в течение 10 мин сопровождается изменением pH от 6.3 до 5.3. Это указывает, что образование окрашенных продуктов фотолиза в водном растворе происходит при взаимодействии  $\text{ReO}_4^-$  с продуктами фотолиза  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ .

Согласно работе [2] фотораспад  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  в водных растворах при УФ-облучении излучением с  $\lambda_{\text{max}} = 228,8$  нм преимущественно протекает по реакции:



Это позволяет предположить, что образующиеся при фотолизе ион-радикалы  $\text{S}_2\text{O}_3^{\cdot-}$  способны реагировать с ионами  $\text{ReO}_4^-$ , последовательно замещая в них атомы кислорода на атомы серы, с образованием тиоперренатов по схеме:



Поэтому отнесение полос поглощения, наблюдаемых после фотолиза смеси водных растворов  $\text{NaReO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , в электронных спектрах было сделано на основании анализа литературных данных по светопоглощению тиоперренатов в водных растворах [3–5]. Поглощения тиоперренат-ионов в электронных спектрах перекрываются, что затрудняет их идентификацию. Полоса поглощения при  $\sim 300$  нм присутствует в спектре всех четырех тиоперренат-ионов, поэтому она обладает самой высокой интенсивностью. В области  $\sim 400$  нм поглощение характерно для ионов  $\text{ReO}_2\text{S}_2^-$  и  $\text{ReOS}_3^-$ . В области  $\sim 500$  нм интенсивная полоса характерна для  $\text{ReS}_4^-$  и перекрывается с поглощением характерным для иона  $\text{ReOS}_3^-$ .

Облучение водных растворов тиосульфатов и перренатов даже в течение 360 мин не приводит к выделению дисперсной фазы. Это указывает, что в процессе фотолиза образуются коллоидные частицы устойчивые к коагуляции. Размеры и морфология полученного фотохимическим способом  $\text{Re}_2\text{S}_7$  была изучена методами электронной

спектроскопии и лазерной дифракции. Электронные микрофотографии и диаграммы распределения наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$  показывают, что в начальный момент времени (от 1 до 5 мин) в растворе происходит формирование коллоидных частиц, имеющих шаровидную форму и размеры от 20 до 100 нм.

Коричневый осадок из объема фотолита центрифугированием можно выделить только после 480 мин его УФ-облучения. Исследование полученного осадка методом рентгенофазового анализа показало, что осадок состоит из элементной серы (PDF 00-008-0247). Поэтому был сделан вывод о том, что вещество, отвечающее за окрашивание элементной серы в коричневый цвет, является рентгеноаморфным. Серу из полученного при центрифугировании осадка удаляли толуолом при комнатной температуре.

Согласно работе [6] для  $\text{Re}_2\text{S}_7$  характерны дифракционные пики при  $2\theta$  равные 35.0, 36.5, 41.8, 42.8 и 48.5 с интенсивность 60, 60, 100, 100 и 80 % соответственно. В нашем случае в дифрактограмме имеются широкие дифракционные пики с максимумами при  $2\theta$  равные 36.03, 43.08 и 57.11. Это позволяет сделать вывод, что в результате фотолитиза водных растворов, содержащих тиосульфаты и перренаты, образуется  $\text{Re}_2\text{S}_7$ , который формируется по схеме:



Таким образом, впервые показано, что при УФ-облучении водных растворов, содержащих  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , происходит образование наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$ .

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90217.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nemodruk A.A. Photochemical reactions in analytical chemistry. – М.: Chemistry, 1972. – 167 p.
2. Sperling R., Treinin A. Charge-transfer-to-solvent spectra of polyvalent anions. ii. the electronic spectrum of  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  // J. Phys. Chem. – 1964. – vol. 68. – no. 4. – P. 897–903.
3. Helz G. R., Dolor M. K. What regulates rhenium deposition in euxinic basins? // Chemical Geology. – 2012. – vol. 304–305. – P. 131–141.
4. Krebs V.B., Kindler E. Struktur und Bindungsverhältnisse des  $\text{ReO}_3\text{S}^-$ -Ions: Die Kristallstruktur von Rubidium-monothioperrhenat // Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie. – 1969. – vol. 368. – P. 293–307.
5. Miiller A., Diemann E., Jostes R., Bogge H. Transition metal thiometalates: properties and significance in complex and bioinorganic chemistry // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. – 1981. – vol. 20. – P. 934–955.
6. Weixia T., Denizot B. Synthesis of small-sized rhenium sulfide colloidal nanoparticles // Journal of Colloid and Interface Science. – 2007. – vol. 310. – no. 1. – P. 167–170.

#### ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИЧАСТИЦ В РЕШЕНИЯХ НЕЛОКАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ГРОССА-ПИТАЕВСКОГО

А.Е. Кулагин, А.Ю. Трифонов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: aek8@tpu.ru

#### THE QUASIPARTICLE FORMATION IN SOLUTIONS OF THE NONLOCAL GROSS-PITAEVSKII EQUATION

A.E. Kulagin, A.Yu. Trifonov

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The semiclassical approximation is considered for the two-dimensional nonlocal Gross-Pitaevskii equation. The work is dedicated to the study of the evolution of the initial state, which is the superposition of two wave packets. We interpret the constructed solution as an*



interaction of two quasiparticles in the semiclassical approximation. The equations describing the dynamics of quasiparticles have been obtained.

Двумерное уравнение нелокальное уравнение Гросса-Питаевского

$$\left\{ -i\hbar\partial_t - \frac{\hbar^2}{2m}\Delta + \frac{k_1x^2}{2} + \frac{k_2y^2}{2} + \kappa \int_{\mathbb{R}^2} W(x, x') |\Psi(x', t)|^2 dx' \right\} \Psi(x, t) = 0, \quad (1)$$

где  $W(x, x') = \exp\left[-\frac{(x-x')^2}{\gamma_1^2} - \frac{(y-y')^2}{\gamma_2^2}\right]$ ,  $x = (x, y)$ ,  $\kappa < 0$ , описывает бозе-эйнштейновский конденсат в поле магнитной ловушки. Слагаемое  $k_1x^2/2 + k_2y^2/2$  отвечает потенциалу магнитной ловушки, а  $W(x, x')$  – потенциалу межатомного взаимодействия.

Обозначим  $\alpha^{k,l,m,n}$  центральные моменты волновой функции

$$\alpha^{k,l,m,n}(t)[\Psi] = \frac{1}{\|\Psi\|^2} \int_{\mathbb{R}^2} \Psi^*(x, y, t) \{(\Delta x)^k (\Delta y)^l (\Delta \hat{p}_x)^m (\Delta \hat{p}_y)^n\} \Psi(x, y, t) dx \quad (2)$$

где  $\Delta x = x - X(t)$ ,  $\Delta \hat{p} = \hat{p} - P(t)$ ,  $\hat{p} = -i\hbar\nabla$ , а  $X(t)$  и  $P(t)$  – первые начальные моменты волновой функции. Здесь фигурные скобки обозначают упорядочивание по Вейлю (см., например, [1]). На классе траекторно сосредоточенных функций справедливы оценки:

$$\alpha^{k,l,m,n} = \hat{O}\left(\hbar^{(k+l+m+n)/2}\right), \quad (\Delta \mathbf{x})^v = \hat{O}\left(\hbar^{|v|/2}\right). \quad (2a)$$

Первые начальные моменты определяются стандартным образом и отвечают следующим уравнениям, следующим из (1):

$$\begin{cases} \dot{P}(t) = -K \cdot X(t), \\ \dot{X}(t) = \frac{1}{m} P(t), \end{cases} \quad K = \begin{pmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_2 \end{pmatrix}, \quad \begin{cases} X(t)[\Psi] = (X_x(t), X_y(t)) = \int_{\mathbb{R}^2} \Psi^* x \Psi dx, \\ P(t)[\Psi] = (P_x(t), P_y(t)) = \int_{\mathbb{R}^2} \Psi^* \hat{p} \Psi dx. \end{cases} \quad (3)$$

С учетом оценок (2a) получаем

$$\begin{aligned} & \left\{ -i\hbar\partial_t + \hat{H}_0(t, C) \right\} \Psi(x, t) = O(\hbar^{3/2}), \\ \hat{H}_0(t, C) &= \frac{\langle \Delta \hat{p}, \Delta \hat{p} \rangle + 2\langle P(t), \Delta \hat{p} \rangle + \langle P(t), P(t) \rangle}{2m} + \frac{k_1}{2} (\Delta x^2 + 2X_x(t)\Delta x + X_x^2(t)) + \\ & + \frac{k_2}{2} (\Delta y^2 + 2X_y(t)\Delta y + X_y^2(t)) + \tilde{\kappa} \left( 1 - \frac{1}{\gamma_1^2} \Delta x^2 - \frac{\alpha^{2,0,0,0}(t)}{\gamma_1^2} - \frac{1}{\gamma_2^2} \Delta y^2 - \frac{\alpha^{0,2,0,0}(t)}{\gamma_2^2} \right), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $C = (P_0, X_0, \alpha_0^{2,0}, \alpha_0^{1,1}, \alpha_0^{0,2})$ ,  $\tilde{\kappa} = \kappa \|\Psi\|^2$ .

Здесь вторые моменты волновой функции заменены на решения системы Гамильтона-Эренфеста второго порядка [2] с начальными условиями, определяемыми начальным условием для волновой функции и соотношениями (2), (3). Функция Грина уравнения (4)  $G(x, x', t, s, C)$  находится стандартным способом (см. например [2]). Пусть  $\Psi(x, t)|_{t=0} = \varphi(x)$ . Тогда функция  $\Phi(x, t, C) = \int_{\mathbb{R}^2} \varphi(x') G(x, x', t, 0, C) dx'$ , где  $C = C[\varphi]$ , будет являться асимптотическим решением уравнения (1). Точность этого решения исследовалась в работе [2]. Запишем начальное условие в виде

$$\varphi(x) = \sum_{k=1}^2 \varphi_k(x), \quad \varphi_k(x) = N_k \exp \left\{ -\frac{(x-x_k)^2}{2\sigma_{1,k}^2} - \frac{(y-y_k)^2}{2\sigma_{2,k}^2} \right\}$$

Здесь  $N_k, \sigma_{1,k}, \sigma_{2,k}, x_k, y_k$  – постоянные параметры, причем  $\sigma_{i,k} = O(\sqrt{\hbar})$ ,  $|x_k - x_m| = O(\sqrt{\hbar})$  для  $\forall i, k, m$ . Обозначим

$$\Phi_k(x, t, C[\varphi]) = \int_{\mathbb{R}^2} \varphi_k(x') G(x, x', t, 0, C[\varphi]) dx'. \quad (5)$$

Первые моменты функций (5) удовлетворяют уравнениям

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{P}}[\Phi_k] &= \Gamma \cdot (\mathbf{X}[\Phi_k] - \mathbf{X}(t, C[\varphi])) - K \cdot \mathbf{X}(t, C[\varphi]), \\ \dot{\mathbf{X}}[\Phi_k] &= \frac{1}{m} \mathbf{P}[\Phi_k], \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\Gamma = \text{diag} \left( 2\tilde{\kappa} \frac{1}{\gamma_1^2}; 2\tilde{\kappa} \frac{1}{\gamma_2^2} \right)$ . Обозначим  $\|\varphi_k\|^2 = \mu_k$ ,  $\|\varphi\|^2 = \mu$ . Тогда имеют место соотношения

$$\mu = \sum_{k=1}^2 \mu_k + R_0[\varphi_1, \varphi_2], \quad \mu \mathbf{X}(t, C[\varphi]) = \sum_{k=1}^2 \mu_k \mathbf{X}[\varphi_k] + \mathbf{R}_1[\varphi_1, \varphi_2], \quad \mu \mathbf{P}(t, C[\varphi]) = \sum_{k=1}^2 \mu_k \mathbf{P}[\varphi_k].$$

Если выполнено условие  $\left[ \frac{(x_1 - x_2)^2}{(\sigma_{1,1}^2 + \sigma_{1,2}^2)} + \frac{(y_1 - y_2)^2}{(\sigma_{2,1}^2 + \sigma_{2,2}^2)} \right] \gg 1$ , то функции  $R_0[\varphi_1, \varphi_2]$  и  $\mathbf{R}_1[\varphi_1, \varphi_2]$  малы. Поэтому соотношения (6) будут отвечать уравнению центра масс двух классических частиц. Таким образом, назовем  $\mu_k$  и  $\mu$  массой  $k$ -ой квазичастицы и всей системы соответственно,  $\left(\frac{1}{m}\right) \mathbf{P}[\Phi_k](t, C[\varphi])$  и  $\left(\frac{1}{m}\right) \mathbf{P}(t, C[\varphi])$  скоростью  $k$ -ой квазичастицы и центра масс системы, а  $\mathbf{X}[\Phi_k](t, C[\varphi])$  и  $\mathbf{X}(t, C[\varphi])$  – координатой  $k$ -ой квазичастицы и центра масс системы.

Графики квадрата модуля волновой функции в сечении плоскостью  $y = 0$  в разные моменты времени в системе отсчета, связанной с «центром масс», представлены на рис. 1. Поведение волновой функции отвечает притягивающему взаимодействию квазичастиц, причем при приближении квазичастиц друг к другу наблюдается интерференционная картина.

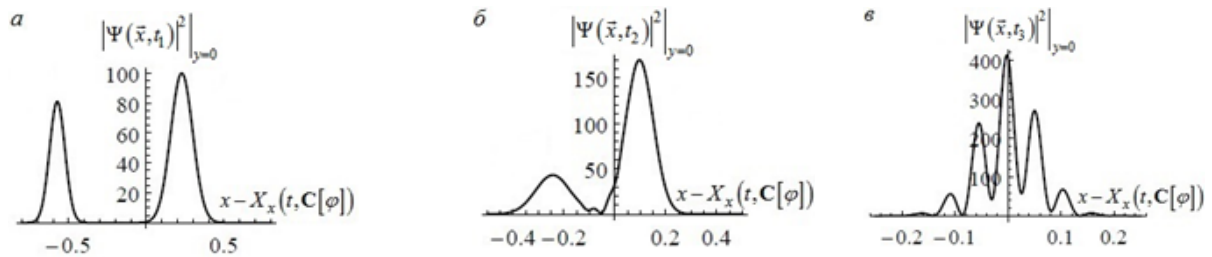


Рис. 1. График  $|\Psi(x, t)|^2$  в сечении  $y = 0$  для  $t_1 = 0$  (а);  $t_2 = 0,8$  (б);  $t_3 = 1,1$  (в)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карасев М.В., Маслов В.П. Нелинейные скобки Пуассона. Геометрия и квантование. – М.: Наука, 1991. – 368 с.
2. Кулагин А.Е., Трифонов А.Ю., Шаповалов А.В. Квазичастицы, описываемые уравнением Гросса-Питаевского в квазиклассическом приближении // Известия ВУЗов. Физика. – 2015. – Т. 58. – № 5. – С. 20–28.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

С.И. Маковой, Б.П. Степанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: sim8@tpu.ru

## ENSURING THE PROTECTION OF FACILITIES FOR USING ATOMIC ENERGY

S.I. Makovei, B.P. Stepanov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** Ensuring the security of atomic energy facilities is the main task. To solve it, a physical protection system (PPS) is used. Designing an effective PPS requires a methodological approach. For this, a balance is found between the objectives of physical protection and the resources available. Basic definitions with regard to the physical protection system: physical protection - activities in the field of the use of atomic energy to prevent theft and sabotage of nuclear materials, nuclear installations and storage facilities; protection system - a set of organizational measures, a complex of engineering and technical means and actions of security units. The efficient functioning of industrial facilities is impossible without ensuring security systems. A security system means a complex of engineering and technical means, organizational measures and personnel that perform tasks to detect and suppress unauthorized deliberate actions of violators in relation to the object in question. At the same time, the engineering and technical means of the security system are combined into a single system in the form of a software product, which allows assessing the security of an object.*

Обеспечение защищенности объектов атомной энергии является главной задачей. Для ее решения используется система физической защиты (СФЗ). Проектирование эффективной СФЗ требует методологического подхода. Для этого находится баланс между целями физической защиты и имеющимися ресурсами. В настоящее время физическая защита (ФЗ) как ЯМ, так и РВ является важной составляющей безопасного развития атомной энергетики. Государства, использующие ЯМ, РВ, а также установки создают национальные системы физической защиты для предотвращения незаконного доступа, захвата и использования ядерных материалов, а также террористических актов в отношении ядерных установок. ФЗ должна обеспечивать своевременное обнаружение и пресечение любых посягательств на целостность и сохранность ЯМ и РВ, своевременное обнаружение и пресечение диверсионных и террористических актов, угрожающих безопасности ЯУ, РИ и ПХ.

Основные определения касаются системы физической защиты: физическая защита – деятельность в области использования атомной энергии для предотвращения хищений и диверсий в отношении ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения; система физической защиты – совокупность организационных мероприятий, комплекса инженерно-технических средств и действий подразделений охраны. Создание СФЗ включает в себя следующие этапы: предпроектная стадия, стадия проектирования, стадия ввода в действие и эксплуатация.

Для моделирования СФЗ на ядерном объекте необходимо рассмотреть план объекта. Итак, на ЯО выделено 5 охраняемых зон, а именно: защищенная зона, в которую входит весь периметр ЯО; две внутренние зоны (производственное здание, хранилище РАО); особо важная зона (здание реактора); зона ограниченного доступа (ЦПУ). В целях ФЗ ЯО на территории размещены: ЦПУ, ЛПУ, караульное помещение, КПП и физические барьеры. Для управления системой физической защиты на ядерном объекте создан центральный пункт управления (ЦПУ) и ЛПУ. На ЯО присутствуют следующие физические барьеры: железобетонное ограждение, металлическое заграждение, боновое заграждение и др. Боновое заграждение представляет собой конфигурацию двойного

плавающего барьера с надземным барьером и подводным. Данное ограждение устанавливается на выходе воды из канала в залив. На ЯО находятся: здание реактора, энергоблок, хранилище свежего топлива, хранилище РАО, здание турбины, дизель-генераторы, насосные помещения, ЛКПП ВЗ, ЛКПП ЗЗ, АКПП, ЖД КПП, ЦПУ, ЛПУ.

Организационные меры СФЗ. На ЯО для обеспечения физической защиты ядерных материалов (ЯМ), ядерных установок (ЯУ) и пунктов хранения ядерных материалов (ПХ ЯМ) создана служба безопасности. Также обеспечивается организация допуска и доступа к ЯМ, на ЯУ, в ПХ ЯМ и к информации о функционировании систем. В том числе на ЯО обеспечивается организация пропускного и внутриобъектового режимов, защита информации об организации и функционировании СФЗ, эксплуатация ИТСФЗ, объектовый контроль состояния ФЗ, анализ уязвимости, оценка эффективности СФЗ и ее совершенствование.

Комплекс инженерных и технических средств. На данном ядерном объекте используются все виды технических средств. А именно: система охранной сигнализации, тревожно-вызывная сигнализация, система контроля и управления доступом, система защиты информации, система опико-электронного наблюдения, система связи и оповещения, система обеспечения электропитания и освещения. В качестве инженерных средств используются строительные конструкции, металлические ограждения, железобетонные ограждения, противотаранные устройства и др.

Действия подразделений охраны. Охрану ЯО осуществляют подразделения войск национальной гвардии, вневедомственной охраны при МВД России или ведомственной охраны Госкорпорации «Росатом» в соответствии с Федеральными законами РФ №27-ФЗ «О внутренних войсках Министерства внутренних дел Российской Федерации», №77-ФЗ «О ведомственной охране» и другими нормативными правовыми актами федерального и ведомственного уровней. Порядок организации охраны определяется документами МВД России, ведомственным документом «Порядок охраны ведомственной охраны Госкорпорации «Росатом», а также актом МК (ВК) по организации охраны и изменениями к ним. Действия подразделений охраны являются составной частью СФЗ. Они направлены на охрану территории предприятия за счет организации пропускного режима и внутриобъектового режима. Пропускной режим – совокупность организационных и технических мероприятий, установленных правил, направленных на недопущение бесконтрольного прохода людей и проезда транспортных средств, а также перемещения предметов, материалов и документов через контрольно-пропускные пункты (посты) в охраняемые зоны, здания, сооружения, помещения и обратно. Внутриобъектовый режим – совокупность комплекса мероприятий, направленных на обеспечение режима секретности в структурных подразделениях, на объектах и в служебных помещениях предприятия. Положение о внутриобъектовом режиме определяет внутренний трудовой распорядок на ядерном объекте, порядок организации работ в охраняемых зонах, зданиях, сооружениях и помещениях, реализации «правила двух лиц», обращения с замками и ключами, обязанности и права должностных лиц по организации и поддержанию внутриобъектового режима, порядок действий персонала ядерного объекта и персонала физической защиты при обнаружении несанкционированных действий, задержании лиц за нарушения требований внутриобъектового режима, порядок административного разбирательства, порядок действий в чрезвычайных ситуациях.

Эффективное функционирование промышленных объектов невозможно без обеспечения систем безопасности. Под системой безопасности подразумевается комплекс инженерно-технических средств, организационных мероприятий и персонала, которые выполняют задачи по обнаружению и пресечению несанкционированных преднамеренных действий нарушителей по отношению к рассматриваемому объекту. При этом, инженерно-технические средства системы безопасности объединены в единую систему, где управление осуществляется операторами системы безопасности.

Также очень важны особенности объекта такие как: оснащенность техническими и инженерными средствами, протяженность объекта, расположение предмета защиты и т.д. В итоге создается единый комплекс системы защиты объекта.

Для того чтобы можно было легко осуществить оценку защищенности объекта был создан программный продукт, в котором инженерные и технические средства объединены в единую систему. Одним из способов оценки эффективности систем безопасности является применение компьютерных методов, где моделируется исследуемый объект и составляющие системы безопасности. Существующие в настоящее время программные продукты и методики не позволяют прорабатывать большое количество предполагаемых маршрутов нарушителя, поэтому в работе была исследована методика применения элементов теории графов при описании территории промышленного объекта и элементов системы безопасности, а также моделирования движения нарушителя в такой системе.

Для отработки алгоритмов поиска пути была разработана программная среда, где моделируется сам промышленный объект – территория, расположение зданий, предмета защиты и т.д., а также система безопасности – элементы инженерных и технических средств.

Территория ядерного объекта и элементы комплекса инженерно-технических средств (КИТСФЗ) представляются в виде взвешенного графа. Таким образом, зная характеристики КИТСФЗ, возможно определить кратчайшее расстояние от одной вершины до другой – критический маршрут нарушителя.

Использование данной программной среды возможно для различных реально существующих ядерных объектов, т.к. возможно изменение, в рамках программы, плана объекта. Таким образом, возможно проведение оценки эффективности системы безопасности с максимального количества сторон.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гарсия М. Проектирование и оценка систем физической защиты. – М: Мир: Издательство АСТ, 2002. – 392с.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-КВАНТОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ГЕРМАНИЕВЫМ ДЕТЕКТОРОМ**

Е.А. Маренкова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: eam33@tpu.ru

#### **RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF GAMMA-RAY REGISTRATION WITH A SEMICONDUCTOR GERMANIUM DETECTOR**

E. Marenkova

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation. The object of the study is the efficiency of detecting gamma rays with a semiconductor detector Canberra GC1518. The purpose of the work is to determine the change in the efficiency of gamma-ray registration by a coaxial germanium Canberra GC1518 detector in time and to develop a methodology for assessing changes in registration efficiency associated with an increase in the thickness of the dead layer of a semiconductor crystal. As a result of the study, a change in the efficiency of detecting gamma rays by a semiconductor detector in the period from 2016 to 2020 was established, a methodology for assessing the effectiveness of detecting gamma rays by a detector was developed.*

На сегодняшний день достаточно широко распространены полупроводниковые детекторы. Однако в ходе эксплуатации наружный слой кристалла изменяется, что оказывает влияние на характеристики самого детектора такие, как эффективность

регистрации гамма-квантов и разрешение детектора. Деграция рабочих характеристик оказывает влияние на качество результатов измерений [1].

О толщине «мертвого» слоя можно судить по степени поглощения гамма-квантов различных энергий кристаллом детектора [2]. Эксперимент содержит две части измерений стандартных образцов, отличающихся живым временем и количеством измерений каждого из образцов, геометриями измерений. Кроме того, вторая часть эксперимента выполнена на детекторе без защиты для исключения влияния рассеяний в материалах детектора. Расстояние между детектором и источников излучения учтено с помощью модели LabSOCS. Исходя из полученных в ходе измерений площадей рассчитаны эффективности регистраций гамма-квантов различных энергий кристаллом детектора. Рассчитанные значения сравнены с теоретической кривой эффективности. За теоретические значения принята кривая калибровки по эффективности, полученная в 2016 году и не учитывающая изменений в кристалле детектора за 4 года. По результатам двух частей эксперимента разработана методика периодической оценки изменения эффективности регистрации гамма-квантов полупроводниковым германиевым детектором, содержащая рекомендуемый список линий гамма-излучений, порядок процедур, исключение грубых ошибок в выборках площадей пиков, определение погрешностей.

Сравнение полученных результатов измерений площадей и активностей с учетом и без учета модели LabSOCS показало завышение результатов в области низких энергий и занижение в области высоких энергий при использовании модели LabSOCS. В работе отмечено, что эффективность регистрации гамма-квантов уменьшилась в период с 2016 года по 2020 год. Изменение неодинаково в рассматриваемом энергетическом диапазоне. Наибольшее уменьшение эффективности регистрации гамма-квантов отмечено для области низких энергий (до 300 кэВ). Теоретическая эффективность регистрации в максимуме составляет порядка 25,5 % в энергии 130 кэВ. Из практически полученных значений наиболее близко расположена точка 131 кэВ с эффективностью  $(23,85 \pm 0,42) \%$ . Таким образом, изменение в максимуме составляет 1,23–2,07 %. Большим изменением характеризуется область энергий до 200 кэВ – 2,09 %, в области более 200 кэВ – 1,4 %.

По результатам эксперимента сделан вывод о необходимости набора хорошей статистики и исключения факторов окружающей среды, влияющих на измерения, для адекватной оценки изменения эффективности регистрации гамма-квантов детектором. Абсолютная погрешность не превышает 0,5 % при наборе не менее  $10^4$  отсчетов в пике полного поглощения независимо от геометрии измерения.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бушуев А.В. Методы измерения ядерных материалов. – М.: МИФИ, 2007. – 276 с.
2. Райлли Д., Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов. – М.: БИНОМ, 2000. – 436 с.

**ПОДДЕРЖАНИЕ ГИБРИДНОЙ УСТАНОВКИ С ТОРИЙ-СОДЕРЖАЩИМ  
ТОПЛИВОМ В ОКОЛОКРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ЗА СЧЁТ  
УПРАВЛЯЕМОГО ИСТОЧНИКА ТЕРМОЯДЕРНЫХ НЕЙТРОНОВ**

С.Д. Полозков, И.В. Шаманин, С.В. Беденко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: sdp2@tpu.ru

**MAINTAINING THE CLOSE-TO-CRITICAL STATE OF THORIUM FUEL  
CORE OF HYBRID REACTOR OPERATED UNDER CONTROL BY D-T  
FUSION NEUTRON FLUX**

S.D. Polozkov, I.V. Shamanin, S.V. Bedenko

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The results of full-scale numerical experiments of a hybrid thorium-containing fuel cell facility operating in a close-to-critical state due to a controlled source of fusion neutrons are discussed in this work. The facility under study was a complex consisting of two blocks. The calculated models of the blanket and the plasma generator of D-T neutrons created within the work allowed for research of the neutronic parameters of the facility in stationary and pulse-periodic operation modes. This research will make it possible to construct a safe facility and investigate the properties of thorium fuel, which can be continuously used in the epithermal spectrum of the considered hybrid fusion–fission reactor.*

В работе излагаются результаты исследования пространственной кинетики нейтронов и тепловыделения в активной зоне гибридной ядерной энергетической установки, в которой внутренняя область этой зоны замещена протяженным источником дополнительных нейтронов [1, 2]. Данная гибридная установка состоит из двух основных блоков. Первый блок – это генератор тепловой энергии, базирующийся на концепции активной зоны многоцелевого высокотемпературного газоохлаждаемого реактора малой мощности, в котором используется ториевое топливо [3, 4]. Активная зона этой реакторной установки представляет собой бланкет, в который загружено торий-содержащее топливо. В данное топливо добавлен в небольшом количестве делящийся изотоп, что обеспечивает протекание цепной реакции деления тяжёлых ядер. Второй блок комплекса представляет собой аксиально симметричный протяжённый плазменный генератор дополнительных нейтронов, размещённый в приосевой области бланкета. Этот источник нейтронов необходим для компенсации эффектов, связанных с выгоранием ядерного топлива, шлакованием и отравлением бланкета во время старта и в ходе длительной эксплуатации установки. В данном плазменном генераторе протекают D-D и D-T термоядерные реакции синтеза, которые сопровождаются выходом высокоэнергичных нейтронов [5–7].

Физика процессов в рассматриваемой нами конфигурации гибридной установки в условиях использования импульсного нейтронного потока, поступающего в бланкет из плазменного источника нейтронов, принципиально отличается от физики процессов в подкритической реакторной установке, управляемой квазистационарным потоком дополнительных нейтронов, который характерен в случае его генерации с помощью пучка ядер высоких энергий [8–13]. В случае предлагаемого нами варианта возникает необходимость исследовать процесс распространения «волны» делений и, соответственно, формирование распределения энергосвыделения в бланкете установки во время ее старта и в ходе её длительной эксплуатации. Таким образом, проектированию такой реакторной установки, должен предшествовать этап численного компьютерного моделирования работы составляющих её частей, а также этап моделирования протекающих в них нейтронно-физических процессов. Существующие на сегодняшний день методики расчета физики подкритических систем основаны на модификации

методов, разработанных ранее для расчета традиционных реакторов деления. В то же время, особенность конструкции blankets [1, 2], дисперсная гетерогенная структура топливной компоненты [3], специфическая конструкция пространственно-распределенного источника нейтронов [6] и режим его работы, требуют дополнительного использования целого комплекса расчетных программных кодов.

Результаты данной работы должны позволить перейти к проектированию реально-действующей конструкции гибридной ториевой реакторной установки с протяженным источником дополнительных нейтронов, способной работать безопасно в длительном рабочем цикле.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arzhannikov A.V., Shmakov V.M., Modestov D.G., et al. Facility to study neutronic properties of a hybrid thorium reactor with a source of thermonuclear neutrons based on a magnetic trap // Nucl. Eng. Tech. – 2020. –no.52(11). – P. 2460–2470.
2. Arzhannikov A., Bedenko S., Shmakov V., et al. Gas-cooled thorium reactor at various fuel loadings and its modification by a plasma source of extra neutrons // Nucl. Sci. Tech. – 2019. –no. 30(181). – P. 1–11
3. Shamanin I.V., Grachev V.M., Chertkov Yu.B., et al. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel // Ann. Nucl. Energy. – 2018. –no.113. – P. 286–293.
4. Шаманин И.В., Беденко С.В., Чертков Ю.Б., и др. Газоохлаждаемый ядерный реактор с ториевым топливом на основе топливного блока унифицированной конструкции // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2015. –№. 3. – С. 124–134.
5. Gas-Dynamic Multiple-Mirror Trap, Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://inp.nsk.su> (дата обращения 20.08.2020).
6. Beklemishev A., Anikeev A., Astrelin V., et al. Novosibirsk Project of Gas-Dynamic Multiple-Mirror Trap // Fusion Sci. Technol. – 2013. –no. 63. – P. 46–51.
7. Anikeev A.V., Bagryansky P.A., Beklemishev A.D., et al. The GDT Experiment: Status and Recent Progress in Plasma Parameters // Fusion Sci. Technol. – 2015. –no.68(1). – P. 1–7.
8. Gandini A., Salvatores M. The Physics of Subcritical Multiplying Systems // Journal of Nuclear Science and Technology. – 2002. –no.39(6). – P. 673–686.
9. Shiroya S., Yamamoto A., Shina K., et al. Basic study on neutronics of future neutron source based on accelerator driven subcritical reactor concept in Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI) // Prog. Nucl. Energy. – 2002. –no. 40(3-4). – P. 489–496.
10. Knastera J., Arbeiter F., Carac P., et al. IFMIF, the European-Japanese efforts under the Broader Approach agreement towards a Li(d,xn) neutron source: Current status and future options // Nucl. Materials Energ. – 2016. –no.9. – P. 46–54.
11. Wu Y. Design and R&D Progress of China Lead-Based Reactor for ADS Research Facility // Engineering. – 2016. –no.2(1). – P. 124–131.
12. Abderrahim H.A., Baeten P., Bruyn D.D., Fernandez R. MYRRHA – A multi-purpose fast spectrum research reactor // Energy Conversion and Management. – 2012. –no.63. – P. 4–10.
13. Yang L., Zhan W. A New concept for ADS spallation target: Gravity-driven dense granular flow target. // Sci. China Technol. Sci.– 2015.–vol. 58. – Pp. 1705–1711.



## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ВОДОРОДА В АЛЬФА-ЦИРКОНИИ

Л.А. Святкин, И.П. Чернов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: svyatkin@tpu.ru

## TEMPERATURE DEPENDENCE OF HYDROGEN DIFFUSION COEFFICIENT IN ALPHA-ZIRCONIUM

L.A. Svyatkin, I.P. Chernov

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** A scheme is proposed for calculating the diffusion coefficient, taking into account the contribution of all possible migration paths. The temperature dependence of the diffusion coefficients of hydrogen along the hexagonal axis ( $D_z$ ) and in the basal plane ( $D_{xy}$ ) of the zirconium lattice is calculated. It has been found that an increase in temperature leads to a decrease in the  $D_z/D_{xy}$  ratio of the coefficients.

### Введение.

Сплавы циркония используются в качестве конструкционных материалов оболочек теплоделяющих элементов водо-водяных ядерных реакторов на тепловых нейтронах. В процессе эксплуатации они подвергаются воздействию со стороны водорода. Знания особенностей процессов диффузии водорода в цирконии при концентрациях водорода близких к его максимальному пределу растворимости (~ 6 ат.%) являются фундаментом для изучения формирования стабильных и метастабильных гидридных фаз. В ГПУ решетке  $\alpha$ -Zr можно выделить несколько неэквивалентных друг другу направлений диффузионных скачков атомов водорода [1], и, хотя определяющую роль в скорости миграции водорода играют низкоэнергетические барьеры, с ростом температуры в процесс диффузии будут «включаться» и высокоэнергетические диффузионные скачки. Целью настоящей работы является разработка схемы расчета температурной зависимости коэффициентов диффузии водорода в ГПУ решетке циркония с учетом вклада всех диффузионных барьеров при концентрациях водорода ~ 6 ат.%.

### Метод и детали расчета.

Самосогласование полной энергии кристалла выполнялось в рамках теории функционала электронной плотности полнопотенциальным методом линейаризованных присоединенных плоских волн, реализованном в пакете программ FLEUR [2]. Детали и параметры расчета представлены в работе [1]. Согласно теории переходного состояния, учитывая, что масса водорода много меньше массы циркония, и энергия нулевых колебаний атома водорода в междоузлиях решетки циркония сопоставима с энергией тепловых колебаний в диапазоне температур 300–800 К, коэффициент диффузии водорода в решетке циркония может быть выражен через температуру  $T$  как

$$D = \frac{n}{6} d^2 \frac{k_B T}{h} \exp\left(-\frac{E_a - \frac{h\nu}{2}}{k_B T}\right), \quad (1)$$

где  $E_a$  – высота диффузионного барьера;  $k_B$  – постоянная Больцмана;  $n$  – количество возможных однотипных переходов из рассматриваемого междоузлия;  $d$  – длина диффузионного скачка;  $\nu$  – частота нулевых колебаний атома водорода в междоузлии. Параметры диффузионных скачков, используемые в настоящей работе для вычисления коэффициентов диффузии, представлены в работе [1].

В работе показано, что в случае, когда диффузионные скачки осуществляются из одного междоузлия в другое посредством двух диффузионных скачков, осуществляемых параллельно друг другу, то суммарный коэффициент диффузии определяется как сумма коэффициентов диффузии для каждого такого скачка. Если диффузионные скачки

осуществляются посредством двух последовательно идущих диффузионных скачков, то суммарный коэффициент диффузии обратен сумме величин обратных коэффициентам диффузии для каждого скачка. Для оценки суммарного коэффициента диффузии в качестве элементарного перемещения атома водорода в решетке циркония рассмотрено перемещение на величину постоянной решетки.

### Результаты и обсуждение.

Результаты расчетов температурной зависимости коэффициента диффузии водорода в  $\alpha$ -фазе циркония представлены на рис. 1а. Рассчитанные зависимости коэффициентов диффузии водорода вдоль гексагональной оси ( $D_z$ ) и в базальной плоскости ( $D_{xy}$ ) ГПУ решетки циркония хорошо согласуются с результатами экспериментов [3, 4] в диапазоне температур 530–670 К. Расхождения при высоких температурах объясняются тем, что в наших расчетах не учитывались тепловое расширение решетки и смещения атомов циркония в процессе диффузионного скачка атома водорода. На рис. 1б представлена зависимость отношения  $D_z/D_{xy}$ . Видно, что с ростом температуры это отношение уменьшается, что обусловлено ростом вклада в скорость диффузии водорода высокоэнергетических барьеров в базальной плоскости при повышении температуры.

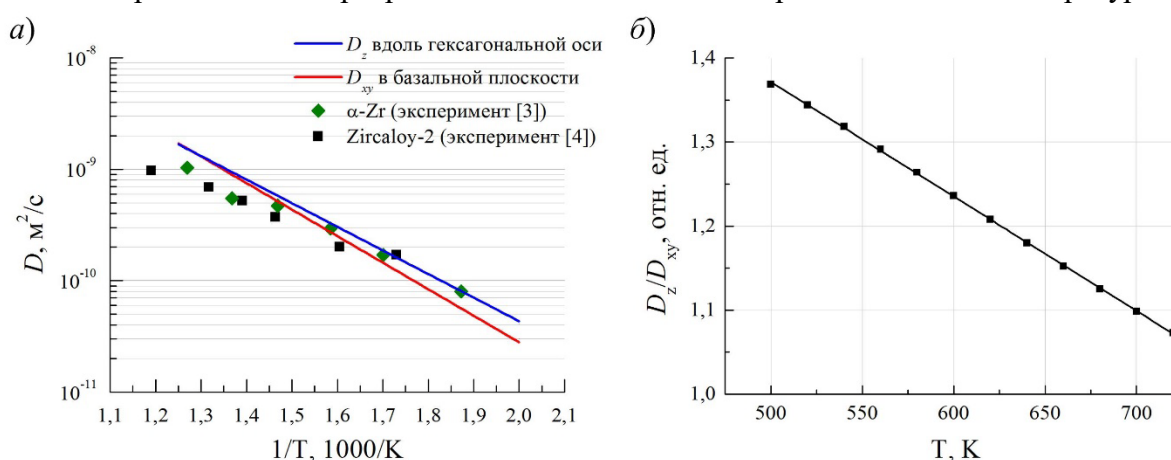


Рис. 1. Зависимости коэффициента диффузии (а) и отношения коэффициентов диффузии вдоль гексагональной оси и в базальной плоскости (б) от температуры

### Заключение.

В работе предложена схема расчета коэффициентов диффузии водорода в ГПУ решетке циркония. По предложенной схеме рассчитана из первых принципов температурная зависимость коэффициентов диффузии водорода вдоль гексагональной оси и в базальной плоскости ГПУ решетки циркония при концентрациях водорода  $\sim 6$  ат.%. Результаты расчетов хорошо согласуются с результатами экспериментов в диапазоне температур 530–670 К.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Svyatkin L.A., Koroteev Yu.M., Chernov I.P. First principle calculations of diffusion barriers for hydrogen in  $\alpha$ -zirconium // Advanced Materials Research. – 2015. – vol. 1084. – P. 133–137.
2. Welcome – FLEUR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.flapw.de/MaX-4.0/> (дата обращения 25.05.20).
3. Gulbransen E.A., Andrew J. Diffusion of hydrogen and deuterium in high purity zirconium // Journal of The Electrochemical Society. – 1954. – vol. 101. – P. 560–566.
4. Mallet M.W., Albrecht W.M. Low-pressure solubility and diffusion of hydrogen in zirconium // Journal of the Electrochemical Society. – 1957. – vol. 104. – P. 142–146.

## КРИТЕРИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЛИЧНОГО БРЕНДА: РОЛЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ФАКТОРА

И.Б. Ардашкин, М.А. Халдеева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: khaldeeva.marina2015@yandex.ru

## CRITERIA TO BUILD A PERSONAL BRAND: THE ROLE OF EDUCATIONAL FACTOR

I.B. Ardashkin, M.A. Khaldeeva

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** Despite the fact that many researchers study the concept of a personal brand, there is very little empirical literature on the study of parameters of a personal brand. Moreover, there are also few national educational practices on this issue. The authors put forward the idea that the elements of an authentic brand are the same for everyone, but individual personal brand is unique. In addition, the authors state that the national education system pays insufficient attention to this issue in the era of digitalization.*

Целью данной статьи является концептуальный анализ теорий личного бренда (далее ЛБ), его критериев, оценки роли образования по отношению к данному феномену.

С помощью ЛБ как инструмента человек способен создать образ того, кем он хочет быть. Профессионалы и специалисты в разных областях используют этот способ для того, чтобы подчеркнуть свое конкурентное преимущество и привлечь необходимые контакты, контракты, клиентов, работодателей, источники финансирования и прочее. Это касается и роли образования как одного из важных факторов становления человека как личности и профессионала.

Можно обозначить два ключевых критерия, характеризующих личный бренд.

*Личная идентичность.* Самым фундаментальным из всех типов идентичности (кроме пола) является индивидуальная идентичность, которая рассматривается еще в работах Платона сквозь призму образовательной программы последнего и может быть описана с помощью теории социальной идентичности [1].

Сегодня теория социальной идентичности связывается с сетевой социальной средой (межгрупповым взаимодействием). В современной среде примерами могут служить онлайн чаты или комьюнити, страницы Facebook и Instagram, блоги, где люди используют свою идентичность, чтобы стать частью более широкого сообщества. Это приводит к ситуации «мы» и «они», описанной в Теории социальной идентичности. Можно сделать вывод, о том, что теория социальной идентичности составляет основу формирования личного бренда.

*Индивидуальный образ.* У людей есть множество устойчивых представлений о себе, которые отражают, как они видят себя с точки зрения того, что они из себя представляют, какова их личность, их черты, навыки, достоинства и недостатки, привычки и модели поведения.

Люди оценивают других людей мгновенно и спонтанно, и это часто происходит в результате субъективной оценки доступной информации о том или ином человеке. Результат этих оценок в значительной степени определяет ожидания людей и их социальное поведение по отношению к другим. Кроме того, успешный личный бренд дает возможность управлять и контролировать восприятия, которые используются для оценки человека, влияя на то, как другие люди видят, понимают и думают о человеке.

Внешний вид человека также влияет на его личный бренд и, в значительной степени, на его индивидуальность. Консультанты по имиджу, особенно в корпоративном мире, работают в тесном контакте с руководством организаций, чтобы обеспечить наиболее привлекательный имидж персонала на рабочем месте.

В литературе существует ряд мнений о точных критериях, необходимых для создания личного бренда. Эти критерии определялись различными авторами, но в большинстве своем они отражали лишь внешние факторы того, как должен создаваться личный бренд, а не то, что требуется человеку для построения ЛБ. Х. Рамперсадом [2] были предложены критерии, дающие полезную основу для персонального брендинга. Эта основа впервые была эмпирически проверена в исследовании, проведенном А. Потгитер, М. Дубель и Х. Клоппером [3].

Можно говорить и о других критериях ЛБ, но формат тезисов не очень этому способствует, поэтому ограничимся двумя названными для иллюстрации актуальности поставленной проблемы.

Формирование ЛБ – важнейшая образовательная задача. Несмотря на то, что во многих вузах РФ есть много инструментов (портфолио, индивидуальная траектория и т.д.), все же данные технологии носят пассивный характер (когда человек должен сначала добиться каких-то успехов, а лишь потом эти результаты начинают влиять на личную идентичность и индивидуальный образ). Если бы образовательная практика учитывала намерения человека, его готовность выстроить модель саморазвития, то его ЛБ выражался более целеполагающим образом.

Иными словами, авторы полагают, что вопрос формирования личного бренда не сможет эффективно решаться, если в рамках образовательной модели ему не будет уделяться достаточно места.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Tajfel H., Turner, J.C. The social identity theory of intergroup behavior. – Washington: American Psychological Association, 2004. – 132 p.
2. Rampersad, H. K. Authentic personal branding. – Bryanston: Knowres Publishers, 2009. – 212 p.
3. Potgieter A., Double M., Klopper H. Personal branding empirical testing of the criteria for an authentic personal brand // Enterprise Marketing and Globalization (EMG): proceedings of the Annual International Conference – 2017. – P. 2–11

### **СМЕНА ПАРАДИГМЫ: ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ К СМАРТ ОБРАЗОВАНИЮ**

М.В. Нетесова, И.Б. Ардашкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: Netesova@tpu.ru

### **PARADIGM SHIFT: FROM THE CLASSICAL MODEL OF EDUCATION TO SMART EDUCATION**

M.V. Netesova, I.B. Ardashkin

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* As smart technologies become more versatile and ubiquitous in society, researchers' attention is focused on the use of these technologies in education. Smart technologies and online learning environments are becoming a part of the best practices of learning and teaching around the world. They have already entered everyday life and are perceived as an integral part of modern education. In this situation, the question arises: can we talk about a paradigm shift in education and the transition from the classical model of education and training to smart education?

Что есть смарт образование? Существует несколько трактовок данного феномена. Например, австралийский ученый Мэтью Кени определяет смарт образование как сочетание технических разработок, таких как повсеместные персональные устройства, доступные цифровые медиа, облачные хранилища, в сочетании с мощью социальных

сетей и социальных медиа. Так же он предлагает характеристики, присущие смарт – образованию, среди которых: адаптивность и отзывчивость методов обучения к меняющимся условиям, личностно – ориентированный характер обучения, интерактивность, высокая персонализированность, динамичность, социальность [1].

По мнению российского ученого, профессора В. Тихомирова, смарт образование – «это объединение учебных заведений и профессорско-преподавательского состава для осуществления совместной образовательной деятельности в сети Интернет на базе общих стандартов, соглашений и технологий. То есть речь идет о совместном создании и использовании контента, о совместном обучении» [2]. Индивидуализация обучения является основополагающей в концепции смарт образования. Индивидуализация достигается «за счет создания преподавателем контента, нацеленного на конкретного слушателя». Таким образом, новое содержание образования позволяет приобретать будущим инженерам навыки и знания соответственно предполагаемой компетентностной модели. Преподаватель получает свободу в разработке индивидуального подхода в обучении к каждому студенту. Более того, свобода преподавателя обусловлена доступом к информации со всего мира, смарт образование носит гибкий характер в интерактивной образовательной среде. Широкая доступность знаний становится ключевым моментом в смарт образовании.

Традиционное образование не исчезло, никто не отменил книги в бумажной версии, библиотеки, доску и даже, иногда мел, в аудитории. Классическая модель образования с пассивной передачей знаний от преподавателя к студенту существует параллельно с инновациями. Однако эта модель не подразумевает широкого использования смарт технологий, которые, в свою очередь, от посреднических переходят в доминирующие. Новое смарт образование, которое широко опирается на возможности смарт технологий, потенциально способно разрушить представления о целесообразности классического образования [3].

С появлением и применением мобильных технологий произошел парадигматический сдвиг в подходах к обучению. Парадигма смарт образования опирается на гибкие, мобильные устройства, которые принадлежат человеку. Перспектива смарт образования здесь заключается в том, что оно возвращает обучающемуся контроль над процессом обучения независимо от контекста, в котором он учится. Это повышает независимость будущих инженеров и позволяет им чувствовать себя более уполномоченными. Смарт образование предполагает, что обучающийся находится в центре своего обучения: преподаватели, сверстники, технологии и учебная среда, по сути, являются вспомогательными актерами и реквизитом для этой цели [4]. Сегодня с уверенностью можно сказать, что смарт – технологии могут быть весьма эффективным инструментом, помогающим снизить рабочую нагрузку, повысить эффективность, привлечь студентов и сообщества, а также обеспечить инструменты для поддержки отличного преподавания и повышения успеваемости студентов. ВУЗы используют технологии с определенной целью: стимулировать вовлечение будущих инженеров и их достижения в эффективную рабочую среду.

Можно ли назвать смарт образование новой парадигмой? Принимая во внимание тот факт, что «активное использование интеллектуальных технологий не приводит к изменению цели образования», сегодня можно констатировать, что смарт образование «нельзя однозначно признать новой образовательной парадигмой» [5, 6]. Однако нельзя исключить смену парадигм в будущем.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Kearney M., Burden K., Schuck S. Disrupting Education Using Smart Mobile Pedagogies. In: Daniela L. (eds) Didactics of Smart Pedagogy. – Germany: Springer, 2019. doi:10.1007/978-3-030-01551-0\_7
2. Тихомиров В. П. Мир на пути smart education. Новые возможности для развития // Открытое образование. – 2011. – № 3.– С. 22–28.

3. Realising the potential of technology in education: A strategy for education providers and the technology industry. [Электронный режим]. – Режим доступа: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/791931/DfE-Education\\_Technology\\_Strategy.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/791931/DfE-Education_Technology_Strategy.pdf) (дата обращения: 05.10.2020).
4. Middleton, A. Smart learning: Teaching and learning with smartphones and tablets in post compulsory education. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.academia.edu/12512765/Smart\\_learning\\_teaching\\_and\\_learning\\_with\\_smart\\_phones\\_and\\_tablets\\_in\\_post\\_compulsory\\_education](https://www.academia.edu/12512765/Smart_learning_teaching_and_learning_with_smart_phones_and_tablets_in_post_compulsory_education) (дата обращения: 15.10.2020).
5. Ардашкин И.Б. Смарт-образование как новая парадигма образования: pro et contra // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. – 2020. – № 54.– С. 51–61.
6. Ардашкин И.Б. Смарт-образование как новая парадигма образования: pro et contra = Smart education as a new education paradigm: pro et contra / И. Б. Ардашкин, М. В. Нетесова // Современные технологии, экономика и образование сборник трудов Всероссийской научно-методической конференции. – Томск, 2019. – С. 103–104.

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ

И.А. Гиберт

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: work.gibert@gmail.com

### AUTOMATION OF STUDENTS PSYCHOLOGICAL COMPETENCIES LEVEL ASSESSMENT

I.A. Gibert

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This article describes the automation of the level measurement process of psychological competencies of students and the development of information system to achieve this goal.*

#### **Введение.**

В настоящее время важной составляющей процесса обучения является психологический портрет студента, который меняется на протяжении всего времени обучения. Для повышения качества обучения и, как результат, повышения успеваемости студентов необходимо анализировать динамику изменения психологического портрета с целью выявления возможных комплексов мер, позволяющих используя индивидуальный подход оказывать положительное влияние на учебный процесс.

Для составления данного портрета был выбран следующий набор психологических тестов (НПТ):

- Тест на эмоциональный интеллект [1].
- Тест мотивационного профиля личности [2].
- Тест жизнестойкости [3].
- Тест на определение профессионально ориентированного типа личности [4].
- Тест для определения ролей членов команды [5].
- Большая пятерка личностных качеств [4].

Данный набор тестов проводился вручную с фиксированной периодичностью, необходимой для поддержания актуальности психологического портрета.

Таким образом, цель работы заключалась в автоматизации процесса психологического тестирования с целью формирования и поддержания актуальности

психологического портрета студента для повышения эффективности и качества учебного процесса.

### **Результаты.**

Для автоматизации процесса психологического тестирования была разработана информационная система, предоставляющая следующие функциональные возможности:

- Авторизация студентов в системе;
- Отображение интерфейсов с анкетами для каждого теста из указанного НПТ;
- Валидация ответов тестируемого перед сохранением и подтверждением успешного прохождения;
- Сохранение результатов тестирования в необработанном виде;
- Сохранение сессии с целью улучшения удобства эксплуатации системы пользователем;
- Извлечение сохраненных результатов тестирования и трансформация в форму, оптимизированную для дальнейшей обработки и интерпретации.

При проектировании системы было предусмотрено потенциально возможное масштабирование системы. Были реализованы следующие базовые механизмы:

- Таблица с метаданными тестов, позволяющая динамически создавать и использовать тесты с необходимыми блоками, используя рефлекссию (Java Reflection API).
- Шаблоны типовых блоков вопросов и наборов вариантов ответов с возможностью гибкой настройки.
- Банк вопросов и ответов.
- Типизация тестов.
- Автоматическое ведение исторических данных с архивацией.
- Генерация типовых интерфейсов для основных типов тестов.

Данные механизмы позволят оптимизировать трудозатраты при масштабировании и были учтены при разработке пользовательских интерфейсов, серверного программного кода и базы данных.

Автоматизация процесса развертывания была достигнута путем создания Docker-образа и разработки скриптов для отслеживания появления новых версий с последующей их установкой.

Разработка данной системы позволила решить следующие проблемы:

- Отсутствие централизованного тестирования по вышеописанному набору тестов.
- Ручной сбор и обработка результатов тестирования.
- Предоставление результатов тестирования студентам в ручном режиме.
- Риск потери результатов и необходимости повторного тестирования.
- Вероятность случайной ошибки при ручной обработке результатов.

### **Тестирование.**

Было проведено тестирование на 2 группах студентов из 25 и 30 студентов, соответственно. Каждый из студентов прошёл все 6 тестов, необходимых для построения психологического портрета студента. Ошибок в работе программы не выявлено.

### **Заключение.**

В результате проведенного исследования были изучены методики психологического тестирования: «Тест на эмоциональный интеллект», «Тест мотивационного профиля личности», «Тест жизнестойкости», «Тест на определение профессионально ориентированного типа личности», «Тест для определения ролей членов команды», «Большая пятерка личностных качеств». Разработана информационная система, автоматизирующая тестирование указанными методиками, что позволило повысить надежность сбора и хранения результатов, уменьшить трудозатраты и повысить

скорость выполнения данного процесса, а также сделать процесс более комфортным для пользователя (студента).

Планируется продолжать развитие системы добавлением функционала интерпретации результатов для оставшихся тестов и разработкой специализированных аналитических средств. Аналитические средства планируются к реализации с учётом возможностей как анализа отдельного психологического портрета конкретного студента, так и комплексного анализа заданного набора психологических портретов.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Тест на эмоциональный интеллект (Тест EQ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://psycabi.net/testy/21-emotsionalnyj-intellekt-eq> (дата обращения 15.10.2020).
2. Тест «Мотивационный профиль» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nlplife.ru/articles/test/test-motivacionnyj-profil> (дата обращения 15.10.2020).
3. Тест жизнестойкости (С.Мадди в адаптации Д.Леонтьева) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dip-psi.ru/psikhologicheskiye-testy/post/test-zhiznestoykosti-s-maddi-v-adaptatsii-d-leontyeva> (дата обращения 15.10.2020).
4. Диагностика профессионального самоопределения: учеб.-метод. пособие / сост. Я.С. Сунцова. – Ижевск: дмуртский университет, 2009. – 112 с.
5. Ключи к тесту «Командные роли. Классификация ролей в группе» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mguu.ru/services/consulting/tests/keys/> (дата обращения 15.10.2020).

### **ДИДАКТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОЕКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ**

И.С. Астафьева

Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета  
E-mail: ricoakai@gmail.com

### **DIDACTIC POTENTIAL OF PROJECT TECHNOLOGIES FOR DEVELOPING PROFESSIONAL COMPETENCIES IN ENGINEERING EDUCATION**

I.S. Astafeva

Novokuznetsk Branch Kemerovo State University

***Annotation.** The aim of the article is studying such modern educational technologies in engineering education as project technologies and describing their specific characteristics for developing students' professional competencies. The author identifies didactic potential of this group of technologies and educational arrangements of their realization.*

Современные технические вузы представляют собой организации, которые, будучи элементами системы образования, в том числе инженерного образования, имеют четкую структуру и иерархию. В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлениям подготовки технические вузы ставят перед собой определенные образовательные цели, в качестве которых выступают общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, формируемые на протяжении всего периода обучения в вузе.

Под профессиональной компетенцией (ПК) понимается способность и готовность будущего специалиста осуществлять профессионально значимые действия на основе приобретенного интегрированного сочетания ЗНУ, целесообразно действовать в конкретной ситуации, методически организовано и самостоятельно решать стандартные и нестандартные профессиональные задачи и проблемы, осуществлять



профессиональные функции в различных условиях и самостоятельно оценивать результаты собственной деятельности [3,4,6]. Формирование ПК происходит с привлечением различных активных технологий, к которым относится группа проектных технологий, обладающих значительным дидактическим потенциалом.

При реализации проектных технологий на занятиях решаемая студентами задача должна носить профессиональный характер и предполагать применение полученных ранее профессиональных знаний и умений. В ходе решения учебных задач бакалавры проходят этапы исследовательской деятельности, умения которой отражены в ПК ФГОС ВО по направлениям подготовки и необходимы для осуществления аналогичной исследовательской работы в будущей профессиональной деятельности студентов (выбор темы, определение объекта и предмета исследования, определение целей и задач, разработка гипотезы и плана исследования и т.д.) [2,5].

Обязательным условием применения проектных технологий является практическая значимость предполагаемых результатов проектной работы, чему способствует реализация практико-ориентированных проектов. Предполагается, что преподаватель и студенты смогут использовать полученный «продукт» в последующей образовательной и/или профессиональной деятельности, что становится дополнительной мотивацией как к освоению учебной дисциплины, в рамках которой происходит реализация проекта, так и осуществлению будущей профессиональной деятельности бакалаврами и их профессиональному росту, отраженным в ПК ФГОС ВО [1, 2, 5].

Благодаря плану исследования, разработанному студентами совместно с преподавателем, а также серии проектных заданий, преподаватель имеет возможность организовать и проконтролировать самостоятельную работу обучающихся [2, 5]. Данная ситуация становится возможной благодаря алгоритмизации учебного процесса посредством проектных технологий. При этом студенты имеют возможность проявить такие качества, как инициативность и ответственность за результаты своей деятельности, а преподаватель может оценить способности обучающихся сотрудничать друг с другом, уважать мнение окружающих, а также осуществлять анализ и самоанализ деятельности.

Подводя итог вышеизложенному, можно говорить о том, что использование проектных технологий для формирования ПК в сфере инженерного образования целесообразно в связи с тем, что реализация данной группы технологий позволяет, с одной стороны, создать ситуации для применения полученных обучающимися профессиональных знаний и умений, входящих в состав ПК ФГОС ВО, а с другой стороны, дать студентам представление об их будущей профессиональной деятельности. Помимо этого, применение проектных технологий позволяет алгоритмизировать самостоятельную работу студентов и способствует формированию у них мотивации к осуществлению профессиональной деятельности.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Анохина Л.В. Проектные технологии в реализации практико-ориентированного подхода к обучению в вузе // *Современные тенденции развития науки и технологий*. – 2015. – № 7-9. – С. 61–63.
2. Астафьева И.С. Метод проектов в формировании методической компетенции будущих учителей иностранных языков // *Педагогический журнал Башкортостана*. – 2017. – № 1 (68). – С. 75–79.
3. Комендровская Ю.Г. К вопросу о профессиональной компетентности переводчика-референта // *Высшее образование сегодня*. – 2010. – № 5. – С. 38–43.
4. Маковская Э.Н. Формирование педагогической основы профессиональной компетенции студентов в процессе профессиональной подготовки в вузе // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2015. – № 12-4. – С. 118–121.

5. Прохорец Е.К. Проектно-ориентированное обучение иностранному языку в техническом вузе: учебное пособие. Часть 1 / Е.К. Прохорец, И.В. Слесаренко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 121 с.
6. Слесаренко И.В. Формирование профессионально ориентированной иноязычной компетенции выпускника вуза в рамках компетентностного подхода // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2013. – № 2 (20). – С. 182–186.

## РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ДЕТСКОЙ ЦИФРОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Э.И. Бейшенбаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: eib16@tpu.ru

## DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL MOBILE APPLICATION FOR PREVENTION OF CHILDREN'S DIGITAL ADDICTION

E.I. Beishenbaev

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The work is devoted to the creation of an educational mobile application for prevention of children's digital addiction capable of interrupting a child while using the phone and showing educational videos with reinforcement tests. Within the framework of the topic, the problem of children's digital addiction was analyzed, its consequences and methods of prevention were identified.*

С развитием цифровых технологий и носимых гаджетов наблюдается рост актуальности проблемы детской цифровой зависимости, связанная с чрезмерным времяпрепровождением детей в телефоне. Современная молодежь уже не представляет свою жизнь без смартфонов. Согласно исследованиям Американской академии педиатрии, дети стали в среднем проводить перед экраном около семи часов в день [1]. Начиная с двухлетнего возраста младенцы ежедневно пользуются гаджетами. Около 75% всех подростков владеют собственным телефоном с доступом в интернет, а четверть из них подтвердили, что постоянно пребывают в сети онлайн.

Данная проблема наблюдается повсеместно. В России, по данным исследования Института Современных Медиа (MOMRI), дети уже к десятилетнему возрасту имеют смартфоны. У взрослых уже не встает вопрос запрещать школьникам использовать цифровые устройства – только научить ими пользоваться [2].

В контексте данной темы под «цифровой зависимостью» будем подразумевать навязчивое стремление использовать цифровое устройство с выходом в Интернет и избыточное пользование им, проведение большого количества времени в сети.

Любая проблема приводит к негативным последствиям. Что касается детской цифровой зависимости, она может вызывать [3–7]:

- зависимость сродни наркотической;
- нарушения функций мозга, связанных с запоминанием деталей, вниманием, планированием задач и расстановкой приоритетов;
- повышение риска появления онкологических заболеваний;
- ухудшение зрения;
- заболевания позвоночника и суставов, сердечно-сосудистые патологии;
- утрачивание навыков социального взаимодействия, возникновение стресса в незнакомой ситуации и замыкание в себе;
- депрессию;
- бессонницу;

- риск нарушения психики ребенка;
- трудности в обучении.

Что касается профилактики детской цифровой зависимости, мнение специалистов поделилось на два лагеря: те, кто считает, что нужно изолировать ребенка от телефона до достижения определенного возраста (к примеру, до 10 лет); и те, кто считает, что ребенку нужно позволять пользоваться телефоном, но с установкой ограничений. Второе утверждение высказывает большее количество экспертов. Гаджеты необходимая часть современной жизни. Мы можем утверждать, что сегодня общение во дворе перенеслось в социальные сети. Большая часть социализации современных детей и подростков происходит посредством интернета.

Идея разработки мобильного приложения состоит в том, чтобы разбавить времяпрепровождение в телефоне образовательным полезным контентом. На данный момент бороться с детской зависимостью от мобильных устройств, если не совсем бессмысленно, то очень сложно, поэтому предлагается извлечь пользу из этой зависимости.

Целью работы является сделать процесс использования смартфонов полезным для детей в возрасте от 6 до 14 лет, путем создания приложения способного прерывать бесцельный «сёрфинг» детей в телефоне и показывать образовательные видеоролики с закрепляющими тестами.

В то время, когда ребенок играет в игры, смотрит видео или сидит в социальных сетях, выскакивает короткое анимационное видео (10–30 секунд) образовательного характера, а после него предлагается ответить на вопрос с вариантами ответов. Чтобы продолжить играть, ребенку придётся досмотреть видео до конца и правильно ответить на вопрос. Тематики видео могут относиться к различным сферам (математика, естественные науки, русский и английский языки, экономика и т.д.).

С технической точки зрения приложение никогда не закрывается, и всегда работает в фоновом режиме. Для того чтобы показать видео, оно перемещается с фона на передний план. Таким образом, если ребенок играет в игру и в этот момент приходит время для показа нового видео, приложение становится активным, а все остальные открытые приложения переходят в фоновый режим. При прерывании, ребенок может проигнорировать видео, нажав на кнопку «пропустить», и вернуться к игре. Однако, через 15 секунд он снова будет прерван. Видео нельзя будет пропустить больше 3 раз. Это относится к любому приложению, включая родные функции самого телефона, за исключением функции «звонок» и «разговор во время звонка».

Видеоролики будут представлять собой короткие 10–30 секундные анимационные мультфильмы, каждый из которых будет раскрывать небольшую определенную тему. К примеру, для предмета «математика» первые видеоролики начнут объяснять ее суть, значение и применение в реальной жизни. Дальше пойдут видеоролики с объяснения более общих тем, разделов и их взаимосвязей до более определенных, к примеру, объяснение смысла формулы или теоремы. После каждого видеоролика ребенку будет предложено ответить на вопрос, связанный с темой видеоролика. Вопрос предназначен для контроля и закрепления полученных знаний. Ребенку будет предоставлено 4 варианта ответа. В случае неправильного ответа, видео начнет проигрываться заново до тех пор, пока ребенок не ответит правильно на вопрос.

Проект ожидает несколько основных этапов:

1. Поиск информации о проблеме, изучение способов её решения, включая поиск аналогов и анализ их недостатков.
2. Проектирование, анализ и определение требований к функционалу и дизайну приложения.
3. Разработка MVP («минимально жизнеспособный продукт») для приложения, суть которого заключается в базовой демонстрации функционала и проверки гипотез, сформулированных на этапе проектирования. Предполагается участие в студенческих

конкурсах и грантах для привлечения поддержки и первоначальных инвестиций в проект.

4. Определение тематик видеороликов и их создание, составление тестовых вопросов.

5. Разработка итогового варианта мобильного приложения и его запуск на платформе Play Market.

Приложение будет создано под платформу Android, а языком программирования является Kotlin.

На данный момент завершены первые два основных этапа проекта, включающие в себя подтверждение выдвинутых гипотез, определение полного функционала приложения и его дизайна с логотипом. Разработка MVP для приложения находится в процессе и завершена примерно на 30–40%.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Media and Children Communication Toolkit. The American Academy of Pediatrics (AAP) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aap.org/en-us/advocacy-and-policy/aap-health-initiatives/Pages/Media-and-Children.aspx> (дата обращения 10.06.2020).
2. Дети. Медиапотребление. 2017. Институт современных медиа (MOMRI) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://momri.org/wp-content/uploads/2018/08/momri.-deti\\_mediapotreblenie\\_2017.pdf?fbclid=IwAR3vHrP7lbBF--cEU7m3xjJwanq\\_WKH2aSZjAUApYU75GOnX3RqVKfmaGMk](http://momri.org/wp-content/uploads/2018/08/momri.-deti_mediapotreblenie_2017.pdf?fbclid=IwAR3vHrP7lbBF--cEU7m3xjJwanq_WKH2aSZjAUApYU75GOnX3RqVKfmaGMk) (дата обращения 10.06.2020).
3. Dr. Nicholas Kardaras. It's «digital heroin»: How screens turn kids into psychotic junkies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nypost.com/2016/08/27/its-digital-heroin-how-screens-turn-kids-into-psychotic-junkies/> (дата обращения 10.06.2020).
4. Aviv Malkiel Weinstein. Computer and Video Game Addiction-A Comparison Between Game Users and Non-Game Users [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20545602/> (дата обращения 12.06.2020).
5. Lennart Hardell, Michael Carlberg, Kjell Hansson Mild. Pooled Analysis of Case-Control Studies on Malignant Brain Tumours and the Use of Mobile and Cordless Phones Including Living and Deceased Subjects [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21331446/#nf> (дата обращения 12.06.2020).
6. Jean M. Twenge. Have Smartphones Destroyed a Generation? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/2017/09/has-the-smartphone-destroyed-a-generation/534198/> (дата обращения 12.06.2020).
7. Angeline S. Lillard, Jennifer Peterson. The Immediate Impact of Different Types of Television on Young Children's Executive Function [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pediatrics.aappublications.org/content/128/4/644> (дата обращения 13.06.2020).

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ «ВКОНТАКТЕ» В ПРОЦЕССЕ  
ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ НЕЯЗЫКОВЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ  
ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ**

О.М. Демидова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: demidovaom@tpu.ru

**SOCIAL NETWORKS “VKONTAKTE” IN THE PROCESS OF TEACHING  
FOREIGN LANGUAGES TO THE STUDENTS OF NON-LINGUISTIC  
SPECIALITIES**

O.M. Demidova

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** Modern society is facing new challenges. One of them is COVID-19 and due to this - organization of distant teaching and learning. The article deals with application of one of the social networks, most popular among the Russian youth – “Vkontakte”. The article describes the advantages of this networks which allow using it in the process of teaching one of the most difficult activity in a foreign language – writing.*

Ситуация в современном глобальном обществе предоставляет вызовы, на которые необходимо быстро реагировать. Одним из таких вызовов, является текущая ситуация с пандемией COVID-19, требующая немедленной перестройки всех сфер жизни, включая систему и форму обучения иностранным языкам. Быстрый переход в дистанционную форму обучения позволил задействовать все имеющиеся интернет-ресурсы, даже те, которые рассматривались для использования в процессе обучения иностранным языкам не так активно. В данной работе, предоставляется опыт использования социальной сети ВКонтакте в процессе обучения иностранным языкам, а именно письменной речи.

Как и любое явление, социальные сервисы имеют свои достоинства и недостатки. По мнению Ч. Сайнил и Д. Авраам они позволяют развить навыки мышления более высокого порядка, метакогнитивных умений, применяемых, например, при решении совместных проектов. Достижение этих целей требует планированного внедрения социальных сервисов в образовательный процесс [1].

Опираясь на полученную информацию, мы делаем вывод, что использование социальных сервисов Web 2.0 в учебном процессе является малоизученным, но перспективным. Поэтому ниже мы рассмотрим использование социального сервиса «ВКонтакте» в обучении академическому письму студентов неязыковых специальностей.

По данным опроса, представленным в работе Е. Бондаренко более 66% опрошенных пользователей пользуются возможностями социальных сетей. Особенно активными пользователями являются молодые люди в возрасте от 16 лет [2]. Самые известные социальные сети в России – это «Одноклассники», «ВКонтакте», «Мой мир», причем 85% пользователей социальной сети «ВКонтакте» - это молодежь 18 до 24 лет. 45% из них посещают её ежедневно, а 70% – чаще одного раза в день. Каждый третий участник «ВКонтакте» тратит на посещение социальной сети до тридцати минут свободного времени [3].

Опираясь на эти данные, автор предположил, что «ВКонтакте» является самым популярным социальным интернет-сервисом для молодой, студенческой аудитории. «Социальная сеть» в области информационных технологий понимается как «интерактивный многопользовательский веб-сайт, контент которого наполняется самими участниками сети».

Опыт работы позволил выделить следующие преимущества использования социальной сети «ВКонтакте» в качестве учебной площадки:

1. Привычная среда для студенческой аудитории.
2. Возможность создавать учебный контент.
3. Идентификация личности.
4. Форум, стена, чат позволяют проводить обсуждения в письменной форме, делиться новостями и делать объявления.
5. Возможность проводить дистанционную совместную и индивидуальную работу.
6. Возможность создания персональной интернет-зоны.
7. Возможность отслеживать активность участников через ленту друзей.
8. Удобство проведения проектов.
9. Роль портфолио для участников учебного процесса.
10. Возможность совмещения индивидуальных и групповых форм работы в социальной сети «ВКонтакте».

Совмещение индивидуальной и групповой работы в социальной сети «ВКонтакте» способствует выстраиванию индивидуальных образовательных траекторий, результатом чего является большая степень понимания и усвоения материала. Однако, следует отметить повышение нагрузки на преподавателя, т. к. учебный процесс проходит в формате 24\7. Сервис социальная группа – «беседа» дает возможность проводить коллективную работу и оценивать процесс и результаты работы, наблюдать за развитием каждого участника и оценивать его вклад в общий проект. Высокий уровень взаимодействия, понятность интерфейса социальной сети «ВКонтакте» позволяют сэкономить время, сводя этап адаптации обучающихся и преподавателя до минимума. Мультимедийность коммуникативного пространства позволяет активно использовать в виртуальной учебной группе, так же как и на личной странице аудио и видеоматериалов, интерактивных приложений, внося разнообразие, таким образом, процесс обучения.

В настоящее время, мы находимся на пороге третьей декады развития интернет-технологий – Web 3.0. Семантического Веб (Semantic Web). Важно понимать, что, различные концепции Web 1.0, Web 2.0 и Web 3.0 не делают устаревшими концепции Web 2.0. Наоборот, они являются опорной ступенькой для перехода к новому этапу развития интернет-технологий.

Ценность социальных сетей, и конкретно, сети «ВКонтакте» для обучения и развития активных видов речевой деятельности на иностранном языке, таких как письменная речь, еще недостаточно изучена, однако вопрос их использования как педагогического средства обучения или платформы для обучения становится всё более популярным.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Sainil C. Abraham J. Using Social Media for Educational Purposes: Approaches and Challenges // Learning technologies in education: proceedings of international education conference. – 2015. – P. 484–489.
2. Бондаренко Е. Социальные сети как инструмент развития: виды и возможности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.trainings.ru/library/articles/?id=10067> (дата обращения: 10.08.2020).
3. Можяева Г.В. Использование виртуальных социальных сетей в обучении студентов – гуманитариев // Информационный бюллетень ассоциации история и компьютер: материалы конференции – 2010. – № 36 – С. 174–175.

**РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПЛАНА ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО  
ЦИФРОВОГО ПРОДУКТА В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ТОМСКОГО ЦЕНТРА  
ПОДГОТОВКИ К ЕГЭ/ОГЭ «ШКОЛА КВЕНТИН»**

Е.К. Краева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: KraevaEK@ya.ru

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A PLAN FOR THE  
INTRODUCTION OF A NEW DIGITAL PRODUCT IN THE ACTIVITIES OF THE  
TOMSK CENTER FOR PREPARATION FOR THE EGE/OGE «QUENTIN SCHOOL**

E. K. Kraeva

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The processes of globalization taking place in the world today create prerequisites for remote work and study, which greatly contributes to the creation of various communities and the expansion of network interaction between members of these communities. This is especially important in the field of additional education, since a community implemented on the basis of social networks or web portals is a platform where each participant can get up-to-date information in their field and take an active part in generating new knowledge.*

**1. Анализ рынка дополнительного школьного образования.**

В 2019 году ЕГЭ сдавали более 700 тысяч человек. По оценкам экспертов, рынок подготовки к экзамену растёт, а его оборот – до 250 миллиардов рублей. Рынок дополнительного образования в России в первом квартале 2020 года вырос на 20 % и на фоне самоизоляции продолжает свой рост. В связи с пандемией корона вируса и режимом самоизоляции, внедрённым в России, количество детей и взрослых, занявшихся дополнительным образованием, увеличивается. Так в первом квартале 2020 года оборот в категории дополнительного образования вырос на 20 % в сравнении с результатами первого квартала прошлого года [1].

Рынку дополнительного школьного образования по школьным предметам в целом присуща крепкая положительная динамика – порядка +10 % год к году, вместе с тем онлайн-сегмент ожидаемо растёт более стремительными темпами, ежегодно прибавляя, в соответствии с экспертными выкладками, около 33 %. Интересна статистика распределения обучающихся по возрасту: лишь 14 % аудитории дополнительного школьного образования составляют 15–17-летние. Между тем известно, что этот сегмент остаётся самым активным с точки зрения коммерческой отдачи [2].

С точки зрения состава участников, сегмент дополнительного школьного образования заметно фрагментирован, и значительную часть его составляют работающие в офлайне частные репетиторы. Среди игроков, которые действуют в онлайн, можно выделить компании «Алгоритмика», «Учи.ру», «Фоксфорд», «ЯКласс», Skyeng. Кроме того, постепенно в индустрию приходят корпорации с продуктами для неё, в том числе МТС, Ростелеком и «Яндекс».

В ближайшие пять лет продукты на рынке подготовки к экзаменам будут примерно одного уровня, ведь все курсы построены на одних и тех же кодификаторах. Здесь не останется ничего, кроме как выделяться: репетиторам – при помощи сильного личного бренда, а образовательным центрам – благодаря необычному подходу.

Рынок подготовки к экзамену стал ближе к состоянию совершенной конкуренции: клиент может выбрать подходящий вариант из тысяч предложений. Помимо репетиторов появилось множество курсов и образовательных центров, где при аналогичной эффективности цены существенно ниже [3].

Всё больше подростков готовятся к экзаменам самостоятельно: у них есть большой выбор материалов на YouTube, сайты с пробниками и другие источники информации.

Однако репетиторы и курсы подготовки к ЕГЭ всё равно востребованы и едва ли исчезнут в ближайшие годы. Большинству для самоподготовки обычно не хватает дисциплины и усидчивости, поэтому в этом деле преподаватель всё-таки нужен.

## **2. План внедрения нового цифрового продукта в деятельность центра подготовки к ЕГЭ/ОГЭ «школа квентин».**

На первом этапе работы прошло обсуждение нового направления совместно с руководителем центра и его сотрудниками.

**Обучение персонала.** Каждому из участвующих преподавателей была поставлена задача составить предварительную программу курса и обещание/оффер своего курса, а так же придумано название для курса. Далее были сформулированы задачи курса и модули программы. Затем была проведена упаковка каждого эксперта к запуску: оформление личных страниц; написание фактов про эксперта; сбор отзывов и кейсы от своих учеников. Следующим этапом было создание продающей презентации для первого вебинара. Представлен пример, и объяснение значимости каждой части презентации. Следующим этапом было создание страницы регистрации на вебинар для привлечения подписчиков через социальную сеть ВКонтакте. Подключена официальная рассылка ВКонтакте при помощи сервиса Senler и настроены автосообщения для оповещения участников вебинара. Оплату за данный онлайн-курс было принято проводить через платежную систему VKpay.

**Путь клиента.** Путь клиента начинается с таргетированной рекламы в ВК. Заинтересовавшись нашим объявлением клиент может перейти в нашу группу, где вступив в нее он подписывается на рассылку, а может подписаться на рассылку в Senler по прямой ссылке в рекламной записи. Далее мы приглашаем его на бесплатный вебинар, при регистрации на который мы собираем его контактный номер и личную почту. После вебинара мы подогреваем его рассылкой и направляем через нее на оплату товара в ВК в виде первого занятия по приятной цене. Далее на первом занятии приглашаем оплатить наш курс, выслав ссылки в чат, на почту и в персональной рассылке в ВК на оплату самого курса.

**Таргетированная реклама.** Реклама настраивалась в социальной сети ВКонтакте. Для сбора аудитории был использован сервис TargetHunter. Было собрано три базы целевой аудитории – активных участников сообщества конкурентов; недавно вступивших участников в группы конкурентов; участников групп конкурентов, одновременно состоящих в 3-ех и более сообществах. Рекламная компания показала хороший результат с учетом сжатых сроков. Охват рекламной записи составил 3 169 пользователей, 22 перехода в группу и 5 прямых переходов по ссылке для регистрации на вебинар.

**Проведение вебинара и его статистика.** Для проведения вебинара была выбрана онлайн-платформа ClickMeeting – это платформа на базе веб-обозревателя для проведения запланированных вебинаров и обучающих тренингов. Нами была создана и оформлена вебинарная комната и информация о докладчике. На проведенном вебинаре присутствовали 24 участника из 37 зарегистрированных. По данным статистики можно увидеть, что большинство из участников вебинара прослушали его до конца.

**Расчет эффективности реализованных мероприятий по созданию MVP продукта.** Для обоснования целесообразности реализации предлагаемых мероприятий необходимо произвести оценку экономической эффективности проекта.

Предполагаемая выручка составит 115 200 рублей, из них себестоимость составляет 88 500 рублей, а прибыль от реализации составляет 26 700 руб. Далее необходимо рассчитать рентабельности вложенных средств для запуска онлайн-продукта по следующей формуле:  $ROI = (\text{Доход от вложений} - \text{размер вложений}) / \text{Размер вложений} \times 100 \%$ ,  $ROI = (115\,200 - 88\,500) / 88\,500 \times 100\% = 30 \%$

Экономический эффект от предлагаемых мероприятий положительный и составит 30 %. При разовых затратах (некоторые мероприятия проводятся раз в месяц, некоторые



раз в три месяца, поэтому расчет осуществляется на проведение разового мероприятия) на мероприятия в сумме 88 500 руб., прибыль составит 26 700 руб.

В результате разработки MVP продукта было проведено обучение персонала для выхода на онлайн-сегмент, составлена маркетинговая стратегия продвижения товара в социальной сети ВКонтакте, создание страницы регистрации на вебинар для привлечения подписчиков через социальную сеть ВКонтакте, подключена официальная рассылка ВКонтакте при помощи сервиса Senler и настроены автосообщения для оповещения участников вебинара, построен путь клиента, запущена таргетированная реклама, проведен вебинар и собрана статистика данного мероприятия.

По окончании практики были разработаны рекомендации по улучшению системы цифровизации «Школа Квентин». Основные моменты рекомендаций заключались в подборке эффективного менеджмента, ориентированное на внедрение новшеств и использующее современные методы управления, отказа от разработки долгосрочных стратегических планов, увеличить скорость принятия решений, более глубинное изучение целевой аудитории для запуска эффективной таргетированной рекламы и проведение обучения персонала навыкам продаж. Разработанные маркетинговые мероприятия, необходимые для реализации данных стратегий, имеют положительную рентабельность и рекомендуются к применению на практике.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аверьянов М.А., Евтушенко С.Н., Кочеткова Е.Ю. Цифровое общество: Новые вызовы// Экономические стратегии. – 2018. – № 7. – С.90–91.
2. Прайм. Агентство экономической информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://1prime.ru/News/20200527/831521607.html> (дата обращения: 02.08.2020).
3. Исследование российского рынка онлайн-образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://innoagency.ru/files/Issledovanie\\_rynka\\_rossiyskogo\\_online\\_obrazovania\\_2020.pdf](https://innoagency.ru/files/Issledovanie_rynka_rossiyskogo_online_obrazovania_2020.pdf) (дата обращения: 12.08.2020).

#### **ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРИГРУППОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, НАПРАВЛЕННОГО НА ВЫРАБОТКУ ИНЖЕНЕРНОГО РЕШЕНИЯ, ПРИ ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМЕ ОБУЧЕНИЯ**

М.И. Пищанская, В.С. Иванова, П.Ф. Баранов  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: mip10@tpu.ru

#### **ORGANIZATION OF INTRA-GROUP INTERACTION AIMED AT DEVELOPING AN ENGINEERING SOLUTION FOR DISTANCE LEARNING**

M.I. Pishanskaya, V.S. Ivanova, P.F. Baranov  
National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation. The paper discusses the main advantages and disadvantages of the tools that are used for distance education.*

Деятельность современного инженера зачастую связана с работой в рамках транс и междисциплинарных проектов, что подразумевает умение коммуницировать в рамках профессионального взаимодействия. Поэтому одной из задач инженерного образования является развитие навыков взаимодействий между студентами, и умение работать в команде.

В процессе организации командной работы будущих инженеров преподавателю рекомендуется обеспечить три этапа подготовки (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Этапы организации командной работы студентов

	Название этапа	Желаемые результаты этапа	Методы реализации
1	Подготовительный этап	Развитие знаний, умений, личностных качеств студентов	Активные методы обучения: мозговой штурм, дебаты, «шесть шляп мышления», тренинги, игры
2	Деятельностный этап	Объединение участников в команду. Приобретение студентами опыта командной работы. Презентация полученных результатов	Анкетирование и интервьюирование. Беседы, опросы. Работа участников в команде, публичные выступления
3	Контрольно-оценочный этап	Оценка эффективности работы, рефлексия и анализ полученных результатов. Определение направлений улучшения командной работы	Анкетирование и анализ полученных результатов

Вынужденный переход в дистанционный формат обучения университетов весной 2020 года потребовал от преподавателей модернизаций методических и методологических подходов в организации развития навыков командной работы студентов.

Основным инструментом для взаимодействия преподавателя со студентами стала программа для организации видеоконференций «Zoom» [2]. Данная программа позволяет выполнять две важные функции для эффективного обмена информацией в режиме реального времени:

1) «демонстрация экрана» рабочего компьютера студентов и преподавателя всем участникам конференции, что позволяет задавать и отвечать на вопросы с демонстрацией проблемы на экране;

2) встроенная функция записи видеоконференции, что позволяет студентам пересмотреть видеолекцию и лучше усвоить материал.

Программа помогает обеспечивать необходимые результаты первых двух этапов организации командной работы (таблица 1). Однако, формат видеоконференций имеет недостаток - существенное влияние качества интернет-соединения от которого зависит насколько хорошо студенты слышат и усваивают материал, а также невозможность постоянного контроля внимания и вовлеченности студентов в отличии от аудиторных занятий. Также возникает ограничение по использованию, связанное с невозможностью разбиения студентов на малые группы и организации независимого взаимодействия с несколькими малыми группами преподавателем одновременно.

Для выполнения «Деятельностного этапа» были задействованы два инструмента. Первым из них являлась система управления курсами «LMS Moodle» [3], которая позволяет создавать онлайн-курсы с готовыми различными блоками тестирования. Хорошо зарекомендовала себя такая форма тестирования как «взаимное оценивание», которая позволяет повысить объективность принимаемых инженерных решений студентами. Кроме того, можно создать блок «Форум», в котором студенты могут задавать вопросы друг другу и преподавателю, оповещения об изменениях приходят на электронную почту студентов, что ускоряет обмен информацией. Такой инструмент имеет несколько недостатков, во-первых, отслеживание верных рассуждений студентов, что подразумевает постоянную вовлеченность в динамику «Форумов» и результатов взаимного оценивания, которые индивидуальны для каждой дисциплины и группы учащихся требует больших временных затрат, второй серьезный недостаток - это отсутствие визуального контакта между студентами.

Вторым и самым удобным инструментом, по мнению ряда преподавателей, для отслеживания динамики развития проекта является онлайн-офис «Google Документы»

[4]. Каждый член команды, выполняя свою работу, выкладывает в онлайн-офис документы, демонстрирующие результаты работы на данный момент, далее другие студенты анализируют эти документы и оставляют свои комментарии и вопросы к конкретным частям документа. Отслеживание динамики осуществляется за счет возможности офиса просматривать историю развития комментариев, дополнения и обновления комплекта документов. Также инструмент позволяет сделать результаты проектов и их оценивание более объективными и прозрачными. Недостатки данного инструмента практически идентичны недостаткам «LMS Moodle», кроме того, усложняется отслеживание личного вклада каждого студента.

Таким образом, были изучены и протестированы различные инструменты организации командной работы среди студентов инженерных специальностей. Итоги данной работы позволяют утверждать о необходимости освоения данных инструментов каждым преподавателем для поддержания хорошего качества онлайн-образования.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-873.2020.8*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бужинская Н. В., Васева Е. С. Применение on-line сервисов для подготовки студентов к командной работе // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – №. 6. – С. 86-86.
2. Zoom Video Communications. Официальный сайт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://zoom.us/ru-ru/meetings.html> (дата обращения 17.10.2020).
3. Moodle: сайт. The Moodle Project. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://moodle.org/?lang=ru> (дата обращения 17.10.2020).
4. Google Документы: сайт [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.google.ru/intl/ru/docs/about/> (дата обращения 17.10.2020).

### **ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО НЕЛИНЕЙНОГО МЫШЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

О.В. Санфирова

Томский государственный педагогический университет

E-mail: sanfolga@yandex.ru

### **TECHNOLOGY FOR DEVELOPING ANALYTICAL NONLINEAR THINKING OF STUDENTS IN THE SYSTEM OF TEACHING ECONOMIC DISCIPLINES**

O.V. Sanfirova

Tomsk State Pedagogical University

*Annotation. The article presents the technology of development of analytical nonlinear thinking of students in the system of teaching economic disciplines. This technology consists of three main stages. The article provides examples for each stage. The overall final conclusion is made.*

В сложных, нестандартных, пандемических реалиях все большее значение приобретает развитие аналитического нелинейного мышления у студентов в процессе преподавания экономических дисциплин. Сами по себе социально-экономические системы – это сложнейшие комбинации и переплетения их звеньев, в которых присутствуют, конечно, законы линейного характера, но, при этом очень часто срабатывают непредсказуемые, не учтенные или случайные факторы. Экономика, с точки зрения экспертов, «это Очень Большая Нелинейность» [1]. Она все больше и больше тяготеет к поведенческой сфере, сливаясь с такими науками как философия, психология, социология, нейролингвистика и т. д. Эти науки, в большинстве своем, оперируют ценностными универсалиями, а это очень изменчивые и непредсказуемые

категории, как на уровне одного индивида, так и на уровне групп любого масштаба. Линейные процессы, которыми оперировала экономика советского периода, с жесткой системой ценностных установок, давно в прошлом. Современное общество вынуждено функционировать в очень изменчивых рыночных реалиях, в котором и сами ценности становятся изменчивой категорией. Управлять этими процессами невозможно шаблонно и последовательно. Это реально сделать только согласуясь с принципами нелинейности. В чем заключается и зачем нужна это «нелинейность» и какова технология развития нелинейного мышления? Действительно, чтобы действовать с опережением на рынке, где сейчас, на первое место, выходят нематериальные товары, зависящие от поведенческих индикаторов целевой аудитории, необходимо мыслить совершенно иначе. Иначе это значит, не всегда симметрично, уметь видеть перспективу, как видят ее великие художники, как бы под углом, отклоняясь от простого схождения линий. Отметим, что и требования к выпускнику вуза существенно изменились за последнее время. Уже нужен не просто специалист, способный осуществлять поиск новой информации в условиях информационной перенасыщенности, а требуется ученый, способный чувствовать, что искать; отслеживать, в первую очередь, парадоксы и противоречия в социуме; выстраивать из них новую систему связей и отношений. Обладать нелинейным мышлением в раскрытие экономических процессов и явлений это охватывать проблему в целом, видеть все ее асимметрические нюансы, как главного средства построения собственной композиции. Классический пример нелинейного мышления, на наш взгляд, связан с китайскими стратагемами. В переводе этот термин означает «военная хитрость». Это собрание стратегических приёмов, которые, зачастую, не поддаются прямым шаблонным алгоритмам действия. Они ведут к какой-то скрытой, неявной цели. В чем же состоит особенность подобного рода скрытых, латентных умозрений, которыми так необходимо обладать для решения экономических вопросов?

Для объяснения этого потребуются инструментарий когнитивной психологии, которая работает с данным понятием [1, 2]. Основным элементом его будет выступать «нелинейное аналитическое мышление» это взаимодействие, взаимовлияние, вытеснение и доминирование таких познавательных процессов человека, как чувства, эмоции, ценности, воображение, осознание, понимание, конкретизация, внимание, логическое мышление, и, как конечный этап-представление информации, собирание ее в единое субъективное целое [3]. Все эти аспекты необходимы для многофакторного анализа и выстраивание стратегически выверенного конечного результата. Понимание данного термина имеет большое значение в поведенческой экономике, которая напрямую связана с изучением влияния культурных, религиозных, национальных, ментальных, социальных факторов на экономическое поведение, принятие правильных экономических решений как на уровне отдельных лиц, так и каких-то объединений коммерческого и не коммерческого характера.

Итоговым компонентом изучения будет вопрос рациональности и нерациональности поведения экономических субъектов на рынке. Вопрос рациональности сам по себе достаточно непростой. Человеческий мозг изначально склонен к простому мышлению, анализу простых величин. Соотнести сразу множество показателей, анализировать нелинейные величины для мозга не простая задача. В экономике не всегда можно положиться на интуицию в принятии правильных решений. Научить студента мыслить нелинейно не всегда просто. Приведём вариант технологии развития нелинейного аналитического мышления. Он состоит из ряда этапов они часто встречаются в литературе, но называются по-разному [4].

Первый Этап – «констатация факта линейности мышления у людей». Удобнее будет на первом этапе, объяснить терминологическую разность понятий «линейное мышление» и «нелинейное мышление». Упростив его до элементарного состояния можно попросить привести примеры из жизни, задав вопрос: «в каких случаях, условно,  $2 \times 2$  не равно 4?» Это может быть, как количественная, так и качественная оценка каких-то экономических

аспектов или явлений. Остановимся на примере с количественной оценкой. В данном аспекте могут быть рассмотрены варианты где математически, без привлечения субъективных аспектов личности (чувств, эмоций, впечатлений и т.д.) анализируются какие-то экономические показатели. Например, мы продаем айфоны по цене 50 тыс. руб. за 1 единицу товара, при себестоимости 15 тыс руб. за 1 единицу товара. Отдел маркетинга думает провести две акции по снижению цены, при этом ему сложно определиться с процентной ставкой акции. Есть варианты пожеланий, например, снизить цену на 20% или на 40%. В каком случае компания получит больше прибыли. Линейное мышление, когда, условно говоря,  $2 \times 2 = 4$  диктует, что, конечно, более выгодной будет акция с большей скидкой, которая принесет большие объемы продаж, но на деле мы имеем несколько другую нелинейную зависимость, которую лучше объяснить, представив показатели в таблице, попросив их рассчитать прибыль.

*Таблица 1 – Расчет показателей прибыли, при меняющейся процентной ставки акций продаж*

Показатели	Цена за 1 единицу айфона	1акция: снижение на 20%	2акция: снижение на 40%
Цена за 1 айфон	50 тыс. руб	40 тыс. руб	30 тыс.руб
Объем продаж	1000 ед.	1200ед.	1800ед.
Доход	50 млн. руб	48 млн.руб	54 млн. руб
Себестоимость (15 тыс руб за 1 ед)	15 млн .руб	18 млн. руб	27 млн.руб
Прибыль	35 млн. руб	30 млн. руб	27 млн. руб

Казалось бы, при 40 % снижении цена за единицу мы получим достойное увеличение объема, что составит порядка 80%. Но, с точки зрения прибыли, это самый неудачный вариант акции. Это становится очевидным после проведения многофакторного элементарного анализа, в котором задействованы все представленные показатели таблицы, а не только два, которые больше всего бросаются в глаза.

Второй Этап – «постоянный поиск парадоксов и противоречий явного и латентного характера в повседневной жизни». Это скорее качественный показатель. Очень часто в поведении людей имеются противоречивые особенности, когда часто стороны озабочены реализацией одного аспекта, но соглашаются и принимают решения, противоречащие ему. Так в своих выступлениях ректор ТГУ, Эдуард Владимирович Галажинский отмечал парадоксальную ситуацию с ЕГЭ, где одной стороны, стоит вопрос о стандартизации знаний для выравнивания возможностей для всех школьников, повышения качественной составляющей образования, а на деле происходит подмена двух сложнейших педагогических понятий: развитие мыслительной деятельности на натаскивание на результат. Самый распространённый и парадоксальный тип нелинейного мышления — это покупка в кредит последней модели айфона.

Третий Этап – «ориентирование на конечную цель». Здесь вопрос стоит в анализе самого конечного показателя, оценки степени влияния всех возможных факторов как количественного, так и качественного порядка на результат. Все эти этапы тесно взаимосвязаны друг с другом, образуя, своего рода, алгоритм реализации нелинейного мышления.

Таким образом, обучение студентов понимания мира, как набора нелинейных универсалий позволяет принимать более взвешенные, обоснованные и неторопливые экономические решения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Древесников В. Линейное и нелинейное мышление. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zen.yandex.ru/media/id/5c2317d86cd9c400aabd2653/lineinoe-i-nelineinoe-myshlenie-a-zachem-nujny-> (дата обращения 21.10.20).

2. Бирюкова Д. Когнитивная психология: определения основные методы, и идеи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/cognifit/kognitivnaia-psihologii-a-opredelenie-osnovnye-metody-i-idei-5e94a0b5790c262edeb35962> (дата обращения 21.10.20).
3. Эльвович И.И. Два типа мышления: линейное и нелинейное. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.liveinternet.ru/users/g sreda/post130031043/> (дата обращения 21.10.20).
4. Барт Л, Пунтони С., Ларрик Р. Линейное мышление, в нелинейном мире. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hbr-russia.ru/management/prinyatie-resheniy/a24191>(дата обращения 21.10.20).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В ОБУЧАЮЩИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ

М.Е. Семенов, Г.С. Чурсин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: sme@tpu.ru

## USING MICROCONTROLLERS IN EDUCATIONAL COMPUTER GAMES

M.E. Semenov, G.S. Chursin

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The paper considers the issue of the possibility of including educational computer games in the school educational program. The implementation of the game will increase the motivation of students to study engineering and as a consequence in academic performance in subjects such as physics, mathematics and computer science. The authors proposed an illustrative example of a scene for educational computer game with microcontroller.*

Активное развитие обучающих компьютерных игр началось в начале 2000-х годов. Распространение получили игры для детей дошкольного возраста. Насыщенные визуальные эффекты позволяют привлекать детей, что способствует развитию навыков чтения и устного счета. При этом школьное образование остается без серьезных (serious) образовательных видеоигр. Проблема заключается, в том, что образовательные игры для школьников не способны вовлекать детей в игровой процесс, так как данные игры представляют собой простую замену реального учителя на виртуального. Тем не менее, на примере студентов, авторы статьи [1] показали, что компьютерные игры позволяют повысить качество образования и успеваемость обучающихся. Стоит отметить, что основными дидактическими играми для студентов являются узконаправленные симуляторы. Несмотря на это, необходимо найти пути разработки успешной дидактической компьютерной игры для школьников. Очевидно, обучающая игра должна быть максимально похожа на обычные повседневные видеоигры. В работе [2] представлен анализ основных критериев к коммерчески успешным играм. К этим критериям можно отнести: графику, сюжет, реалистичную физику, разнообразность игрового процесса. Данная работа является продолжением исследований [3, 4].

Необходимо понимать, что одним из самых перспективных направлений в бизнесе информационных технологий является разработка различных устройств для интернета вещей. Мировые продажи оборудования для интернета вещей достигли оборота более чем 450 миллиардов долларов. При этом любая разработка различных устройств начинается с обучения на таких простых микроконтроллерах как Arduino. На сегодняшний день в игровом процессе участвуют различные игровые устройства: джойстики, геймпады, рули, очки для VR-игр. К сожалению, данные устройства не способны чему-то научить, а тем более развить интерес к программированию и исследовательской деятельности. Мы предлагаем заменить готовые устройства для игр,

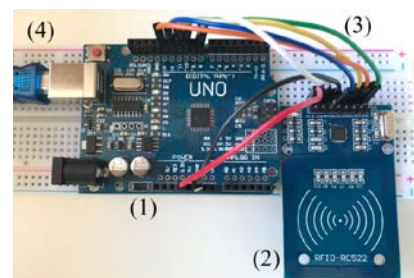
на использование микроконтроллеров и различных датчиков. Таким образом, школьники сами смогут конструировать оригинальные устройства, что повысит интерес к алгоритмизации, роботизации и программированию. Стоит отметить, что разработка периферийного устройства для игр на Arduino не позволит полноценно заменить коммерческие устройства. Одной из отличительных особенностей готовых продуктов являются специализированные драйвера, позволяющие максимально адаптировать используемые в них микроконтроллеры к работе в операционных системах. Такие драйвера повышают скорость чтения данных с устройств, позволяют фильтровать ложные сигналы, избавляют микроконтроллеры от лишних протоколов. Для того, чтобы правильно интегрировать микроконтроллеры в игры, необходимо выявить сильные и слабые стороны различных конструкторов на платформе Arduino, не имеющих отношения к видеоиграм. Очевидной проблемой в таких конструкторах является отсутствие у пользователя понимания, куда интегрировать готовое устройство после сборки и программирования. Как правило, это приводит к тому, что теряется интерес к разработке и обучению, так как конечная цель не достигнута. В процессе игры, ребенок сможет применять разработанные устройства для решения головоломок и прохождения уровней.

Далее приведем иллюстративный пример использования микроконтроллеров в процессе игры.

Предположим, что в процессе игры обнаружена закрытая дверь (рис. 1), которую необходимо преодолеть для продолжения игры. На двери находится два оголенных провода. Очевидно, что на месте проводов должно находиться устройство, которое позволит открыть дверь. Поэтому игроку необходимо самостоятельно собрать устройство и открыть дверь.



*Рис. 1. Дверь, которую необходимо открыть в процессе игр. Для подсказки используется субтитры*



*Рис. 2. Схема сборки устройств для считывания карт. 1 – Arduino, 2 – датчик RFID-RC522, 3 – соединительные провода, 4 – макетная плата*

На рис. 2 представлена простейшая схема сборки такого устройства. После сборки и прошивки, при прикосновении ключом к реальному датчику RFID, виртуальная дверь откроется. Таким образом, предложенный подход позволит эффектно продемонстрировать каким образом можно использовать собранную схему в реальной жизни.

Так как игра позиционируется как обучающая, то первостепенная задача – это обучить ребенка основам робототехники. Обучение включает в себя не только инструкции по сборки, но и теоретический материал, который будет встречаться на протяжении всей игры. Перед использованием любых датчиков, игрок получит новые знания об элементах построения даже простейших электронных цепей. Например, для чего нужны в цепях источники питания, заземление или чем отличается аналоговый сигнал от цифрового.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Pivec M., Kearney P. Games for Learning and Learning from Games // Informatica. – 2007. – P. 419–423.

2. Казакова Н.Ю. Основные принципы разработки сюжета игрового проекта в рамках гейм-дизайна // Вестник АГУ. – 2016 – № 3 – С. 216–222.
3. Chursin G., Semenov M. Learning game development with Unity3D engine and Arduino microcontroller // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1488.–Article number 012023.
4. Chursin G., Semenov M. Using an ESP8266 microcontroller to develop a learning game // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1611.– Article number 012059.

### **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

А.В. Мытников, В.В. Стругов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mytnikov66@mail.ru

### **MEASURING COMPLEX FOR DETECTING DEFECTS OF HIGH-VOLTAGE TRANSFORMER CIRCUIT INSULATION**

A.V. Mytnikov, V.V. Strugov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article presents the result of research and practical implementation of a measuring complex that allows monitoring the state of the coil insulation of power transformers.*

Измерения с целью оценки фактического состояния силового электрооборудования является на сегодняшний день сложной и актуальной задачей. Решить ее можно на основе исследования и развития новых измерительных комплексов для контроля состояния высоковольтного оборудования. Трансформаторы, которые являются наиболее ответственными и дорогостоящими элементами электрических сетей часто могут эксплуатироваться с дефектами обмоток в течение некоторого периода времени. В настоящее время отсутствует метод, позволяющий определять дефекты витковой изоляции силового трансформатора [1–3]. В основе импульсного метода по выявлению дефектов витковой изоляции обмотки лежит сравнение сигналов-откликов, полученных на исправном трансформаторе, с результатами последующих контрольных измерений. Метод был предложен в 1966 г. В. Лехом и Л. Тымински [4], и сразу получил признание в электроэнергетических системах для контроля состояния трансформаторно-реакторного оборудования [5].

Основная проблема, сдерживающая распространение эффективной и востребованной технологии состоит в отсутствии надежных измерительных систем, которая позволяла бы осуществлять процесс контроля состояния обмоток с высокой степенью достоверности. В статье приводятся результаты по разработке измерительного комплекса на основе генератора зондирующих импульсов с крутым фронтом – на уровне 15-20 нс. Как показали приведенные исследования генератор способен обеспечить зондирующий импульс с параметрами: длительность 500 нс, крутизна фронта импульса 15-20 нс, при отсутствии отраженной волны, требуемой повторяемости параметров, а так же возможность стабильной работы в широком диапазоне температур, в полевых условиях. Еще одним необходимым элементом измерительного комплекса является электронный осциллограф для измерений сигналов зондирующего импульса, подаваемого на исследуемую обмотку и импульсного отклика как результат переходного процесса, несущего информацию о фактическом состоянии витковой изоляции.

На рис. 1 приведен внешний вид генератора зондирующих наносекундных импульсов.



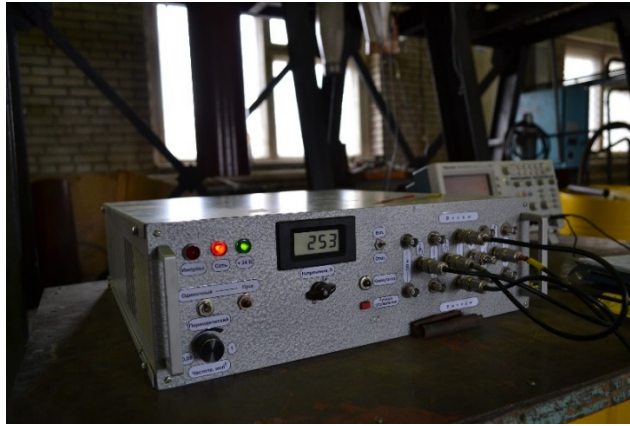


Рис. 1. Внешний вид генератора зондирующих импульсов.

Схема контроля состояния обмоток трансформатора, включающая генератор зондирующих импульсов наносекундного диапазона, осциллографы, контролирующие параметры зондирующего импульса и сигналы отклика, а также места подключений к обмоткам как низкого, так и высокого напряжения показана на рис.2.

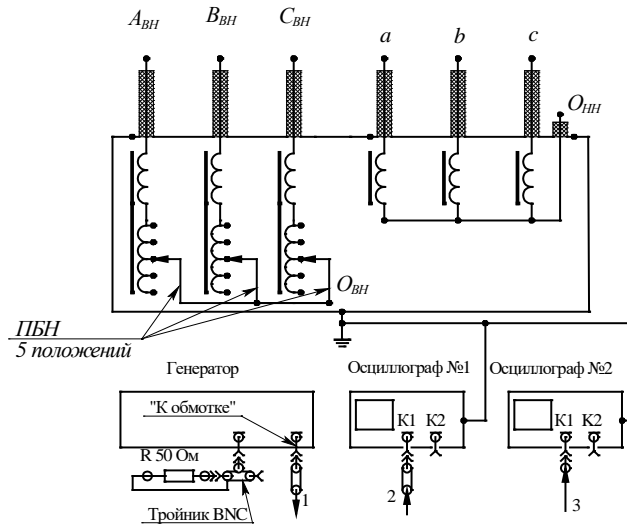


Рис. 2. Схема подключения измерительного комплекса для контроля обнаружения дефектов витковой изоляции силовых трансформаторов.

Внешний вид типичного дефекта витковой изоляции обмотки приведен на рис. 3.



Рис. 3. Вид дефекта витковой изоляции обмотки силового трансформатора.

Разработанный комплекс прошел проверку и был успешно протестирован. Дефект витковой изоляции изображенный на рисунке 3 успешно выявлялся путем сравнения осциллограмм текущего и предшествующего измерений. Аналогичные результаты были получены при обнаружении дефектов витковой изоляции, созданных в результате

воздействия высокочастотной составляющей возникающей при коммутационных переключениях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов В.В. Ранжирование состаренного парка силовых трансформаторов по техническому состоянию // Современное состояние и проблемы диагностики силового электрооборудования: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2006. – С. 7–18.
2. Pettersson L., Fantana N.L., Sunderman U. Assessment ranking of power transformers using condition based evaluation, a new approach // CIGRE Paris Conference. – Paris, 1998. – P. 12–204.
3. Осотов В.Н. О методологии оценки состояния электрооборудования с большим сроком службы // Современное состояние и проблемы диагностики силового электрооборудования: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2006. – С. 25–29.
4. Лех В., Тымински Л. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность // Электричество. – 1966. – Т. 1. – № 1. – С. 77–81.
5. Хренников, А.Ю. Опыт обнаружения остаточных деформаций обмоток силовых трансформаторов / А.Ю. Хренников // Энергетик. – 2003. – №. 7. – С. 18–20.

### ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ В УРАНОВОЙ ОТРАСЛИ НА БАЗЕ ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Е.Г. Язиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: yazikoveg@tpu.ru

### TRAINING PERSONNEL OF THE URANIUM INDUSTRY ON THE BASIS OF TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY

E.G. Yazikov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The long-term experience of Tomsk Polytechnic University in personnel training for NAC "Kazatomprom" is analyzed. Combining the efforts of the two engineering schools of TPU allowed developing unique programs that have been in demand for more than six years by the uranium mining enterprises of Kazakhstan.*

Многолетний опыт работы Томского политехнического университета в области переподготовки кадров для сотрудников НАК «Казатомпром» успешно реализуется совместно с Казахским ядерным университетом шесть лет и за это время переподготовку прошли в общей сложности 140 человек, из них сотрудники различных рудников (ТОО «Каратау», ТОО «ДП Орталык», ТОО «СП Хорасан-У», ТОО «Байкен-У» ТОО «АППАК» и другие.). Сотрудничество трех организаций позволило выработать схему взаимодействия и предложить новую форму обучения, которая позволила оптимально использовать ресурс двух кафедр ТПУ, а ныне отделений – это кафедра химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов Физико-технического института (отделение ядерно-топливного цикла Инженерной школы ядерных технологий) и кафедра геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов (отделение геологии Инженерной школы природных ресурсов), в состав которой входит Международный инновационный научно-образовательный центр «Урановой геологии» [1]. Переподготовка сотрудников НАК «Казатомпром» ведется по трем программам: «Технология урановых добывающих и перерабатывающих предприятий», «Технология подземного выщелачивания урана» и «Геология урановых месторождений». Выбранная

схема проведения занятий по модульной системе позволяет максимально учитывать возможности сотрудников предприятий, которые большую часть времени находятся на рабочих местах и слушают лекции по вебинару, т.е., имея компьютер на рабочем месте или дома с доступом к интернету. Занятия проводятся ежедневно 6 раз в неделю по 1,5 часа. Кроме этого, модульная система обучения предусматривает приезд всех слушателей первый раз в г.Алматы (площади КЯУ) для прослушивания установочных лекций, а второй раз в Томск для выполнения лабораторных и практических занятий на лабораторных установках кафедр ТПУ. Кроме этого, слушателям предоставляется возможность поработать с уникальной коллекцией урановых руд и минералов, которая насчитывает более 1 тысячи образцов важнейших геолого-промышленных типов урановых месторождений, а также минералов бывшего Советского Союза. Занятия ведут профессионалы своего дела, которые имеют за своими плечами многолетний опыт работы в урановой отрасли (профессора: Рихванов Л.П., Жерин И.И., Карелин В.А., Арбузов С.И., Язиков Е.Г., доценты: Шагалов В.В., Егоров Н.Б., Кантаев А.С., Амелина Г.Н., Брылин В.И., Кузеванов К.И., Домаренко В.А. и др.).

Исключительными профессиональными компетенциями выпускника программы «Геология урановых месторождений» являются:

- 1) поиски, разведка, геолого-экономическая оценка и разработка месторождений радиоактивного сырья;
- 2) создание модели месторождения;
- 3) получение новой минералого-геохимической информации с использованием современных ядерно-физических методов, в том числе на базе ядерного реактора.

Подготовка специалистов по урановому направлению осуществляется с использованием уникального современного оборудования (альфа- и гамма-спектрометры, оптические микроскопы с системой визуализации, а также японский сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N, имеющий разрешение 10 нм с системой энергодисперсионного микроанализа) и программных комплексов, приобретенных в Центр при реализации программы ИОП. В подготовке специалистов для урановой отрасли задействована ядерно-геохимическая лаборатория, размещенная на площадях исследовательского ядерного реактора Томского политехнического университета, которая активно используется как современный инструмент подготовки специалистов для урановой геологии и проведения научных исследований в области разработки радиогеохимических методов прогнозирования и поисков руд редких и радиоактивных элементов, для комплексной оценки месторождений на содержание ценных (золото и др.) и токсичных (мышьяк и др.) элементов. Аналогов подобных лабораторий в России нет [2].

Завершение обучения слушателей сопровождается подготовкой выпускной аттестационной работы с публичной защитой перед авторитетной аттестационной комиссией. Продолжительность обучения составляет 6 месяцев при объеме каждой программы по 400 часов. Слушатели получают диплом о профессиональной переподготовке Томского политехнического университета и имеют право на ведение нового вида деятельности. Уникальность данной переподготовки в том, что слушатели имеют возможность в течение периода обучения общаться со специалистами, решать конкретные задачи, которые могут способствовать оптимизации технологических схем добычи, извлечения и переработки урана. Слушатели выполняют работы на реальных материалах производственных предприятий, а выпускные работы имеют практическую направленность. Заложенная база в дипломных работах может реализовываться в дальнейшем в подготовке кандидатских диссертаций, хотя для этого потребуются определенная усидчивость и самоорганизация.

Многолетнее плодотворное сотрудничество Томского политехнического университета с Казахским ядерным университетом позволяет успешно решать кадровые вопросы крупнейшей компании в мире по добыче, производству и переработке урана

НАК «Казатомпром». Выпускники программы повысив свой профессиональный рост и повышаются в должности. Так выпускник 2015 года Искаков Манас Мырзашевич назначен директором производственного департамента НАК «КАЗАТОМПРОМ», а выпускник 2016 года Нетбаев Асхат Болатович назначен директором рудника «Хорасан-1» ТОО «СП «Хорасан», тогда как выпускник 2017 года Калибеков Мухтар Айдарович назначен директором рудника «Акдадала» СП «ЮГХК». В настоящее время обучение проходят специалисты 13 рудников НАК «КАЗАТОМПРОМА», в т.ч. генеральный директор ТОО «АППАК» Авдеев А.Б. и два его зам. генеральных директора Жансугуров Д.О. и Бейсенбеко А.Ж., а также начальник рудника «Канжуган» ТОО «Казатомпром Sauran» Кайратулы Е. и два зам. генеральных директора ТОО «СП «Инкай» Темирбаев С.Е. Кожамбердиев Е.М.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П. Подготовка специалистов в области урановой геологии на базе международного научно-образовательного центра Томского политехнического университета // Актуальные проблемы урановой промышленности: Сборник трудов IX Междунар. научно-практической конференции. – Алматы, 2019. – Т. 2. – С. 425–427.
2. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П. Использование ресурсного потенциала международного научно-образовательного центра «урановая геология» для подготовки магистров профиля «геология месторождений стратегических металлов» // Современные технологии, экономика и образование: Сборник трудов Всероссийской научно-методической конференции. – Томск, 2019. – С. 149–151.

#### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ «ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННАЯ, ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ И КАБЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»**

А.П. Леонов, А.Ю. Юшков  
Национальный Томский политехнический университет  
E-mail: leonov\_ap@tpu.ru

#### **IMPROVEMENT OF THE MASTER'S PROGRAM «ELECTRIC INSULATION, HIGH VOLTAGE AND CABLE ENGINEERING»**

A.P. Leonov, A.Y. Yushkov  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The paper diving some information about improvement of the Master's program "Electric insulation, high-voltage and cable engineering" in Tomsk Polytechnic University. The authors offer information about the content of the curriculum, disciplines and organization of the educational process.*

Традиционно подготовка кадров для предприятий электротехнической, кабельной и энергетической отраслей ведется на базе отделения «Электроэнергетика и электротехника» Инженерной школы энергетики ТПУ. С осени 2019 года в начато обучение по магистерской программе «Электроизоляционная, высоковольтная и кабельная техника». При разработке учебного плана учитывался многолетний опыт работы кафедр «Электроизоляционная и кабельная техника» и «Техника и электрофизика высоких напряжений» Томского политехнического университета.

Магистерская программа была модернизирована в рамках Международного проекта TEDDE «Towards Excellence in Engineering Curricula for Dual Education» («Совершенствование инженерных образовательных программ в логике дуального обучения»). Целью проекта являлось содействие интернационализации образования в странах-партнерах программы, создание платформы для развития и усиления

сотрудничества между ЕС и странами-партнерами (а также между странами-партнерами).

Структура программы магистратуры включает обязательную (базовую) и профильную часть, формируемую участниками образовательных отношений (вариативную). Это обеспечивает возможность реализации программ магистратуры, имеющих различную направленность (профиль) образования в рамках одного направления подготовки.

Каждый цикл и раздел ОПП «Электроэнергетика и электротехника» оценивается соответствующим количеством кредитов. Кредитная стоимость дисциплины, цикла, раздела программы зависят от временного ресурса и значимости для достижения результатов обучения по программе в целом. Общий срок освоения программы составляет 2 года.

В рамках модернизации образовательной программы при участии промышленных партнеров переработаны дисциплины междисциплинарного профессионального модуля: «Диагностика и эксплуатация высоковольтного оборудования», «Электропередачи сверхвысокого напряжения», «Специальные кабельные изделия», «Физико-химия диэлектрических материалов», «Высоковольтное энергетическое оборудование», «Расчет и конструирование электроизоляционных систем», «Силовые кабели и кабельные линии». Разработаны новые дисциплины «Методы испытаний и технологический контроль в кабельном производстве», «Современное кабельное производство», «Перенапряжения и координация изоляции».

Теоретическое обучение продолжается в течении 3 семестров и чередуется с практиками на предприятиях: научно-исследовательские практики во 2 и 4 семестрах (4 и 6 недель соответственно), преддипломная практика в 4 семестре (12 недель).

После успешной защиты выпускной квалификационной работы (в виде магистерской диссертации) выпускнику присваивается степень «Магистр» по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

Настоящая программа разработана с учетом требований ФГОС ВО 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» (Зарегистрировано в Минюсте России 11.12.2014 N 35143). Область профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу магистратуры, включает:

- электрическая изоляция электроэнергетических и электротехнических устройств, кабельные изделия и провода, электрические конденсаторы, материалы и системы электрической изоляции кабелей;

- установки высокого напряжения различного назначения, электроизоляционные материалы, конструкции и средства их диагностики, системы защиты от молнии и перенапряжений, средства обеспечения электромагнитной совместимости оборудования, высоковольтные электротехнологии.

Реализация программы обеспечивается научно-педагогическими кадрами Томского политехнического университета, имеющими базовое образование, соответствующее профилю преподаваемой дисциплины, и систематически занимающимися научной и научно-методической деятельностью.

К образовательному процессу по дисциплинам профессионального цикла привлекаются ведущие специалисты из научно-исследовательских институтов, руководители и ведущие работники профильных организаций, предприятий и учреждений.

Преподаватели профессионального цикла имеют ученую степень кандидата или доктора наук и опыт научно-производственной деятельности в соответствующей профессиональной сфере. Доля преподавателей, имеющих степень кандидата или доктора наук, в общем числе преподавателей, обеспечивающих образовательный процесс по данной основной образовательной программе, составляет более 85 %.

Согласование с работодателями необходимых профессиональных компетенций выпускников осуществляется ежегодно и оформляется в виде протокола. Протокол подписывается не менее чем с двумя различными предприятиями. За основу составления протокола берется ФГОС ВО.

Участия работодателей в проектировании образовательной программы заключается в рецензировании общих положений; в качестве рецензентов приглашаются ведущие специалисты отрасли, имеющие (как правило) ученую степень. Помимо этого, при составлении базовых рабочих программ дисциплин происходит согласование содержания теоретической и практической частей; обсуждаются темы и содержание курсовых проектов и выпускных квалификационных работ.

Ежегодно выполняется корректировка образовательной программы в соответствии с запросом промышленных партнеров – заказчиков выпускников программы.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОЙ РЕЗИНЫ**

Т.М. Солдатенко, А.А. Самойлов  
Национальный Томский политехнический университет  
E-mail: ruhtinatm@tpu.ru

## **EDUCATION AND STAFF TRAINING IN THE ELECTRIC INSULATION, CABLE AND HIGH VOLTAGE ENGINEERING**

T.M. Soldatenko, A.A. Samoylov  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The questions of definition of energy of activation of elastomers used for electric insulation. It is shown that energy of activation can be defined by results of experimental tests of samples from rubbers after heat aging.*

Этиленпропиленовый каучук (ЭПР) – это электро- и атмосферостойкий каучук, который устойчив к воздействию озона, солнечного света, химических веществ (разбавленные кислоты, щелочи и полярные растворители), а также очень эластичный при низких температурах. Этиленпропиленовые каучуки имеют хорошие диэлектрические свойства, что в сочетании с высокой атмосферостойкостью и повышенной теплостойкостью делает их весьма перспективными материалами для покрытия электропроводов и кабелей, производства транспортерных лент и приводных ремней, рукавов и прокладок для работы в контакте с агрессивными жидкостями и других [1].

Согласно [2] подтвержденная протоколами климатических испытаний и опытом практического применения, возможностью эксплуатации гибких кабелей с изоляцией из этиленпропиленовой резины: до  $-40^{\circ}\text{C}$ , максимальная рабочая температура жилы  $90-105^{\circ}\text{C}$ . Максимально допустимая температура нагрева жилы при КЗ,  $250^{\circ}\text{C}$ . Длительно допустимая температура нагрева жилы в режиме перегрузки,  $130^{\circ}\text{C}$  (8 час/сутки, 1000 час/срок службы). Согласно [3] эксплуатация гибких кабелей с изоляцией из ЭПР максимальная температура окружающей среды: до  $75-80^{\circ}\text{C}$ , минимальная: до значений в  $-40^{\circ}\text{C}$ . В [3,4] указано, что использование в резинах на основе этиленпропиленового каучука в качестве наполнителя коллоидной кремнекислоты позволяет получить композиции с более высокой энергией активации термоокислительного старения, так же установлено, что энергия активации термоокислительного старения эластомерных композиций не является параметром, однозначно определяющим устойчивость резин к высокотемпературному воздействию. Это связано с тем, что деформационно-прочностные показатели эластомерных композиций и их изменение в ходе высокотемпературного термоокислительного старения зависят не только от химической

природы полимерной матрицы и наполнителя, но и от наличия в материале микро- и макродефектов. Математический аппарат, предлагаемый ГОСТ 9.707-81, основан на уравнении Аррениуса и кинетических уравнениях, которые не позволяют при расчетах учесть дефектность структуры эластомера.

Целью работы являлось исследование теплостойкости этиленпропиленовой резины и рекомендации по её применению в качестве изоляции кабельных изделий.

В качестве оцениваемых физико-механических характеристик выбирают прочность и относительное удлинение при разрыве как наиболее чувствительные к старению показатели. Согласно [5, 6] для этиленпропиленовой резины наиболее чувствительным к старению показателем является именно относительное удлинение при разрыве, поэтому оценку энергии активации будем вести только по полученным значениям данного параметра.

Для экспериментального определения энергии активации этиленпропиленовой резины было проведено тепловое старение в термостатах при трех различных температурах: 115, 130 и 150 °С. По результатам теплового старения, методом анализа физико-механических характеристик (в данном случае – относительного удлинения), определена энергия активации этиленпропиленовой резины. Получившееся значение энергии активации составило 91,62 кДж/моль. Используя полученные характеристики, определен минимальный срок службы кабельного изделия с изоляцией из этиленпропиленовой резины для различных температур: от 70 °С до 90 °С с шагом в 5 °С.

Таким образом, можно сделать вывод о пригодности этиленпропиленовой резины в качестве изоляции гибких кабелей со сроком службы более 30 лет.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Жданов Ю.С., Попов О.А. Применение этиленпропиленовой резины в кабельной технике // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 10. – С. 70–78.
2. Власов А. Б. К вопросу о сроке службы кабелей с резиновой изоляцией // Судостроение. – 2003. – № 1. – С. 45–47.
3. Зуев Ю.С., Дегтева Т.Г. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях. – Москва: Химия, 1986. – 264 с.
4. Fuse N., Kanegami M., Misaka H., Homma H., Okamoto T. Mechanical aging trend in ethylene propylene rubber-insulated safety cables sampled from BWR nuclear power containment.// IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.–2014.–vol. 21.–P. 571–581.
5. Новаков И.А., Каблов В.Ф., Петрюк И.П. Микро- и наноструктура и свойства эластомерных материалов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2012. – 112 с.
6. Chang Su Woo, Sung Seen Choi, Member, Seong Beom Lee, Hyun Sub Kim Useful lifetime prediction of rubber components using accelerated testing// IEEE Transactions on reliability. –2010.– vol. 59. – № 1.– P. 120–123.

**АНАЛИЗ СПЕКТРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ МОЛЕКУЛ В ДУБЛЕТНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЯХ: ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ПОЛОСА  $\nu_3$  ДИОКСИДА ( $^{16}\text{O}^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}$ ) В ОСНОВНОМ ЭЛЕКТРОННОМ СОСТОЯНИИ X<sup>2</sup>B<sub>1</sub>**

М.А. Меркулова, О.В. Громова, Е.С. Бехтерева, О.Н. Улеников  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: mam36@tpu.ru

**HIGH RESOLUTION RO-VIBRATIONAL ANALYSIS OF MOLECULES IN DOUBLED ELECTRONIC STATES: THE  $\nu_3$  FUNDAMENTAL OF CHLORINE DIOXIDE ( $^{16}\text{O}^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}$ ) IN THE X<sup>2</sup>B<sub>1</sub> ELECTRONIC GROUND STATE**

M.A. Merkulova, O.V. Gromova, E.S. Bekhtereva, O.N. Ulenikov  
National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* The Fourier Transform IR spectra of the  $\nu_3$  band of ClO<sub>2</sub> (OClO) have been recorded at 0.0015 cm<sup>-1</sup> resolution with essentially Doppler limited resolution at an instrumental linewidth of 0.001 cm<sup>-1</sup> using the Zürich prototype ZP2001 Bruker IFS 125 HR Fourier transform infrared spectrometer. Band has been analyzed with an improved effective Hamiltonian and a newly developed computer code for ro-vibrational spectra of open-shell free radical molecules including spin-rotation interactions. More than 4200 transitions belonging to these band have been assigned with  $N^{\max} = 21$  and  $K_a^{\max} = 68$  provide a set of 30 accurate effective Hamiltonian parameters for the  $\nu_3$  fundamental band.

Молекула диоксида хлора интересна как с теоретической точки зрения, так как это одна из немногих стабильных молекул с нечетным числом электронов, так и с более практической точки зрения, поскольку она была обнаружена в стратосферной озоновой дыре (Антарктида). Наблюдение за OClO впервые подтвердило роль хлора в цикле истощения озона в верхних слоях атмосферы [1–3].

Помимо этого, диоксид хлора ClO<sub>2</sub> может быть рассмотрен и в других контекстах. Диоксид хлора используется для отбеливания древесной массы в сочетании с чистым хлором. В настоящее время ClO<sub>2</sub> является наиболее используемым методом отбеливания во всем мире. Двуокись хлора - одно из наиболее эффективных, быстродействующих дезинфицирующих средств, способных уничтожать бактерии, вирусы, биопленки, плесень и споры. Его функции как биоцида, альгицида, фунгицида делают его очень мощным дезинфицирующим средством общего назначения, в то же время щадящим для дезинфицируемых предметов [4, 5].

Зарегистрированный спектр представлен на рис. 1, центр полосы расположен около значения 1110,104 см<sup>-1</sup>. Исследуемая полоса является полосой *a*-типа, поэтому для нее характерно наличие трех сильных *R*-, *P*- и *Q*-ветвей. Переходы *a*-типа удовлетворяют следующим правилам отбора:  $\Delta N = 0, \pm 1$ ;  $\Delta K_a = 0$  [6]. Для интерпретации спектра использовался метод комбинационных разностей. Необходимые для этого данные о колебательно-вращательных уровнях энергии основного колебательного состояния были взяты на основании работы наших коллег, которая на данный момент еще не опубликована. В качестве примера таблице 1 представлен фрагмент определенных колебательно-вращательных переходов для полосы  $\nu_3$ , где  $N$ ,  $K_a$ ,  $K_c$  – квантовые числа уровней основного колебательного состояния;  $N'$ ,  $K_a'$ ,  $K_c'$  – квантовые числа уровней возбужденного колебательного состояния;  $\delta$  – разность между экспериментальными и теоретически рассчитанным положением линии.

Переходы, идентифицированные для данной полосы, затем использовались для определения энергетической структуры колебательного состояния ( $\nu_3 = 1$ ).



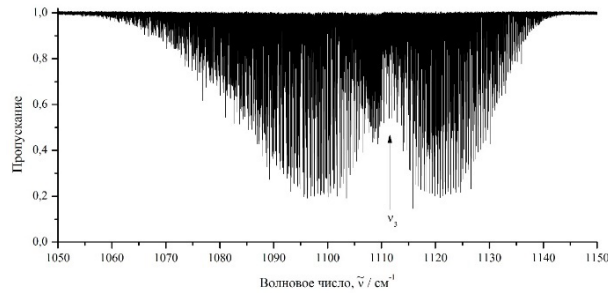


Рис. 1. Спектр молекулы  $\text{ClO}_2$ , где локализована полоса  $\nu_3$

Большинство линий данной полосы выглядят как дублеты из-за спин-вращательного взаимодействия, присутствующего в этой молекуле. Помимо этого, на протяжении всего спектра наблюдается постепенное «слипание» и «разлипание» дублетных линий, что усложняло их интерпретацию. Данные об этих линиях были включены в окончательное варьирование с весом 0.5, либо не включены вовсе. В результате был определен набор из 30 спектроскопических параметров, который обусловлен 1646 (1527 без учета линий с весом 0) энергетическими уровнями. Итоговое среднеквадратичное отклонение составило  $d_{\text{rms}} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ .

Таблица 1 – Фрагмент определенных колебательно-вращательных переходов для полосы  $\nu_3$

$N K_a K_c$	$N' K_a' K_c'$	$J^*$	Положение линии, $\text{см}^{-1}$	$\delta \cdot 10^{-4}, \text{см}^{-1}$
17 15 3	18 15 4	-	1095,3918	3
17 15 3	18 15 4	+	1095,3559	7
19 15 5	20 15 6	-	1094,0494	-1
19 15 5	20 15 6	+	1094,0198	-4
21 15 7	22 15 8	-	1092,6967	-12
21 15 7	22 15 8	+	1092,6714	-11

\* $J$  – полный угловой момент, учитывающий спин электрона:  $J = N \pm 1/2$ , где  $J = N + 1/2$  соответствует «+», а  $J = N - 1/2$  соответствует «-».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Solomon S. The mystery of the Antarctic ozone “hole” //Reviews of Geophysics. – 1988. – vol. 26. – no. 1. – P. 131–148.
2. Solomon S. et al. Visible spectroscopy at McMurdo Station, Antarctica: 2. Observations of OClO //Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 1987. – vol. 92. – no. D7. – P. 8329–8338.
3. Solomon S. Progress towards a quantitative understanding of Antarctic ozone depletion //Nature. – 1990. – vol. 347. – no. 6291. – P. 347–354.
4. White G. C. White's handbook of chlorination and alternative disinfectants. – Wiley, 2010.
5. Finkelnburg W., Schumacher H. J. Das Spektrum und das photochemische Verhalten des Chlordioxyds // Zeitschrift für Physikalische Chemie. – 1931. – vol. 1931. – no. Supplement. – P. 704–716.
6. Ortigoso J. et al. The  $\nu_2$  and  $\nu_3$  bands and ground state constants of OClO //Journal of Molecular Spectroscopy. – 1992. – vol. 155. – no. 1. – P. 25–43.

**ОЦЕНКА DEA-ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕДУЩИХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ  
РОССИИ НА ПЕРИОДЕ 2018-2019 ГГ**

Е.Н. Акерман, А.А. Михальчук, В.В. Спицын  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: spitsin\_vv@mail.ru

**DEA-EFFICIENCY ASSESSMENT FOR LEADING BRANCHES OF THE  
RUSSIAN ECONOMY FOR THE PERIOD 2018-2019**

E.N. Akerman, A.A. Mikhalchuk, V.V. Spitsin  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article examines the indicators of technical efficiency of enterprises in the leading sectors of the Russian economy. We compare industries in terms of technical efficiency and analyze the dynamics of technical efficiency for 2018-2019. The calculation results can serve as indicators in determining priority industries and selecting technology leaders to stimulate their advanced development.*

Актуальность исследования обусловлена технологическим отставанием и низкой эффективностью российских компаний, что придает особую значимость разработке методологии имитационных инновационных стратегий. Целью работы является оценка технической эффективности и формирования имитационных инновационных стратегий развития значимых отраслей экономики России, обеспечивающих существенный вклад в показатели производства и ВВП: фармацевтическая промышленность (ВЭД 21), химическая промышленность (ВЭД 20), машиностроение (ВЭД 28), пищевая промышленность (ВЭД 10), добыча нефти и газа (ВЭД 6), сектор информационных технологий (ВЭД 62 и 63). Применен комплексный метод статистического анализа (методы DEA с индексом Малмквиста (MPI) и дисперсионный анализ) на базе данных о затратных (оплаты труда и основные средства) и доходных (выручка) финансово-хозяйственных показателях за период 2018–2019 гг. из системы СПАРК [1]. По каждой из отраслей была сформирована сплошная выборка компаний, ежегодно удовлетворяющая условиям: выручка не менее 50 млн. р.; основные средства не менее 10 млн. р.; фонд оплаты труда не менее 2 млн. р.

Расчет показателя технической эффективности (TE) проведен с помощью метода DEA с использованием моделей, ориентированных на вход – TE<sub>in</sub>, и моделей, ориентированных на выход – TE<sub>out</sub>. Статистический анализ выполнен с помощью программных продуктов R [2] и STATISTICA [3] на базе данных 2018-2019 гг. и является продолжением исследований [4] на базе данных 2013–2017 гг.

Согласно критерию Хи-квадрат Пирсона, распределения исследуемых показателей эффективности высоко значимо отличаются от нормального закона распределения во всех исследуемых отраслях. Поэтому в расчетах применены более корректные в данной ситуации методы (критерий Краскела-Уоллиса) и характеристики (медиана, квартильный размах, минимальное и максимальное значения - рис.1) непараметрической статистики.

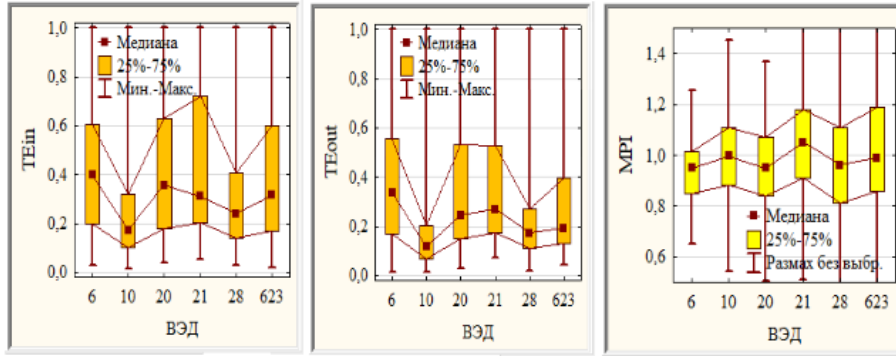


Рис. 1. Диаграмма размаха значений  $TE_{in}$ ,  $TE_{out}$  и  $MPI$  за период 2018-2019 гг. компаний исследуемых отраслей

Результаты дисперсионного анализа (критерий Краскела-Уоллиса) по показателям эффективности исследуемых отраслей экономики представлены в виде значимого упорядочивания соответствующих медиан:

$TE_{in}$ :  $Me(6,21,20,623) >^{**} Me(28) >^{***} Me(10)$

$TE_{out}$ :  $Me(6,21,20) >^{*} Me(623) >^{**} Me(28) >^{***} Me(10)$

$MPI$ :  $Me(21,623) >^{*} Me(623,10) >^{*} Me(28,20,6)$

Использованы общепринятые оценки значимости различий в зависимости от величины  $p$ :  $^{***}$  ( $p < 0,001$ ) – высоко значимые;  $^{**}$  ( $0,001 < p < 0,01$ ) – сильно значимые;  $^{*}$  ( $0,01 < p < 0,05$ ) – значимые;  $^{\dagger}$  ( $0,05 < p < 0,10$ ) – слабо значимые; ( $p > 0,10$ ) - незначимые.

Основная непараметрическая характеристика (медиана) рассмотренных показателей эффективности для каждой исследуемой отрасли экономики представлена на рис. 2.

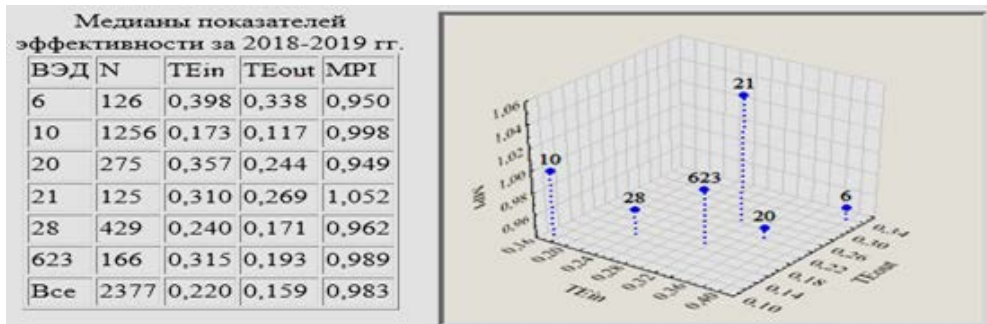


Рис. 2. Медианы показателей и диаграмма рассеяния ВЭД по  $MPI$ ,  $TE_{in}$ ,  $TE_{out}$

Следует отметить низкую эффективность у рассматриваемых отраслей (медианы  $TE < 0,4$ ). При этом, у каждой отрасли эффективность минимизации затрат при фиксированном результате выше эффективности максимизации результата при фиксированных затратах ( $TE_{in} > TE_{out}$ ). В течение 2018–2019 гг. (на фоне 2013–2017 гг. [4]) сохранили относительно высокие значения  $TE_{in}$ ,  $TE_{out}$  ВЭД 21, а низкие значения - ВЭД 10 и 28. При этом ВЭД 623 понизили значения  $TE$ , а ВЭД 6 – наоборот повысили.

По  $MPI$  явных отраслей лидеров и аутсайдеров не выявлено. В ВЭД 28, 20 и 6 у большей половины компаний отмечается снижение эффективности ( $MPI < 1$ ), в ВЭД 21 у большей половины компаний зафиксировано повышение эффективности ( $MPI > 1$ ).

Рассмотренные в настоящей работе показатели целесообразно использовать в эконометрическом моделировании развития компаний и отраслей экономики в качестве характеристик технологической и инновационной активности компаний.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-010-00946 (а).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Информационный ресурс СПАРК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spark-interfax.ru/> (дата обращения: 02.03.2020).
2. Package 'rDEA' [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cran.r-project.org/web/packages/rDEA/rDEA.pdf> (дата обращения: 02.03.2020)
3. Халафян А.А., Боровиков В.П., Калайдина Г.В. Теория вероятностей, математическая статистика и анализ данных: Основы теории и практика на компьютере. Statistica. Excel. – М.: URSS, 2016. – 317 с.
4. Акерман Е.Н., Михальчук А.А., Спицын В.В., Чистякова Н.О. Инновационное развитие и оценка DEA-динамической эффективности высокотехнологичных отраслей экономики России // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2020. – № 51. – С. 173–193.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕПОДАВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН В УСЛОВИЯХ ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ**

И.В. Слесаренко, А.В. Мытников

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mytnikov66@mail.ru

**IMPROVEMENT OF THE TEACHING TECHNOLOGY OF SPECIAL DISCIPLINES IN THE CONDITIONS OF THE EDUCATION INTERNATIONALIZATION**

I.V. Slesarenko, A.V. Mytnikov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** One of the problems facing teachers who implement the educational process in special disciplines for foreign students in English is the achievement of an effective learning outcome in a relatively short time. The task is complicated by the different level of basic training received at various universities in the world, forms of education, as well as in some cases, cultural and religious traditions. In the presented article, one of the possible ways to improve the overall efficiency of the educational process at a technical university is considered, based on the generalization of the experience of teaching the discipline "High Voltage Engineering" for foreign students of the Master's degree in the direction of "Electrical Power Engineering and Electrical Engineering".*

Исследование путей повышения эффективности учебного процесса в технических университетах, является задачей особой науки – инженерной педагогики. Согласно определению основателя этой науки, профессора Адольфа Мелецинека: «Предметом инженерной педагогики является всё, что направлено на улучшение обучения техническим дисциплинам, и все виды деятельности преподавателя, касающиеся целей, содержания и форм обучения» [1]. Важность задачи совершенствования преподавания специальных дисциплин возрастает многократно в условиях интенсивной международной интеграции и интернационализации образования [2]. Особенно это относится к технологиям преподавания специальных курсов для иностранных студентов, проходящих обучение в российских университетах на иностранном языке.

Преподавание специальных дисциплин для иностранных студентов, не владеющих русским языком, имеет ряд особенностей и отличий от учебного процесса для студентов на русском языке окончивших российские образовательные учреждения. Особую значимость приобретает первое занятие, на котором происходит установление не только «предметного», но и «лингвистического» взаимодействия. Крайне важно выбрать правильный темп речи, «контрастность» звуков и быть уверенным, что студенты понимают термины и определения. Для достижения этой цели эффективным является

входной контроль, который проводится в конце первого часа. Оценив глубину знаний, после перерыва, уместно провести подробное обсуждение результатов с объяснением базовых принципов и законов электрофизики. Одной из серьезных проблем, является «отрицательный эффект полярности» уровня базовых знаний, а именно: в одной группе студентов окончивших бакалавриат в одном университете, уровень знаний по фундаментальным дисциплинам различался на условный порядок величины. Одни студенты демонстрировали четкое понимание базовых законов электрофизики, в то время как другие не могли объяснить элементарные понятия. Такая «поляризация» знаний, обозначила серьезную проблему дальнейшего изучения дисциплины. В процессе исследования путей преодоления указанной проблемы было установлено, что одной из наиболее эффективных форм реализации учебного процесса является «технология синтеза классов» или «технология единого цикла» реализуемая по двухступенчатой схеме. Такая схема представляет собой сочетание лекций и практических занятий на реальном оборудовании высокого напряжения, когда изучение теоретического материала в виде лекций, продолжается в ходе одного цикла занятий (две пары подряд), в виде обсуждения с последующим изучением комплекса рассматриваемых электрофизических явлений на высоковольтной установке. Завершается занятие защитой результатов экспериментального исследования в виде семинара, на котором студенты формируют ответы, как на основе лекционного материала, изложенного на данном занятии, так и знаний, и навыков, полученных при подготовке и выполнении лабораторной работы. Дадим пояснение указанной схемы на примере темы «Электрический пробой диэлектрических сред». Лекция начинается с изложения базовых для инженерной электрофизики понятий – напряжение пробоя и электрическая прочность изоляционных структур. Изложение теоретического материала плавно переходит в практическую плоскость. Студентам устно предлагается описать путь формирования канала пробоя в простой среде – атмосферном воздухе, опираясь на определения и формулы, изученные только что. В зависимости от реакции и четкости объяснения и степени участия, следует продолжение-дополнение лекционного материала. Далее следует переход в соседний класс с установкой высокого напряжения. Изложение материала продолжается непосредственно на экспериментальной установке с демонстрацией основных узлов и принципов их работы. После короткого инструктажа по правилам работы с высоковольтным оборудованием следует постановка задач эксперимента и указывается путь их выполнения. Следующий этап – практические измерения пробивных напряжений в различных условиях и типов электродных систем. Измерения сопровождаются характерными звуковыми и визуальными эффектами, характерными для явления пробоя воздуха. Студенты учатся не опасаться высоких напряжений, с каждой экспериментальной серией растет интерес и повышается техническая культура работы с оборудованием. В процессе измерений следуют паузы, вызванные сменой электродов, переключений видов напряжений. В ходе этих пауз происходит обсуждение наблюдаемых явлений с обращением к прослушанной ранее теоретической части. После окончания комплекса измерений, студенты возвращаются в лекционную аудиторию, обрабатывают данные, представляют их в виде таблиц и графиков. Далее следует обсуждение полученных результатов в виде семинара и предметных ответов. В случае необходимости некоторые вопросы из лекционной части повторяются вновь. Степень усвоения материала при такой схеме проведения занятий многократно возрастает.

Студенты, которые проходили начальный этап обучения в ведущих университетах Европы и Азии, подобной методики не практиковали. Все студенты независимо от страны получения базовой подготовки, отмечали новизну и положительный эффект занятий, проводимых по указанной схеме.

В ходе анализа результатов занятий, промежуточного и итогового контроля и семинара по окончании курса можно сформулировать следующие выводы по итогам реализации предлагаемой технологии:

1. Эффективность усвоения новых знаний по специальной дисциплине кратно возрастает по сравнению со стандартным путем реализации учебного процесса, предполагающего формально разделенное проведение лекций и практических занятий.
2. Достигается достаточно высокая степень «выравнивания» уровня знаний по дисциплине в пределах группы. Сглаживается «отрицательный эффект полярности» уровня знаний, наблюдаемый в начале изучения курса.
3. Формируется достаточно позитивный эмоциональный отклик со стороны студентов. Лекция с изложением теоретического материала плавно переходящая в исследования электрофизических процессов на реальном высоковольтном оборудовании, сопровождаемых впечатляющими звуковыми и яркими визуальными эффектами, не оставляет равнодушными даже сонных после акклиматизации и не очень мотивированных студентов. Общий тонус, как физического здоровья, так и учебной активности заметно возрастает.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мелецinek А. Инженерная педагогика. – М.: МАДИ(ТУ), 1998. – 185 с.
2. Приходько В.М., Петрова Л.Г., Соловьев А.Н. Новый формат реализации задач международной интеграции инженерного образования // Высшее образование в России. 2013. – № 8-9. – С. 18–24.

#### **РЫНОК ТРУДА КАК ТРИГГЕР ИЗМЕНЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

И.Е. Никулина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: nie@tpu.ru

#### **THE LABOR MARKET AS A TRIGGER FOR CHANGES IN ADDITIONAL EDUCATION**

I.E. Nikulina

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article is devoted to the development of the labor market and changes in trends in the movement of the Russian economy, which requires careful study and consideration of such changes in the educational programs of the university. The trends occurring in these markets are triggers in forecasting demand and the formation of customer needs, orient the production of educational services towards training, and retraining of specialists in demand on the labor market. The modern labor market was formed in the context of the reforming of the Russian economy and continues to experience the negative impact of the current socio-economic crisis caused by the pandemic and resulting in a decline in the industrial sector and agriculture, a decrease in labor demand, and an increase in total and registered unemployment. The decline in activity in the industrial sector of the economy is accompanied by an increase in demand for service professionals. All this undoubtedly requires changes in the professional retraining of specialists providing services in industrial and social spheres.*

В рыночной экономике существуют товары и услуги общественного пользования, производство которых оплачивается одной частью населения - налогоплательщиками, а пользуются ими другие, например, потребители образовательных услуг. Производя продукты общественного пользования, учебное заведение работает одновременно на двух рынках: на рынке производителя и потребителя. Университеты предоставляют

обществу образовательные услуги определенного вида, потребителями которых являются преподаватели и студенты, и одновременно представляет результаты своей деятельности на рынке труда, потребителями которых являются предприятия и организации различных отраслей экономики. Эта двойственная природа деятельности вузов требует тщательного изучения и учета изменений, происходящих на этих рынках, с целью прогнозирования спроса и формирования потребностей клиентов и ориентации производства образовательных услуг на подготовку и переподготовку специалистов, пользующихся спросом на рынке труда.

Современный рынок труда сформировался в условиях реформирования российской экономики и продолжает испытывать негативное воздействие существующего сегодня социально-экономического кризиса, вызванного пандемией и обусловившего спад в промышленном секторе и сельском хозяйстве, снижение спроса на рабочую силу, рост общей и регистрируемой безработицы. Российские производители прогнозируют ухудшение рыночной конъюнктуры в ближайшие несколько лет. К такому положению приведет сокращения объемов производства и новых заказов, которое становится существенным в условиях международных санкций. Соответственно численность рабочих мест будет сокращаться более быстрыми темпами, а деловые ожидания оставляют желать лучшего с декабря 2017 года [1].

Уровень безработицы в России, рассчитанный по методологии Международной организации труда (МОТ), в июле 2020 года вырос до 6,3%, сообщил Росстат в свежем докладе о социально-экономическом положении. В абсолютных цифрах количество безработных повысилось на 125 тыс. по сравнению с июнем и достигло 4,731 млн человек. За год, относительно июля 2019 года, численность безработных в России выросла на 40,6% [2]. При этом структурные процессы в промышленности в последние годы привели к значительному снижению численности занятых в наиболее приоритетных наукоемких отраслях. Тем не менее, предложение рабочей силы на рынке труда Российской Федерации в целом десять последних лет оставалось относительно высоким и определялось экономическими, демографическими, миграционными, образовательными, социально-психологическими и другими факторами. Однако, требования работодателей к профессиональным компетенциям рабочих в это же время существенно повысились.

Аналогичная ситуация и на рынке труда Томской области. Анализируя основные экономические показатели Томской области за период с 2015 по 2018 года, можно сделать вывод, что при росте внутреннего валового регионального продукта с 471,5 млрд. руб. в 2015 г. до 579,4 млрд. руб. в 2018 г. и небольшом приросте численности занятых в эти годы, происходит переливание занятых из промышленного сектора в сферу услуг. Уровень безработицы тоже достаточно высок – более 6% среди мужчин и 5,9% среди женщин в 2018 г. Нерадостные показатели по безработице, в силу пандемии и экономического кризиса, будут зарегистрированы в 2019-20 гг. Численность населения трудоспособного возраста, в Томской области, незначительно, но уменьшается по разным возрастным группам от 1 до 30 человек. Однако, в целом по России отмечается прирост населения трудоспособного возраста, чему немало способствуют и выход на пенсию работников в более поздние сроки.

Для современной экономики имеет значение воспроизводство интеллектуального потенциала общества, определяющего качественный состав рабочей силы. Численность обучающихся в профессиональных образовательных средне специальных организациях Томской области увеличивается, но в вузах уменьшается. Например, в средних специальных образовательных учреждениях, обучающихся в 2001 году было более 18 тыс. и более 82 тыс. человек училось в высших учебных заведениях, а в 2018/19 учебном году соответственно: 20 281 человек в техникумах и 59 036 человек в вузах г. Томска [3]. Кроме того, особо следует отметить падение спроса на платные образовательные услуги, так как доходы населения в России последние шесть лет падают.

Отмеченное снижение активности в промышленном секторе экономики сопровождается ростом спроса специалистов сферы услуг. Что, безусловно, требует изменений в профессиональной переподготовке специалистов, оказывающих услуги в промышленных и социальных сферах. Как следствие, возникла острая необходимость в оказании образовательных услуг в подготовке экономически активного населения в этой сфере. С входом в активную фазу российской программы цифровизации экономики начался подъем заинтересованности организаций в специалистах со средним и высшим образованием, владеющих навыками адаптации существующего и вновь создающегося бизнеса к условиям цифровой экономики. В настоящее время всем понятно, что возникновение новых рынков сбыта, переход на новые виды продукции и создание благоприятной конъюнктуры сферы услуг внутреннего рынка России, невозможно без когнитивного подхода к развитию любого бизнеса [4].

Результатом этих процессов стал резкий рост спроса на квалифицированную рабочую силу, владеющую системами электронного документооборота, электронным обменом внутренними и внешними данными, организацией и поддержанием веб-сайтов, методиками использования глобальной информационной сетей и их возможностями, а также многое другое, связанное с цифровизацией всех сфер экономического рынка. Тем не менее, в связи с продолжающимся кризисом большинство организаций будут вынуждены свернуть внутрифирменную подготовку и повышение квалификации рабочих и функциональных сотрудников сферы управления. Что говорит о том, что российские вузы подошли вплотную к неизбежному этапу реструктуризации оказываемых дополнительных образовательных услуг, для обеспечения специалистами качественно нового уровня всех сфер экономики, готовых обеспечить ее рост на основе технологической и цифровой модернизации.

Однако рынок образовательных услуг оказался не готов оперативно реагировать на изменение спроса, что не позволило решить проблему дефицита квалифицированных рабочих кадров и ликвидировать диспропорцию спроса и предложения на локальных рынках труда. Наиболее острой проблемой для рынка труда остается неэффективная занятость. Она определяет меру отставания России от развитых стран в производительности труда, безработицу, скрытую от официального наблюдения - когда фактически безработные причисляются к экономически активному населению, а также несоответствие спада производства размеру занятости (излишней рабочей силы).

Необходимо отметить, еще одну не менее важную тенденцию происходящих изменений на российском рынке труда. Несмотря на планы по развитию малого и среднего предпринимательства в РФ (таблица 1) и на усилия, предпринятые за последнее десятилетие, количество организаций малого и среднего бизнеса в России по-прежнему недостаточно. Для примера в американской экономике малый и средний бизнес более чем на 50 процентов обеспечивает поступления в бюджеты штатов.

*Таблица 1– Национальный проект «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы»*

Увеличение численности занятых в малом и среднем предпринимательстве (млн. чел.)				
2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
20,5	21,6	22,9	24	25
Увеличение доли малых и средних предприятий в ВВП, %				
23,5	25	27,5	30,0	32,5
Увеличение доли экспортеров, являющихся субъектами малого и среднего предпринимательства, в общем объеме не сырьевого экспорта, %				
9,0	9,25	9,5	9,75	10,0

На территории Томской области около 33 % всех работающих людей являются сотрудниками малого и среднего бизнеса. По данным Томскстата, за девять месяцев 2019



года оборот малых предприятий составил 113,6 млрд. руб. что больше на 15,6 %, чем за аналогичный период прошлого года. Развитие малого предпринимательства является резервом, дающим возможность поднять жизненный уровень населения и создать новые рабочие места.

Подводя итогу, можно сделать вывод о том, что ситуация на рынке труда в ближайшие годы окажет воздействие на изменение различных форм дополнительного образования в вузах:

1) рост численности населения трудоспособного возраста за счет увеличения пенсионного возраста требует обучения трудящихся новым направлениям возрастной трудовой адаптации и переподготовки, соответствующей требованиям международным профессиональным стандартам;

2) отмечающийся за последние годы прирост трудоспособного населения в различных сферах услуг, включая и промышленный сектор, повысит спрос на подготовку и переподготовку профессиональных сотрудников такого профиля. Что приведет к реструктуризации уже существующих программ обучения;

3) дефицит рабочей силы на локальных рынках труда по причине несоответствия профессионально-квалификационной структуры спроса и предложения требует дифференцированного изучения потребности в рабочей силе и изменения программ обучения.

4) сохранение высокого уровня неэффективной занятости с экономической позиции: неполный рабочий день, самозанятость, введение режима самоизоляции трудящихся, актуализирует потребность обучения подобных трудящихся для приобретения необходимых смежных и дополнительных навыков в таком труде;

5) недостаточный уровень развития сферы малого бизнеса требует подготовки специалистов, способных организовать, расширять и продвигать на рынке собственное дело, формировать стартапы;

6) сохранение низкой конкурентоспособности на рынке труда отдельных категорий граждан: молодежи без практического опыта работы, женщин, имеющих малолетних детей, инвалидов и др., обуславливает развивать в вузах методы привлечения их к ускоренному обучению овладением теми профессиями, которые им интересны. Что требует изучения рынка заинтересованности этой категории граждан в таком обучении;

7) для адаптации трудоспособного населения различных возрастов к развитию цифровой экономики существует необходимость в создании различных «программ обучения цифровизации» в университете, возможно совместно с предприятиями и организациями, озабоченными данной проблемой и с привлечением студентов.

В заключении отметим важную тенденцию, развивающуюся в западных университетах – нацеленность на обучении не только будущих специалистов, но и на «образовании потребителей» [5] различных товаров и услуг. Вот где широкое поле для придумывания и формирования различных программ дополнительного образования.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Индекс IHS Markit PMI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.markiteconomics.com/Public/Home/PressRelease/2a2da5ec9fcb4af8aca0938ef2b77877> (дата обращения 27.08.2020).
2. Лента новостей 20 августа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/economics/20/08/2020/5f3e9f4c9a794783bac54899> (дата обращения 27.08.2020).
3. Статистический ежегодник. – Томск: Томкстат, 2018. – 285 с.
4. Nikulina I. E. et al. The management system of cognitive economics // SHS Web of Conferences. – 2016. – vol. 28.– Article number 01135.
5. Соколинский В.М., Соколинская Т.В. Диссертация как экономический проект // Финансовый бизнес. – 2012. – № 3-4. – С. 61–67.

## АКТИВИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ОНЛАЙН ИЗУЧЕНИЯ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА

И.В. Слесаренко

Национальный Томский политехнический университет

E-mail: slessare@tpu.ru

### ACTIVATING ONLINE ENGLISH LEARNING STRATEGIES

I.V. Slesarenko

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** As university is developing as a participant of 5-100 Russian Academic Excellence Project the demand for research and teaching staff equipped with English skills and enabled to learn and master English on their own arises. The training course Activating Online English Learning Strategies within Tomsk polytechnic university (TPU) in-house English training provision was designed with the purpose to equip university research and teaching staff with strategies to plan, organise and run their own independent studies as well as to provide assistance to those research and teaching staff who design and deliver science-based courses through the medium of English so that they can revamp and offer the system of independent studies to their students within topics of English for academic purposes without putting extra workload onto face-to-face sessions but rather balancing English as medium of teaching and learning and content studies in their classes.*

Стремление правительств многих стран к повышению качества и узнаваемости высшего образования посредством интернационализации научно-образовательной деятельности делает актуальным и востребованным подготовку научно-педагогических работников университетов к педагогической деятельности на английском как иностранном языке [1,2]. Повышение привлекательности образовательных программ подготовки, переподготовки, повышения квалификации иностранных граждан, привлечение в университеты России талантливых студентов, другие мероприятия [3] обуславливают задачи университетов России по подготовке сотрудников к реализации профессиональной деятельности средствами английского языка. Томский политехнический университет (ТПУ) в своей Программе повышения конкурентоспособности [4] определяет задачи образовательной деятельности, среди которых разработка и реализация образовательных программ на английском языке, увеличение доли иностранных студентов и преподавателей в университете. Выполнение данных задач требует не только активного владения английским языком научно-педагогическими работниками (НПР) университета, но и содержательного обновления педагогических компетенций, реализуемых средствами английского языка в условиях интернационализации высшего образования.

В ответ на данный запрос университетов мира, на примере ТПУ, в системе подготовки сотрудников по иностранным языкам одним из приоритетных направлений становится развитие педагогических компетенций НПР средствами английского языка для организации самостоятельного изучения и поддержания уровня владения английским языком, реализации профессиональной подготовки студентов на английском языке, в том числе онлайн и в рамках самостоятельной работы.

В настоящее время программа повышения квалификации «Активизация самостоятельного онлайн изучения английского языка» является одной из четырех программ повышения квалификации, разработанных и реализуемых в ТПУ в целях развития педагогических компетенций научно-педагогических работников университета средствами английского языка. Особенностью программы является ее комплексный характер целеполагания. Целями обучения являются развитие иноязычной коммуникативной компетенции для преподавания на английском как иностранном

языке, совершенствование педагогических компетенций НПП в области разработки учебно-методического обеспечения с привлечением современных учебных материалов зарубежных научно-образовательных организаций, освоение технологий гибридного обучения для организации учебного процесса, самостоятельной работы.

Следующей особенностью программы является ее проектирование и содержательное наполнение, предоставляющие возможность выбора траекторий обучения. Программа предусматривает две траектории обучения: освоение стратегий обучения в целях разработки, планирования и реализации самостоятельной работы НПП, и формирования соответствующего учебно-методического обеспечения для самостоятельного изучения английского языка в академических и профессиональных целях онлайн. Второе направление обучения предлагается НПП, разрабатывающим учебные дисциплины профессионального цикла подготовки и преподающим на английском языке, в целях совершенствования учебного процесса, учебно-методического обеспечения самостоятельной работы студентов по данным учебным дисциплинам.

Другой особенностью программы является практико-ориентированный результат обучения. Обучение по программе и подготовка выпускной аттестационной работы (ВАР) построены на принципах формирования профессионального портфолио – языкового портфеля НПП. В рамках данной программы языковой портфель включает устный и письменный компоненты - разработанные учебно-методические материалы, оформленные в ВАР, а также представленные в публикациях и докладах, подготовленных слушателями программы по вопросам организации учебного процесса, преподавания и изучения профессиональных дисциплин на английском языке, организации самостоятельного изучения английского языка в академических и профессиональных целях, в том числе с привлечением технологий онлайн и гибридного обучения.

В соответствии с выбранным направлением обучения в рамках выпускной аттестационной работы слушатели программы разрабатывают следующие тематики. Направление обучения с целью освоения стратегий самостоятельного изучения и поддержания уровня владения английским языком представлено следующими тематиками ВАР, выполненными в 2019/2020 уч.г.: Стратегии совершенствования самостоятельной подготовки к сдаче Кембриджского экзамена, Стратегии изучения грамматических явлений в целях научного и академического общения, Стратегии изучения терминологии для устной и письменной коммуникации.

В рамках направления обучения по программе, связанного с разработкой учебно-методического обеспечения самостоятельной работы студентов в поддержку реализации учебной дисциплины профессионального цикла подготовки, реализуемой на английском языке, в 2019/2020 уч.г. представлены, в том числе, следующие тематики: Разработка рабочей программы и творческих заданий дисциплины профессионального цикла «Топливо и Материалы Ядерной Техники», Техники запоминания устойчивых выражений в области силовой электроники, Разработка концепции кросс-дисциплинарного модуля «Инструменты анализа и дизайн-мышление для Индустрии 4.0».

Ресурсное обеспечение данной программы повышения квалификации поддержано лицензионными учебно-методическими и справочными материалами электронного образовательного ресурса Английский в академических целях (EAP ToolKit), разработанного Университетом Саутгемптона специально для сотрудников и студентов, владеющих английским как иностранным языком и использующим английский язык в академических и профессиональных целях общения [5]. Авторские учебно-методические материалы представлены в электронном курсе Activating Your Online Learning Strategies, размещенном на платформе LMS Moodle ТПУ и апробированным в весеннем семестре 2019/2020 уч.г. [6].

Реализация индивидуальных траекторий обучения по программе позволяет учитывать большой перечень задач профессиональной деятельности научно-педагогических работников университета. Интеграция современного учебно-методического обеспечения EAP ToolKit в учебный процесс позволяет обеспечивать высокий уровень качества в реализации дидактических подходов к онлайн подготовке сотрудников университета по иностранным языкам.

В заключение подчеркнем, что подготовка по английскому языку сотрудников университета на продвинутом этапе обучения уровнями B1-C2 [7], на примере обсуждаемой программы повышения квалификации, носит практико-ориентированный характер. Цели подготовки по иностранному языку обусловлены задачами профессиональной деятельности научно-педагогических работников, в рамках выполнения университетом мероприятий Программы повышения конкурентоспособности в целях интернационализации научно-образовательной деятельности.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Dimova S., Hultgren A.K., Jensen, K. English-medium instruction in European higher education: review and future research. / S. Dimova, A.K. Hultgren, Ch. Jensen - eds. - English-Medium Instruction in European Higher Education. Language and Social Life (4). - Berlin: De Gruyter Mouton, 2015. - pp. 317–324.
2. Chen H., Han J., Wright D. An investigation of lecturers' teaching through english medium of instruction - a case of higher education in china // Sustainability 2020. – vol. 12.–Article number 4046.
3. Паспорт приоритетного проекта «Развитие экспортного потенциала российской системы образования» в редакции протокола от 30 мая 2017 года № 6. Срок реализации: до 2024 года. Сайт Правительства РФ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/projects/selection/653/28013/> (дата обращения: 13.10.2020).
4. План мероприятий по реализации программы повышения конкурентоспособности («дорожная карта») ТПУ на 2013–2020 годы. – Томск: Издательство ТПУ, 2013. – 102 с.
5. Лицензионный образовательный ресурс Английский в академических целях EAP ToolKit. [Электронный ресурс]— Режим доступа: <https://www.elanguages.ac.uk> (дата обращения: 01.09.2020).
6. Activating Your Online English Learning Strategies [Электронный ресурс]: электронный курс / И. В. Слесаренко. – Электрон. дан. – Томск: ТПУ Moodle, 2020. – Режим доступа: <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=2584> (дата обращения: 08.10.2020).
7. The CEFR Levels. Совет Европы. Общеввропейская шкала компетенций владения иностранным языком (CEFR). [Электронный ресурс].— Режим доступа: <https://www.coe.int/en/web/common-european-framework-reference-languages/level-descriptions> (дата обращения: 13.10.2020).

**КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ СОТРУДНИКОВ  
УНИВЕРСИТЕТА ПО ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ**

И.В. Слесаренко

Национальный Томский политехнический университет

E-mail: slessare@tpu.ru

**INTEGRATED SYSTEM FOR UNIVERSITY STAFF FOREIGN LANGUAGE  
TRAINING PROVISION**

I.V. Slesarenko

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** Proficiency in English as a foreign language is stated as one of the prerequisites in Russian Academic Excellence Project 5-100 for the leading universities in Russia to compete on global scale for academic leadership and recognition. TPU has developed in-house English training provision for its staff and is the only university in Russia that systematically invested in different staff categories learning English for performing professional activities within the University Competitiveness Enhancement Programme. The paper discusses the target university staff categories and their goals for mastering English; training system features; the English training provision integration into TPU performance and new developments within the system.*

Развитие системы подготовки сотрудников Томского политехнического университета (ТПУ) по иностранным языкам обусловлено внешними и внутренними факторами. Внешним фактором становится глобальная задача продвижения университета в мировых рейтингах. Участие в Проекте повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров (Проект 5-100) [1] обусловило цель развития ТПУ – занять высокие места в международных рейтингах университетов мира. К внутренним факторам относятся борьба за академическое лидерство, скоростная интернационализация научно-образовательной деятельности, задачи развития университета как привлекательного места работы и учебы для талантливых студентов и выдающихся преподавателей и ученых, в том числе из-за рубежа. Одним из инструментов достижения данных целей становится комплексная система подготовки сотрудников университета по иностранным языкам. Активное владение иностранным языком, английским, с целью решения задач профессиональной деятельности сотрудников университета позволяет университету выполнять мероприятия Программы повышения конкурентоспособности, в частности по формированию двуязычной научно-образовательной и социальной среды в университете [2]. Таким образом, задачи развития университета и задачи профессиональной деятельности сотрудников в условиях интернационализации обусловили следующие задачи подготовки сотрудников университета по иностранным языкам. В задачи подготовки научно-педагогических работников (НПР) входит повышение уровня владения иностранным языком, подготовка к сдаче сертификационного экзамена для подтверждения уровня владения, согласно Общевропейских компетенций владения иностранным языком (CEFR) от уровня A1 до C2 [3]; подготовка к деятельности преподавания и разработка учебно-методического обеспечения на английском языке, в том числе, для преподавания в формате гибридного обучения; развитие умений устной и письменной научной коммуникации. Задачи подготовки сотрудников сервисных служб по иностранным языкам реализуются в программах на уровень владения A1-A2, содержательное наполнение которых обусловлено функционалом рабочего места, решением ограниченного числа задач устного и письменного общения, таких как: подготовка отдельных видов документации на английском языке, устная коммуникация с иностранными студентами, сотрудниками, партнерами ТПУ в рамках тем, связанных с

профессиональной деятельностью сотрудников сервисных служб. Руководители направлений и подразделений университета изучают английский язык в соответствии с уровнями владения В1-С2. В задачи входит совершенствование умений в устной профессиональной и письменной документной коммуникации с целью совершенствования сфер деятельности университета, в том числе посредством изучения лучших практик зарубежных университетов, других научно-образовательных, научных и инновационных организаций.

В соответствии с обсужденными выше задачами подготовки сотрудников университета, определены следующие характеристики портфеля программ повышения квалификации:

- Многоуровневая электронная система массового обучения сотрудников английскому языку для осуществления научной и образовательной деятельности.
- Единая электронная платформа совершенствования умений устной и письменной академической и профессиональной коммуникации – интеграция в многоуровневую подготовку сотрудников по иностранным языкам учебных материалов лицензионного образовательного ресурса Английский в академических целях [4].
- Модульный характер программ: один модуль – один уровень владения в семестр – объем подготовки соответствует требованиям Общеввропейской шкалы языковых компетенций CEFR [3].
- Индивидуальные образовательные траектории: учтены задачи преподавания, научной и управленческой деятельности.
- Практико-ориентированный результат обучения: учебно-методическое обеспечение учебных дисциплин профессионального цикла подготовки для реализации на английском языке, научные публикации, заявки на соискание поддержки исследований, сертификаты – подтверждение уровня владения английским языком, проекты по изменениям [5].

ТПУ интегрировал систему подготовки по иностранным языкам в жизненный цикл процессов университета по обеспечению мероприятий по интернационализации научно-образовательной деятельности (рис.1).



Рис. 1. Интеграция подготовки сотрудников университета по иностранным языкам

Развитие системы подготовки сотрудников университета по иностранным языкам предполагает постоянную оптимизацию портфеля программ в соответствии с потребностями развития университета. Основными направлениями сегодняшнего этапа развития системы подготовки сотрудников университета по иностранным языкам являются: преподавание на английском языке, открытое электронное образование. Новые программы, разработанные в этом направлении, включают Педагогическое проектирование и преподавание на английском языке в условиях интернационализации образования; Активизация самостоятельного онлайн изучения английского языка; Особенности проектирования англоязычной виртуальной образовательной среды;

Современные образовательные технологии в инженерно-технической подготовке на английском языке. Цель обучения по данным программам – достижение практико-ориентированного результата, в частности, разработка учебно-методических материалов учебной дисциплины профессиональной подготовки для преподавания на английском языке, в том числе в формате гибридного обучения [6].

В рамках направления Научная коммуникация на английском языке, за последнее время разработаны и реализуются программы Техника написания научной статьи на английском языке; Профессионально-значимые умения общения в научно-инженерном сообществе; Презентация результатов научных исследований на английском языке. Цель обучения - подготовка научных текстов для соискания поддержки научных исследований, публикация результатов исследований на английском языке в высокорейтинговых журналах, представление результатов научно-исследовательской деятельности университета в целях популяризации научной деятельности, повышение узнаваемости университета среди широкой общественности.

Меры по организации и реализации комплексной системы подготовки сотрудников университета по иностранным языкам направлены на достижение задач университета в рамках выполнения мероприятий Программы повышения конкурентоспособности ТПУ, таких как: увеличение доли программ, реализуемых на английском языке; увеличение количества статей в базах данных Web of Science и Scopus; увеличение доли иностранных студентов, обучающихся по основным образовательным программам вуза; рост доли зарубежных профессоров, преподавателей и исследователей в численности НПП; доля дохода от международных программ и грантов в общем объеме от приносящей доход деятельности [2].

К дальнейшим целям и задачам развития системы подготовки сотрудников университета по иностранным языкам отнесем следующие:

- Интернационализация портфеля программ повышения квалификации: разработка и реализация совместных программ с ведущими научно-образовательными, научными и инновационными организациями, а также приглашение в качестве преподавателей носителей языка – специалистов в области методики преподавания иностранных языков и современных образовательных технологий в инженерном образовании.
- Развитие виртуальной образовательной среды для массового обучения сотрудников английскому языку, а также самостоятельного совершенствования уровня владения английским языком, с целью осуществления научной и образовательной деятельности.
- Реализация индивидуальных образовательных траекторий для различных целевых аудиторий сотрудников университета в соответствии с задачами профессиональной деятельности: научно-педагогические работники, сотрудники сервисных служб, руководители направлений и структурных подразделений университета.
- Тиражирование лучших практик подготовки сотрудников университета по иностранным языкам для университетов – участников Проекта 5-100, других научно-образовательных, научных и инновационных организаций, заинтересованных в интернационализации своей деятельности.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Проект повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров. Проект 5- 100, официальный сайт. [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.5top100.ru/> (дата обращения: 08.10.2020).
2. План мероприятий по реализации программы повышения конкурентоспособности («дорожная карта») ТПУ на 2013–2020 годы. – Томск: Издательство ТПУ, 2013. – 102 стр.
3. Совет Европы. Общевропейская шкала компетенций владения иностранным языком (CEFR). [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

<https://www.coe.int/en/web/common-european-framework-reference-languages/level-descriptions> (дата обращения: 13.10.2020).

4. Лицензионный образовательный ресурс Английский в академических целях EAP ToolKit. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.elanguages.ac.uk> (дата обращения: 01.09.2020).
5. Положение о проведении итоговой аттестации слушателей программ повышения квалификации по направлению «Иностранный язык». – Томск: ТПУ, 2020. – 35 стр.
6. Слесаренко И.В. Условия реализации программ повышения квалификации для формирования компетенций научно-педагогических работников университета в области English as Medium of Instruction // Язык в образовательном пространстве неязыкового вуза. Теория и практика: материалы II всероссийской научно-практической конференции. – Новосибирск, 2019. – С. 121 – 134.

### **ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ С МАГИСТРАНТАМИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО И ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Е.Ю. Пасечник, О.Г. Савичев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: paseyu@yandex.ru

### **EXPERIENCE IN CONDUCTING RESEARCH WORKS WITH MASTERS IN THE DIRECTIONS OF «ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND WATER MANAGEMENT»**

E.Yu. Pasechnik, O.G. Savichev

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The main task of higher education institutions is to train highly qualified specialists who are able to carry out scientific research and large-scale interdisciplinary projects. They are well versed not only in their specialty, but also in modern scientific achievements and developments. Tomsk Polytechnic University has vast experience in training such specialists thanks to the development of a system for performing research activities in the learning process. In the learning process, magistrates take part in conferences and competitions at various levels, which motivates specialists to engage in scientific research even after graduation.*

В настоящее время перед вузами стоит сложнейшая задача по подготовке конкурентоспособных специалистов, которые должны быть высокопрофессиональными и творческими личностями, которые постоянно стремятся к самосовершенствованию и саморазвитию, находятся в поиске новых открытий и генерации новых нестандартных идей. Только такие специалисты будут востребованы в современном быстроменяющемся мире.

Решить подобную задачу под силу лишь высшему образованию высокого уровня, в основе которого лежит система единства науки-образования-производства при наличии постоянного поиска и отбора одаренной и талантливой молодежи и воспитания творческой личности.

Подобная система воспитания творческой личности складывалась и развивалась в Инженерной школе природных ресурсов (ранее ИГНД, ГРФ и НГФ) годами (Иванова, 2013) и является одной из лучших традиций, бережно сохраняемой и развивающейся и по сей день.

Методом реализации столь сложной задачи всегда являлся и является научно-исследовательская работа, как важнейшая основа учебно-научно-воспитательного



процесса, дающая возможность успешного внедрения развивающих технологий обучения.

Особую значимость эта деятельность приобретает при подготовке магистров. В ИШПР на направлении 20.04.02 «Природообустройство и водопользование» реализуются две магистерские программы: Инженерные изыскания в строительстве и Чистая вода.

В рамках научно-исследовательской работы магистранты обязательно участвуют в полевых работах, выполняют исследования по тематике актуальной для изыскательских организаций и предприятий водоподготовки, отбирают пробы и выполняют их исследование в научно-исследовательских лабораториях ТПУ. Это позволяет создать в процессе обучения условия для раскрытия и реализации личностных творческих способностей студентов, обучению их методологии научных исследований и эксперимента, формированию и развитию способности к быстрой адаптации в сегодняшних изменяющихся условиях. Наиболее эффективно это достигается, когда студент включается в творческий процесс научно-исследовательского коллектива по реальным заказам предприятий или при выполнении работ по грантам.

В последние годы исследования все больше носят междисциплинарный характер, когда создается коллектив из преподавателей и студентов разных направлений. При создании на базе Томских вузов «Большого университета» такой подход будет всячески поддерживаться.

Особое внимание следует уделить участию магистрантов с результатами НИР в конференциях и конкурсах различного уровня. Это помогает получить незаменимый опыт публичного выступления, ответов на вопросы по теме исследования, получить толчок для дальнейшей работы. Кроме того, видя интерес к своей работе со стороны студентов, преподавателей и ученых из других организаций, магистранты осознают значимость выполнения научных исследований при обучении в магистратуре.

Закончив обучение в университете и работая на производственных предприятиях, многие из них продолжают заниматься научными исследованиями, поступая в аспирантуру или просто выполняя совместные проекты с преподавателями вуза.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Голованов А.И., Зимин Ф.М., Козлов Д.В. и др. Природообустройство: учебник. – М.: Колосс, 2008. – 552 с.
2. Иванова Г.М. Комплексная система подготовки высокопрофессиональных творческих специалистов на основе единства научной и учебно-исследовательской работы в ИГНД в рамках Национального исследовательского Томского политехнического университета (традиции, современность, перспективы) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIV Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 65-летию Победы советского народа над фашистской Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг., в 2 т.– Томск, 2010 . – Т. 2. – С. 702–713.

**СМЕШАННОЕ И ГИБРИДНОЕ ОБУЧЕНИЕ В СОВРЕМЕННОМ ВУЗЕ**

С.В. Лавриненко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: serg86@tpu.ru

**BLENDED AND HYBRID LEARNING IN A MODERN UNIVERSITY**

S. V. Lavrinenko

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *In the modern world, more and more educational technologies are being implemented in a distance format, through the implementation of blended or hybrid learning. The article provides a conditional division of blended and hybrid learning, depending on the share of implementation of the educational process in the online form. The material also presents the factors of successful implementation, requirements for the teacher, and information and educational technologies of blended and hybrid learning.*

В связи с неблагополучной эпидемиологической обстановкой из-за распространения инфекции COVID-19, большое количество учебных заведений вынуждены работать в дистанционном формате, либо в формате смешенного обучения.

Термин «смешанное обучение» было внедрено компанией Interactive Learning Centers в конце 90-х годов в связи с разработкой образовательных курсов.

«Смешанное обучение – это образовательный подход, совмещающий обучение с участием учителя (лицом к лицу) с онлайн-обучением и предполагающий элементы самостоятельного контроля учеником пути, времени, места и темпа обучения, а также интеграцию опыта обучения с учителем и онлайн» [1]. Андреева Н. В., Рождественская Л. В. и Ярмахов Б. Б. выделяют следующие факторы успешной реализации смешанного обучения: персонализация; обучение, основанное на мастерстве; среда высоких ожиданий; личная ответственность; практико-ориентированная работа и различные формы групповой работы.

В целом, форму обучения с применением информационно-образовательных технологий в традиционном обучении можно дифференцировать относительно активности использования онлайн обучения (таблица 1) [2].

*Таблица 1 – Формы обучения и ее характеристики*

Форма обучения	Характеристика
С веб-поддержкой	Минимальное количество использования онлайн-материалов (размещение учебного плана, объявления и т.п.)
Смешанная	Менее 45% образовательного процесса реализовано онлайн
Гибридная	От 45 до 80% образовательного процесса реализовано онлайн
Онлайн (дистанционная)	Более 80% образовательного процесса реализовано онлайн

Если проанализировать образовательный процесс в современном вузе, то можно отметить, что более 50% временного ресурса отводится на самостоятельную подготовку, которая так или иначе реализуется в онлайн формате. В связи с этим становится очевидным, что в настоящее время в вузах уже реализуется гибридная форма обучения.

Несмотря на широкое использование данного термина в корпоративном обучении и высшем образовании, многие утверждают, что термин смешанное обучение трудно конкретизировать.

В связи с этим, в работе А.С. Кизиловой, Г. Н. Фадеева и А. А. Волкова приводится следующее определение [3]: «Гибридное или смешанное обучение» – форма организации обучения, в рамках которой традиционная форма в некоторой неравной пропорции смешивается с дистанционной формой обучения, подразумевающей использование компьютерных технологий и ресурсов сети интернет для достижения максимальной эффективности обеих форм обучения». Авторы приводят перечень

требований к преподавателю, необходимых для реализации модели смешанного или гибридного обучения: обладать лидерскими качествами и широким кругозором, уметь повышать уровень мотивации студентов и др.

При этом, активный переход на гибридную или смешанную форму обучения возможен при условии высокого уровня внедрения «информационно-образовательных технологий – совокупность информационно-компьютерных средств и способов, используемых в качестве доминантных в образовательных технологиях и способствующих достижению планируемых целей обучения и воспитания» [4]. К таким технологиям Чистяков В.А. относит рецептивно-образовательные и интерактивно-образовательные: репродуктивно-образовательные (тренажёры, тесты, электронные учебники и др.) и продуктивно-образовательные (базы данных, графические редакторы, программирование и др.).

Несомненно, что смешенное и гибридное обучение с каждым годом все в большей степени будет реализовываться в образовательной системе. При этом, будут активно развиваться и внедряться всевозможные информационно-образовательные технологии. Это позволит повысить уровень персонализации, мотивации и других важных факторов эффективности образовательного процесса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Н.В., Рождественская Л.В., Ярмахов Б.Б. Шаг школы в смешанное обучение. – М.: Буки Веди, 2016. – 280 с.
2. Tomlinson B., Whittaker C. Learning in English Language Teaching: Course Design and Implementation. British Council [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://englishagenda.britishcouncil.org/sites/default/files/attachments/d057\\_bleneded\\_learning\\_final\\_web\\_only\\_v2.pdf](https://englishagenda.britishcouncil.org/sites/default/files/attachments/d057_bleneded_learning_final_web_only_v2.pdf) (дата обращения: 18.10.2020).
3. Кизилова А.С., Фадеев Г.Н., Волков А.А. Гибридное образование: оценка в категориях информационно-аксиологического подхода // Вестник Мининского университета. – 2018. – Т. 6. – № 1. – С. 1–18.
4. Чистяков В.А. Понятие «Информационно-образовательные технологии и их классификация по способу взаимодействия учащихся с информационно-компьютерными средствами» // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №97(03). – С. 1–11.

### АННОТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НА МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ РЕНТГЕНОГРАФИИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.А. Башлыков, В.Г. Спицын

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: Zagta12345@gmail.com

### NEURAL NETWORK ANNOTATION OF OBJECTS ON CHEST X-RAY IMAGES

A.A. Bashlykov, V.G. Spitsyn

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *Misinterpretation of X-ray images can lead to a worsening of the patient's condition. The purpose of this research was to develop an algorithm for automatic annotation of diseases on the X-ray image in order to improve the accuracy of the analysis of medical images. This paper considers various methods for solving the classification problem. During the research a database of annotated medical images of radiography was compiled. On this basis, a compactly connected convolutional neural network was trained and tested. The classification accuracy of developed algorithm is above 66% for 14 classes of diseases.*

Рентгенография является одной из наиболее частных и менее затратных методов неинвазивного исследования. Тем не менее, задача анализа медицинских изображений рентгенографии может быть даже сложнее, чем анализ изображений других методов исследования (например, компьютерной томографии). Из-за сложности анализа часто возникают неверные истолкования изображений, что приводит к ухудшению состояния больного. Методы машинного обучения позволяют повысить точность анализа и снизить вероятность человеческой ошибки, поэтому целью данной работы является создание алгоритма автоматического аннотирования медицинских изображений для определения большого числа болезней.

Аннотация изображений – одна из самых распространённых задач по интеллектуальной обработке изображений, заключающаяся в присвоении исходному изображению определённого ярлыка или метки. Разделяют пять основных видов аннотации изображений: ограничивающие рамки, классификация изображений, линии и сплайны, полигоны и семантическая сегментация. Среди этих видов аннотаций, классификация была выбрана оптимальным методом для анализа медицинских изображений рентгенографии. Всего выделено 14 классов, представляющих различные болезни, определяемые по рентгенографии грудной клетки.

Существует множество методов решения задачи аннотации: машины опорных векторов [2], деревья решений [3], нейронные сети [4]. Среди этих методов выделяется метод свёрточных нейронных сетей, как самый эффективный при большом количестве классов. Свёрточные нейронные сети – нейронные сети, в которых присутствуют слои свёртки и, обычно, слои субдискретизации. Слои свёртки позволяют обрабатывать отдельные части изображения, строить карты признаков и тем самым анализировать сложные изображения. Существует большое множество различных модификаций стандартных нейронных сетей и в ходе аналитического обзора рассматривались такие сети как: стандартная CNN, ZF Net, VGG Net, Inception, ResNet и DCCN [4–6]. По результатам аналитического обзора была выбрана компактно соединённая свёрточная нейронная сеть DCCN (Densely connected convolutional network), как наиболее оптимизированный тип сетей под задачу классификации медицинских изображений.

Для обучения алгоритма требуются размеченные изображения. В ходе поиска наборов размеченных изображений в свободных источниках были найдены несколько баз, которые предоставляли медицинские учреждения для разработок в области машинного обучения: PadChest, CheXpert и ChestX-ray8 [7–9]. Всего в полученной общей базе изображений присутствуют около 112 тысяч изображений с аннотациями 14 классов болезней. Пример таких изображений представлен на рис. 1.



Рис. 1. Примеры исходных аннотированных изображений

Данные изображения были разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки, соответственно эти выборки составляли 80%, 10% и 10% от общего числа изображений.

В процессе предварительной обработки изображения переводились в градации серого, нормализовывались, отражались по горизонтали. Также было проведено уравнивание классов изображений для того, чтобы в обучающих выборках находилось равное количество представителей каждого класса.

В результате работы был разработан алгоритм компактно-соединённой свёрточной нейронной сети для решения задачи аннотации медицинских изображений, полученных методом рентгенографии грудной клетки. Общая схема данного алгоритма представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема работы алгоритма DCCN

Для оценки качества классификации разработанного алгоритма использовались матрицы ошибок, состоящие из истинно / ложно положительных и истинно / ложно отрицательных результатов. Это позволяет получать необходимые истинно-положительные и ложно-положительные пропорции, показывающих доли правильно присвоенных к классу примеров и долю неправильных.

Используя эти пропорции, были построены кривые ошибок (Receiver Operating Characteristic Curve – ROC). Эти кривые сами по себе показывают отношение вышеупомянутых пропорций. Оценка работы алгоритма является площадью под данной кривой (Area under curve – AUC) [10].

Точность классификации разработанного алгоритма составляет более 66% для 14 классов болезней. Алгоритм может быть использован как вспомогательный метод анализа медицинских изображений рентгенографии грудной клетки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goodfellow I. Deep learning book. – Cambridge: MIT Press, 2016. – 773p.
2. Gidudu, Anthony & Greg, Hulley & Marwala, Tshilidzi. (2007). Classification of Images Using Support Vector Machines.
3. Alassar Z. Decision tree as an image classification technique. // The 16th International Conference on Machine Learning and Cybernetics. – 2020
4. Jmour N., Zayen S. and Abdelkrim A. Convolutional neural networks for image classification. // Proceeding of the International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC\_ASET).–Hammamet, 2018. – С. 397–402.
5. Abdelhafiz D., Yang C., Ammar R. et al. Deep convolutional neural networks for mammography: advances, challenges and applications. // BMC Bioinformatics. – 2019. – vol.20. – article number 281.
6. Huang Gao et al. Densely Connected Convolutional Networks// Proceeding of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2017. – P. 2261–2269.
7. Bustos A. et al. PadChest: A large chest x-ray image dataset with multi-label annotated reports // Medical image analysis. –2020.–vol. 66.– Article number 101797.
8. Irvin, J., et al.: CheXpert: A Large Chest Radiograph Dataset with Uncertainty Labels and Expert Comparison. arXiv preprint arXiv:1901.07031
9. Wang X., Peng Y., Lu L., Lu Z., Bagheri M., Summers R. M. ChestX-Ray8: Hospital-Scale Chest X-Ray Database and Benchmarks on Weakly-Supervised Classification and

- Localization of Common Thorax Diseases // Proceeding of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – Honolulu, 2017. – Pp. 3462–3471.
10. Mitchel T.M. Machine learning. – Columbus: McGraw-Hill Science, 1997. – 432p.

## СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ НА БАЗЕ СЕМЕЙСТВА МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32

Гао Жэньцзе, И.А. Ботыгин, А.И. Шерстнёва  
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
 E-mail: zhencze2@tpu.ru

## FINGERPRINT RECOGNITION SYSTEM BASED ON STM32 MICROCONTROLLER FAMILY

Gao Zhencze, I.A. Botygin, A.I. Sherstneva  
 National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The development of a fingerprint recognition system based on the STM32 microcontroller series with the STM32F103ZET6 microprocessor and the JM-101B (AS608) fingerprint scanner is presented. The system supports scanning, entering, comparing and removing fingerprints.

Биометрический контроль доступа – один из динамично развивающихся сегментов рынка в системах контроля и управления доступом (Physical Access Control System, PACS). Среди биометрических систем, на сегодняшний день, доминирует технология, базирующаяся на уникальности рисунка папиллярных узоров на пальцах людей – аутентификация по отпечатку пальца. Системы биометрического контроля доступа по отпечаткам пальцев надежны в работе, обеспечивают высокую достоверность и обладают низкой стоимостью устройств, сканирующих изображение отпечатка пальца.

В настоящей работе описывается разработка системы идентификации по отпечаткам пальцев на базе семейства микроконтроллеров STM32. Обобщенная функциональная структура системы представлена на рис. 1. Используются следующие аппаратные компоненты.

В качестве оптического считывателя отпечатков пальцев используется сканер JM-101B (AS608), обладающий низким энергопотреблением и хорошей адаптивностью к влажным и сухим пальцам. Разрешение: 500 точек/дюйм. Подключается к плате микроконтроллера (MCU) через встроенный в него универсальный асинхронный приемопередатчик (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, UART).

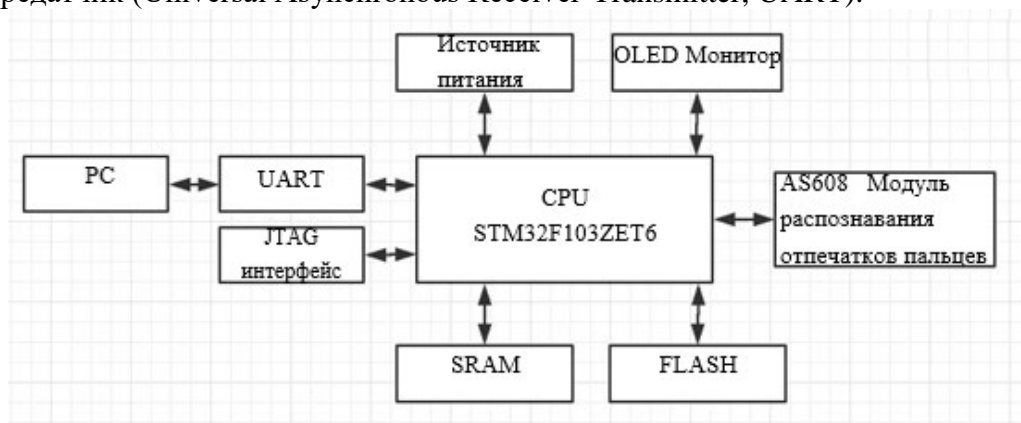


Рис. 1. Функциональная структура системы

Серия STM32F103ZE представляет собой популярный микроконтроллер широкого назначения (32 bit Cortex M3 Performance LINE), удовлетворяющий потребностям

промышленных, медицинских и потребительских рынков. Отличается высокой эффективностью, первоклассной периферией, низким энергопотреблением и доступной ценой. Микроконтроллер имеет ОЗУ, внутреннюю Flash-память и внешнюю статическую память с произвольным доступом (Static Random Access Memory, SRAM). Прямое подключение MCU к компьютеру осуществляется через последовательный порт компьютера и использованием UART-интерфейса MCU. Источник питания с напряжением от 2 в до 3.6 в.

В качестве дисплея используется монитор с OLED матрицей. В OLED-мониторах в качестве источника света используются органические светодиоды и каждый пиксель имеет собственную подсветку, что улучшает качество изображения.

Для программирования, тестирования и отладки используется специализированный аппаратный интерфейс на базе стандарта IEEE 1149.1 (Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture). Сокращенное название стандарта – JTAG (Joint Test Action Group).

Основные тенденции управления идентификацией связаны с увеличением удобства для пользователя. Физическое ношение стандартных пластиковых карт со встроенной микросхемой (smart-карт) также обременительно. Отмечается растущий интерес к применению для smart-карт биометрических методов идентификации. В ряде приложений эти методы могут оказаться более безопасными и удобными для пользователя, чем ввод PIN-кода. Но в будущем, в качестве идентификатора все чаще будут использоваться личные вещи пользователя, которые постоянно находятся с ним. Например, использование технологии отпечатков пальцев для мобильных телефонов или умных часов.

## **ТИПИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ «ВХОД-СОСТОЯНИЕ-ВЫХОД» ЛИНЕЙНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

А.М. Малышенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mam@tpu.ru

## **TYPING THE COMPUTER VIEW OF MATHEMATICAL MODELS «INPUT-STATE-OUTPUT» OF LINEAR STATIONARY DYNAMIC SYSTEMS AND ITS PRACTICAL USE**

A.M. Malysenko

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation. In scientific practice, to study the properties of linear stationary dynamic systems prefer to use their typed mathematical models, including models of the type «input-state-output» (ISO-models). The author of the report proposes to use a model view for storage and use in computers. This view includes two characterizing matrix models - the parameters matrix and the matrix of size its vectors. This ensures that systems are consistent with entry, state, and exit vectors of any order. The report points to the possibility of using this description for individual subsystems of LSD-systems and the subsequent formalized output of the ISO-model of the system as a whole.*

Для обширного класса линейных стационарных динамических систем (ЛСД-систем), к которым относятся многие технические системы в автоматике, электротехнике, теплоэнергетике и во многих других научных дисциплинах, в современных исследованиях и проектных работах предпочитают использовать их математические вход-выходные модели, представленне в типовых формах (таковых предложено уже около двух десятков). Несомненным преимуществом такого описания является

возможность использовать уже накопленные алгоритмы и компьютерные программные средства при решении задач анализа и/или синтеза таких систем.

В настоящее время наиболее часто в научной и инженерной практике используются типовые формы математических моделей «вход-выход» и «вход-состояние-выход», которые стали уже классическими [1–3]. Первая из них удобна для аналитического определения операторных характеристик (передаточных функций и передаточных матриц) и частотных характеристик, с помощью которых относительно просто можно определять вход-выходные характеристики ЛСД-систем. Вторая типовая форма «вход-состояние-выход» (ВСВ-модель, в англоязычных публикациях – ISO-model) дает возможность определять не только вход-выходные характеристики систем, но и оценивать такие их важные фундаментальные свойства, как управляемость, наблюдаемость, достижимость, восстанавливаемость и возмущаемость [4].

Следует заметить, что типизация математических моделей является одной из самых сложных задач при математическом описании динамических свойств систем. Особенно это проявляется при приведении исходной математической модели к ВСВ-форме в ситуациях, когда описываемая система является многомерной по своим входам и выходам. Её общая форма для непрерывных и дискретных по времени линейных динамических систем имеет вид:

$$\sigma x(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ef(t); \quad y(t) = Cx(t) + Du(t) + Gf(t). \quad (1)$$

В этой модели  $x(t) \in R^n$  – вектор состояния системы;  $u \in R^m$  и  $f \in R^q$  – соответственно, векторы полезных и возмущающих воздействий на систему от внешней для нее среды;  $y \in R^r$  – вектор выходных переменных системы;  $A, B, C, D, E, G$  – матрицы соответствующих  $x, y, u, f$  размерностей. Под  $\sigma x(t)$  в (1) понимается первая производная по времени от  $x(t)$ , если описываемая система непрерывного типа, и  $\sigma x(t) = x(t+1)$ , если  $x, y, u, f$  в ней квантованы по времени и  $t$  – относительное время. Таким образом, модель ВСВ-формы (1) описывает системы с произвольным числом элементов во входах  $u, f$  и выходе  $y$ .

Если математическая модель ЛСД-системы имеет вид (1), то полная информация о ней согласно [5] может быть представлена с помощью пары матриц:

$$N = \begin{bmatrix} n_x & n_u \\ n_y & n_f \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} A & B & E \\ C & D & G \end{bmatrix}, \quad (2)$$

первая из которых, *матрица размерностей*, определяет размерности векторов  $x, y, u, f$  системы, а вторая, *матрица параметров*, представляет собой блочную матрицу указанного вида, вбирающую в себя информацию о параметрах системы. Так как элементы матрицы  $N$  системы несут в себе информацию о размерностях ее матриц  $A, B, C, D, E, G$ , то определение последних из  $P$  не вызывает затруднений.

С целью сохранения в формируемой математической модели ЛСД-системы исходных обозначений входящих в векторы  $x, y, u, f$  ее переменных, матрицы из (2) следует дополнить четверкой векторов-столбцов  $X, Y, U, F$ , которые определяют составляющие, включенные, соответственно, в векторы  $x, y, u, f$ .

Математическую модель сложной ЛСД-системы можно представить совокупностью ВСВ-моделей её отдельных  $i$ -ых подсистем, В этом случае каждую из этих ВСВ-моделей следует отражать парой матриц  $N_i, P_i$  вида (2) и четверкой матриц  $X_i, Y_i, U_i, F_i$  с размерами, соответственно,  $n_x \times 2, n_y \times 2, n_u \times 2, n_f \times 2$ . Элементам первого столбца каждой из этих матриц присваивается значение, равное номеру  $i$  описываемой им подсистемы, а второй столбец образуется записью в него соответствующего вектора  $i$ -ой подсистемы, т.е.  $x_i, y_i, u_i, f_i$ .



В сложной ЛСД-системе наряду с динамическими элементами (подсистемами) типа (1) могут быть и статические элементы (подсистемы), описываемые уравнениями вида

$$\mathbf{y} = \mathbf{D}\mathbf{u} + \mathbf{G}\mathbf{f}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{D}, \mathbf{G}$  – матрицы размерностей, соответственно,  $r \times m$  и  $r \times q$ .

При  $\mathbf{f} \equiv 0$  частными видами (3) являются: модели квадраторов входов-выходов, отличающиеся тем, что у них  $n_u \neq n_y$ , модели инверторов ( $n_u = n_y$ ;  $\mathbf{D} = \text{diag}[-1, -1, \dots, -1]$ ) и коммутаторов. В коммутаторах, если  $n_u = n_y$ , то  $\mathbf{D}$  имеет вид матрицы перестановок. При  $n_u - n_y \triangleq \rho > 0$   $\rho$  компонентов  $\mathbf{u}$  не проходит на выход коммутатора и соответствующие им столбцы  $\mathbf{D}$  имеют только нулевые элементы. Подматрица из ненулевых столбцов может быть единичной диагональной или матрицей перестановок.

Подобно динамическим системам или элементам и статические элементы (системы) типа (3) могут быть описаны соответствующими им матрицами размерностей и параметров  $\mathbf{N}_i, \mathbf{P}_i$ , причем

$$\mathbf{N}_i = \begin{bmatrix} 0 & n_{u_i} \\ n_{y_i} & n_{f_i} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_i = [\mathbf{D}_i, \mathbf{G}_i], \quad (4)$$

и тройками матриц  $\mathbf{Y}_i, \mathbf{U}_i, \mathbf{F}_i$ .

Таким образом, математическая модель (1) ЛСД-системы может быть представлена в компьютере двумя матрицами вида (2) или, при желании сохранить исходные обозначения переменных в описываемой ЛСД-системе, матрицами (2) и векторами-столбцами  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{U}, \mathbf{F}$ . То-есть, она отображается совокупностью только матриц и вектор-функций, что легко приспособливает её к последующему использованию в операциях векторно-матричного исчисления. В частности, такое представление, например, очень удобно для исследования указанных выше фундаментальных свойств управляемых линейных стационарных управляемых объектов и систем, а также их устойчивости, каузальности, функциональной воспроизводимости [1, 2, 4].

Описанное выше представление математических моделей ЛСД-систем и их подсистем дает существенные преимущества при решении задач формирования модели «вход-состояние-выход» для сложных многокомпонентных и многомерных по входам и выходам ЛСД-систем и, особенно в тех случаях, когда решаются задачи синтеза сложных систем с анализом различных вариантов исполнения отдельных их подсистем.

Достоинством описанного выше векторно-матричного представления ВСВ-модели является возможность его простого формализованного использования для формирования моделей «вход-состояние-выход» сложных ЛСД-систем, состоящих из динамических и статических подсистем, уже описанных моделями типа (1), (3) и/или (4). Для этого необходимы уже составленные ВСВ-модели для всех подсистем системы, которые, как правило, получить существенно проще, чем сразу ВСВ-модель для всей системы в целом. Каждую из подсистем следует описать соответствующими ей матрицами  $\mathbf{N}_i, \mathbf{P}_i, \mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i, \mathbf{U}_i, \mathbf{F}_i$  а фактические связи между их входами и выходами отобразить традиционным способом, используемым при построении операторно-структурных схем (ОСС), в частности, в теории автоматического управления [2].

В таком случае в структурной схеме системы будут соединения подсистем, типичные для звеньев ОСС: последовательное, параллельное, с обратной связью. Отличительной особенностью структурных схем многомерных по входам и выходам ЛСД-систем могут быть соединения типа «входная вилка»; «выходная вилка»; «параллельное соединение с двумя входами или выходами» «соединение с обратной связью и двумя входами или выходами» [5]. Для всех этих типовых соединений в [5] приведены формулы для получения их ВСВ-моделей по  $\mathbf{N}_i, \mathbf{P}_i, \mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i, \mathbf{U}_i, \mathbf{F}_i$  входящих в них подсистем. Эти формулы могут быть без большого труда запрограммированы, реализованы в

компьютерах и позволяют автоматизировать процесс формирования ВСВ-моделей сложных по структурам линейных стационарных динамических систем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. – М.: Мир, 1971. – 398 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5-ти тт. / под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
3. Гудвин Г.К., Гребс С.Ф., Сольдаго М.Э. Проектирование систем управления. – М.: БИНОМ. Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 911 с.
4. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1985. – 296 с.
5. Малышенко А.М. Математические основы теории систем: учебник для вузов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 364 с.

### СВЕТОДИОДНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Р.Г. Калинин, В.И. Корепанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: rgk4@tpu.ru

### LED MODULE FOR WAREHOUSE LIGHTING

R. G. Kalinin, V. I. Korepanov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This work is devoted to study of a linear LED lamp. In the course of the research, the collection, processing and systematization of literature data on the main trends in the field of LED lighting, approaches to the design of LED lamps, the basic requirements for lighting devices and lighting installations designed to illuminate warehouses were carried out. As a result of the research, a universal, modular, linear, LED luminaire with a given light distribution was developed, conclusions were drawn about the influence of the “fin” design on the temperature conditions of the light device. As a result of the optical calculation, the curves of the light distribution were obtained.*

### **Введение.**

Современные светодиодные системы освещения широко применяются практически во всех областях повседневной жизни: для наружного и внутреннего освещения, дорожного освещения, на кораблях, автомобилях и т.п. Высокая надежность, низкое энергопотребление, длительный срок службы светоизлучающих диодов позволяет реализовать самые смелые и нестандартные проекты, создавать инновационные облучательные установки. Одной из ключевых задач при создании подобных осветительных систем является разработка современных, инновационных осветительных приборов, отличающихся от стандартных решений не только уникальным дизайном конструкции светильника, но и ее функциональностью и простотой.

Целью настоящей работы является разработка универсального модульного светодиодного светильника-радиатора с эффективной системой теплоотвода и вторичной оптикой, обеспечивающей требуемое распределение света.

В работе предлагается конструкция СП, эскиз которого представлен на рис. 1. Ключевой отличительной особенностью конструкции разрабатываемого светильника является наличие «плавника» – вертикальной выступающей части светильника, выполняющей роль радиатора. Такой подход позволяет минимизировать размеры

оптической части и оптимизировать форму и размеры плавника при заданных температурных режимах.

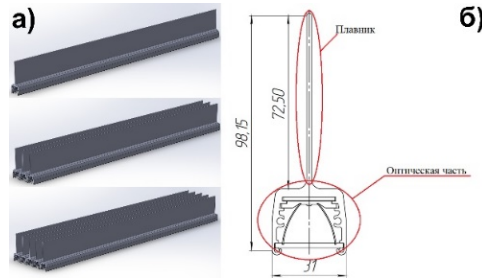
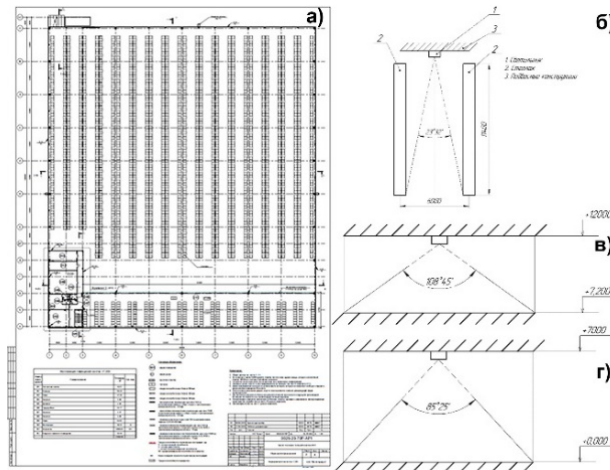


Рис. 1. Эскиз разрабатываемого светового прибора (СП): а – варианты исполнения СП различной мощности, б – эскиз единичного модуля

### Оптический расчет.

Как было отмечено, в работе предполагается разработать светильник для освещения склада стеллажного хранения. Исходя из размеров склада и расположения стеллажей определены типы КСС разрабатываемого светильника обеспечивающие равномерное распределение света (рис. 2).

Рис. 2. а – склад стеллажного хранения, вид в плане, б – определение угла раскрытия КСС для зоны хранения, в – определение угла раскрытия КСС для зоны приема и выдачи груза, г – определение угла раскрытия КСС для зоны мезонина



Проанализировав ключевые преимущества и недостатки различных оптических систем [1–6], применяемых в качестве вторичной оптики для светодиодов, было принято решение разработать светильник с использованием зеркально-линзовой вторичной оптики, рассчитанной в программном обеспечении TracePro 7.3.4. expert. Результаты расчета приведены на рис. 3. В качестве источника света использовался светодиод компании Cree серии XR-G [6]. Угол КСС по уровню  $I_{0,5} = 125^\circ$ .

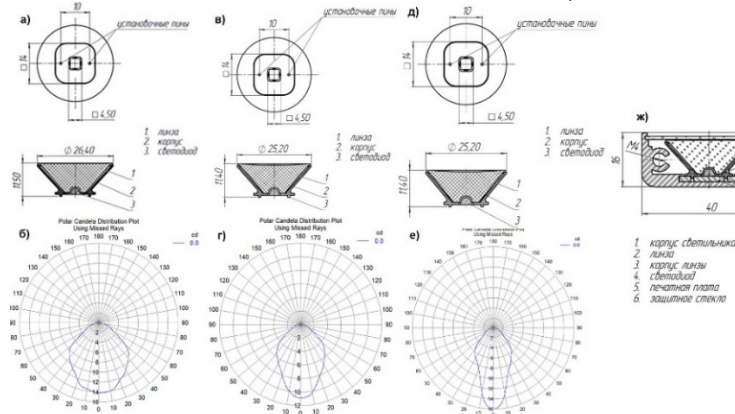


Рис. 3. Результаты расчета кривых силы света для различных зон склада: а, б – зона мезонина, в, г – зона приема и выдачи груза, д, е – зона стеллажного хранения, ж – эскиз оптической части светильника

Опираясь на полученные результаты, была разработана форма оптической несущей части корпуса в ПО «Solidworks» (рис. 3ж). Общий размер оптической части светильника составил 16×40 мм.

### Тепловой расчет.

Опираясь на тепловую модель, изложенную в рекомендациях к разработке светодиодных светильников с использованием светодиодов CREE [7]. Таким образом при температуре в точке припоя равной 55°C, для обеспечения высокой надежности светового прибора необходимо ограничить прямой ток светодиода до 1000 мА. При разработке СП использовались модель платы с металлическим (алюминиевым основанием) обеспечивающим высокую теплопередачу тепла от светодиодов к корпусу светильника.

В результате проведенного анализа тепловых режимов работы светового прибора с использованием ПО «Solidworks flow simulation» при различных модификациях «плавника» определена оптимальная форма и размеры плавников (рис. 4). Полученная конструкция светового прибора обладает улучшенной системой теплоотвода обеспечивающей надлежащий режим работы при температурах окружающей среды до +35 °С.

С учетом необходимости снижения массы светильника наиболее оптимальной конфигурацией светильника с двумя плавниками является конфигурация с плавниками толщиной 2 мм, масса светильника при этом будет составлять ~1 кг.

### Заключение.

В представленной работе предложена инновационная конструкция светового прибора, предназначенного для освещения складских помещений.

Полученная система обладает следующими преимуществами:

- Применение одинаковых, отдельных модулей, что удешевляет процесс изготовления и позволяет набирать требуемое количество модулей для создания необходимого уровня освещенности;
- Более эффективное охлаждение, за счет улучшенной циркуляции воздуха;
- Малый вес единичного модуля. Так для единичного модуля длиной 500 мм вес составляет ~ 1 кг.

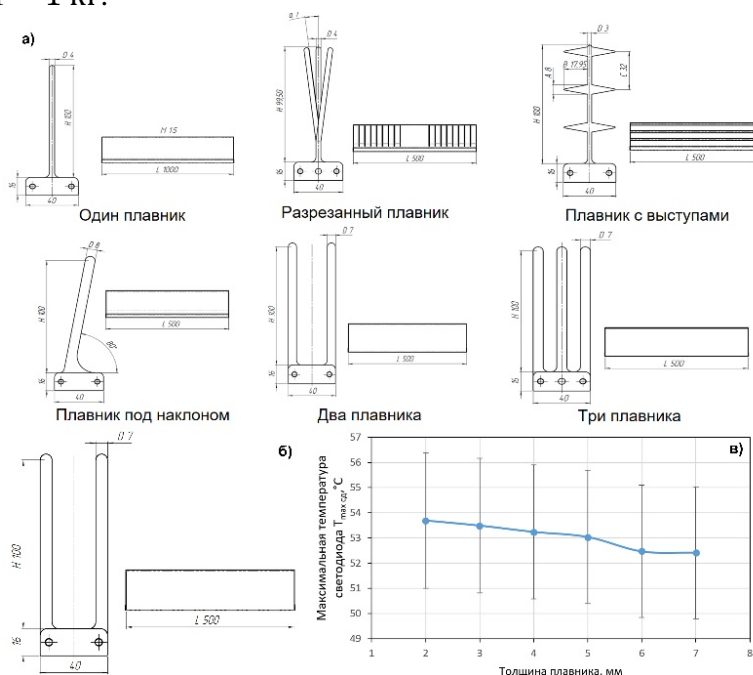


Рис. 4. (а) Модификации плавника, (б) Эскиз светильника с двумя плавниками, (в) зависимость максимальной температура светодиодов при различной толщине плавников

Общие технические параметры светильника приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Общие технические параметры светильника

Тип источника света	LED
Индекс цветопередачи	> 80
Коррелированная цветовая температура	4500, 4750, 5000 К
Световая отдача	94 лм/Вт
Напряжение питания	230 В
Температурный режим работы	от -10 до +35 °С
Коэффициент пульсации	< 5%

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ рынка светодиодной светотехники [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://yugproinstall.com/analis-svetodiod-rinok/> (дата обращения 22.04.2020).
2. Обзор российского рынка светодиодных светильников [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://market.elec.ru/nomer/46/obzor-rossijskogo-rynka-svetodiodnyh-svetilnikov/> (дата обращения 22.04.2020).
3. LBC «lighting business consulting» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.lbconsulting.ru/> (дата обращения 22.04.2020)
4. Российская газета [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rg.ru/2019/09/16/v-rossii-znachitelno-vyroslo-populiarnost-svetodiodnyh-lamp.html> (дата обращения 22.04.2020).
5. ООО «ЛЕД Концепт», Светодиодные системы освещения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://led-concept.ru> (дата обращения 20.04.2020)
6. Cree, Inc., Cree XLamp XP-G LED Data sheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampXPG.pdf> (дата обращения 15.06.19)
7. Cree, Inc., XLamp XP Family LED Soldering and Handling. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampXP\\_SH.pdf](https://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampXP_SH.pdf) (дата обращения 15.06.19).

### ЦЕННОСТНАЯ ДЕТЕРМИНАНТА ГЛОБАЛЬНОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РЕГИОНА

Н.О. Чистякова, А.Б. Жданова, И.А. Павлова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: [chistyakovano@tpu.ru](mailto:chistyakovano@tpu.ru)

### VALUE DETERMINANT OF REGION GLOBAL COMPETITIVENESS

N.O. Chistyakova, A.B. Zhdanova, I.A. Pavlova

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** Article dedicated to the value aspect of region competitiveness. Model of value determinants of all level of economic system is described. Prospective of its realization throughout forming of mechanics and management tools in meso and mirco-level is proved.

Важнейшим условием, как показано выше, способствующим экономическому росту территории, является, пусть, опосредованно, культурный капитал, как фокальная точка, определяемая общей системой ценностей, которую разделяет большинство населения, так как именно это влияет на трансформацию ценностно-целевых детерминант конкурентоспособности.

Набор базовых ценностных доминант, обуславливающих иной тип социальных и производственных коммуникаций на микроуровне, под влиянием внешней среды может быть представлен следующим образом: готовность к сотрудничеству; открытость;

осознание себя, как части большого мира; созидательность (творческая деятельность); социальная и экономическая субъектность; склонность к саморазвитию.

На мезоуровне, трансформации ценностно-целевых доминант будет способствовать формирование и развитие сервисной подсистемы региона, как виртуальной инфраструктурной надстройки над производственным процессом (реальным базисом), которая будет опираться на процессы самоорганизации (снизу-вверх), обусловленные склонностью к коллективной кооперационной деятельности хозяйствующих субъектов и индивидов, с одной стороны, и управляемого воздействия субъекта на объект (сверху вниз), через формирование государством соответствующих условий и институтов регионального и макрорегионального экономического пространства. Целевая функция данной подсистемы будет заключаться в стимулировании взаимодействия между хозяйствующими субъектами и удержании, и развитии квалифицированного человеческого капитала на территории.

На макроуровне, развитие новых ценностных моделей возможно через осознанное проведение государственной политики, нацеленной на развитие инновационных процессов (формирование национальной и региональной инновационных систем), усиливающих взаимодействие между разными акторами системы, активизации кластерной политики (создание технологических сетей между субъектами хозяйственных отношений по принципу кооперационной конкуренции), утверждении промышленной политики совместно со стратегией пространственного развития (позволяющей определить ключевые отраслевые специализации, направленные на развитие гетерогенных (по основным характеристикам) регионов, за счет макрорегионального подхода), развитию городских пространств, и, наконец, формированию системной государственной региональной политики, нацеленной на развитие локальных преимуществ с учетом влияния и включения в глобальные экономические процессы и рынки.

Тогда, модель ценностно-целевой детерминанты глобальной конкурентоспособности региона (в развитие модели Майерса-Стамера [1]) содержит все уровни экономических отношений и позволяет через набор системных шагов постепенно, эволюционно, с учетом специфики территорий, через коллективные кооперационные эффекты, обусловленные процессами самоорганизации трансформировать модель воспроизводства общественных отношений от общества потребления к «обществу интеллектуальному» (рис. 1)



Рис. 1. Модель ценностно-целевых доминант конкурентоспособности региона

Реализация подобной модели через формирование ценностно-целевых детерминант на каждом из уровней экономических отношений, возможна, при реализации комплексной государственной политики, через формирование соответствующих механизмов и инструментов управления на мезоэкономическом уровне.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Meyer-Stamer, Jörg. Mesopartner Working Paper 14: Mesopartner. Systemic Competitiveness Revisited – Duisburg, 2005 – P.30

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ MCU И MCNP ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЯДЕРНОЙ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В.В. Верхотурова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: verhoturova@tpu.ru

## USE OF MCU AND MCNP SOFTWARE TO BUILD THE COMPETENCES IN SOLVING THE TASKS IN THE FIELD OF NUCLEAR AND RADIATION SAFETY

V.V. Verkhoturova

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article is about the actuality and perspectives of use of special software in developing the competencies to solve the tasks in the field of nuclear and radiation safety of nuclear graduates. Being able to use special software, the graduates can solve the real operational tasks at NPPs and at other nuclear industrial enterprises.*

Современные тенденции в ядерном образовании и подготовке кадров различаются от страны к стране и напрямую зависят от общей ситуации в системе научно-технического образования. Реализация системного подхода в учебных центрах с использованием компьютерных систем моделирования процессов способствует развитию таких аспектов эффективной культуры безопасности на индивидуальном уровне, как:

- снижение количества отказов и ошибок за счет повышения навыков и умений при выполнении ответственных технологических операций;
- повышение компетентности и самоконтроля персонала в стрессовых ситуациях;
- совершенствование навыков и приемов командного взаимодействия;
- безоговорочное соблюдение требований процедур, инструкций, норм и правил.

При обучении решению задач ядерной радиационной безопасности для уточнения нейтронно-физических характеристик обучающиеся традиционно пользуются стандартный код класса MCNP [1]. В системе высшего технического образования РФ и, в частности, в Томском политехническом университете программа MCU активно используется для решения задач реакторной физики. Для выяснения возможных «систематических» различий в значениях основных нейтронно-физических характеристик, полученных при расчетах с использованием MCNP и российской программы MCU, из-за алгоритмических особенностей и используемых библиотек ядерно-физических данных проведен сравнительный анализ основных нейтронно-физические характеристики для ячеечных расчетов реактора типа ВВЭР с использованием программ MCNP и MCU [2].

Коды класса MCNP (Monte Carlo N-Particle transport code) широко используются для моделирования процессов переноса различных частиц в сложных средах, разработанных в США в Национальной лаборатории Лос-Аламоса. Позволяет проводить расчеты различных функционалов, представляющих свертку нейтронного потока с ядерно-физическими данными. Все функционалы – это функции времени и энергии, нормированные на один нейтрон генерации. Функционалы рассчитываются в зонах регистрации, которые представлены в виде различных площадей (сегмент ячейки или несколько ячеек, поверхность, разрез поверхности, несколько поверхностей и т. д.) [3].

Программа MCU (Monte-Carlo Universal) разработана в Курчатовском институте и предназначена для моделирования процессов переноса излучения (нейтронов, гамма-лучей, электронов и позитронов) с использованием библиотек ядерных данных в непрерывном и групповом представлении. Работа над проектом MCU началась в 1982 году. К 1985 году была создана первая версия MCU1.1. На сегодняшний день существует несколько версий программы MCU, в том числе версия MCU-FREE, предназначенная для учебных и научно-поисковых задач. Программа MCU позволяет моделировать

трехмерные системы с произвольной геометрией, используя комбинаторный подход, в котором сложные пространственные формы представлены как комбинации простых тел. Геометрия расчетной модели задается с помощью конечного числа геометрических зон, заполненных однородными материалами, параметры которых задаются пользователем. Для визуализации исходных данных, а также графического отображения дополнительной информации используется программный пакет MCU Office для отображения участков геометрии вычислительной модели в различных плоскостях с сообщениями об ошибках при настройке исходных данных. С помощью MCU рассчитываются эффективный коэффициент размножения нейтронов, распределение энергии в топливных зонах, эффективная доля запаздывающих нейтронов, потоки частиц и другие нейтронно-физические характеристики [4].

Таким образом, использование специализированного программного обеспечения на примере MCU и MCNP позволяет повысить эффективность подготовки будущего персонала объектов использования атомной энергии за счет совершенствования умений в области решения сложных технологических задач и, как следствие, повысит культуру безопасности в российской атомной отрасли.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. IAEA. World survey on nuclear power plant personnel training. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/5360/iaea-world-survey-on-nuclear-power-plant-personnel-training> (дата обращения 01.10.2020)
2. IAEA / Technical reports series N 437 / Economic Performance Indicators for NPP. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS437\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS437_web.pdf) (дата обращения 01.10.2020)
3. IAEA / Commissioning of nuclear power plants: training and human resource considerations. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/7834/commissioning-of-nuclear-power-plants-training-and-human-resource-considerations> (дата обращения 01.10.2020)
4. Nuclear Engineering International / World nuclear industry handbook / 2007.

### **ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИНЖИНИРИНГОВОЙ КОМПАНИИ**

А.Б. Жданова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: zhdanova@tpu.ru

### **TRANSFORMATION OF THE BUSINESS MODEL OF AN ENGINEERING COMPANY**

A.B. Zhdanova

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation. The article is devoted to the basic aspects of new business model of an engineering company. The business model of the flexible engineering company is described. Prospects for the realization of this model in modern conditions is proved.*

Анализируя тенденции развития экономических процессов в обществе на лицо факт усложнения функций организационных систем. Одним из направлений развития является модель бизнеса, основанная на временной комплектации ресурсами и компетенциями под выполнение конкретного инженерного проекта. Такая бизнес-модель проектной организации достаточно новое явление для бизнеса, но благодаря гибкости управления несомненно имеет перспективы для развития в современных реалиях цифровизации и ограничения личных контактов в следствие пандемии.



Представим бизнес-модель такой гибкой организационной структуры на примере инжиниринговой компании. Инжиниринговая компания – компания, специализирующаяся на предоставлении инженерно-технических услуг. Такие компании способны оказывать услуги одновременно в нескольких областях инжиниринговой деятельности организациям-заказчикам, а также привлекать к выполнению работ различных поставщиков оборудования и услуг.

Определим форму организации инжиниринговой компании с непостоянным составом сотрудников как бизнес-модель гибкой инжиниринговой компании. За основу построения модели взята формальная бизнес-модель Остервальдера [1].

Представим отличительные особенности элементов бизнес-модели по Остервальдеру для гибкой инжиниринговой компании. Центральным элементом модели является – ценностное предложение, которое выступает системообразующим фактором. Ценностное предложение – это быстрая адаптация компании под требования заказчика (рис 1).



Рис. 1 Взаимосвязь структурных элементов в бизнес-модели

Ценностное предложение гибкой инжиниринговой компании определяет с одной стороны конкурентные преимущества, с другой стороны набор ключевых метрик бизнеса. К конкурентным преимуществам относится: быстрая трансформация услуг под требования клиента, цена ниже цены конкурентов за счет низких накладных затрат, гарантировано качественные услуги, оперативное взаимодействие с клиентом, адаптация деятельности компании под требования заказчика. Основные метрики бизнеса: время выполнения проекта и прямые затраты на проект, маржинальная прибыль проекта, рентабельность оборотного капитала, рентабельность собственного капитала, виды инжиниринговых проектов.

Метрики результативности бизнеса влияют на состав партнеров и ключевые ресурсы. Гибкой инжиниринговой компании необходимо иметь пул надежных лояльных партнеров, которые обеспечивают компанию информацией, поставкой ресурсов и системой коммуникации. Требование к ключевым ресурсам – быстрота получения и высокое качество. К ключевым ресурсам также относится система взаимодействия в проектной работе, навыки выполнения специализированных технических работ, умение координировать действия различных участников инжинирингового проекта, способность перераспределять риски проекта на его участников.

Ключевым финансовым аспектом данной бизнес-модели является структура доходов и затрат компании. Особенностью выполнения сложных технических проектов, является длительный срок и существенные затраты на труд. Длительный срок выполнения при условии финансирования трудовых ресурсов в течение этого периода ведет к потребности в привлечении оборотного капитала и повышенным финансовым рискам. В структуре затрат предлагаемой бизнес-модели гибкой инжиниринговой компании затраты на труд гибкие, переменные, драйвером которых является заказ клиента. Гибкость трудовых затрат обусловлена наймом исполнителей на временной основе под проект.

Ключевыми участниками приведенной выше бизнес-модели гибкой инжиниринговой компании являются следующие лица:

1. предприятие–интегратор – юридическое лицо, имеющее соответствующие лицензии на выполнение работ и положительный опыт выполнения инжиниринговых проектов.

2. специалисты-исполнители – выступающие как в роли ключевых ресурсов, так и в роли партнеров предприятия-интегратора. Специалисты-исполнители являются либо индивидуальными предпринимателями или самозанятыми, что позволяет перенести часть рисков компании –интегратора на непосредственных исполнителей.

Основным организующим инструментом данной модели являются интернет платформы, позволяющие находить клиентов, участвовать в конкурсных торгах, набирать команду специалистов-исполнителей, API технологии, позволяющие связывать напрямую информационные базы заказчика-предприятия–партнера для получения и обработки необходимой при выполнении проекта информации.

Особенностью данной модели является изменение системы затраты-риски. Структура издержек такой компании представлена в основном прямыми переменными затратами по каждому проекту. Риски распределяется на специалистов-исполнителей, которые как правило готовы брать на себя ответственность за выполняемую работу до принятия проекта заказчиком. Вторым важным аспектом является сокращение потребности в оборотном капитале и перенос финансовых рисков на специалистов-исполнителей. Такая система предъявляет повышенные требования к сокращению времени выполнения проекта за счет четкой организации и коммуникации участников проекта. На наш взгляд дальнейшее развитие организационной управленческой функции гибкой инжиниринговой компании позволит эффективно управлять сложными техническими проектами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Остервальдер А., Пинье И. Построение бизнес-моделей: Настольная книга стратега и новатора – 2-е изд. – Москва: Альпина Пабл., 2016. – 288 с.

#### **ВЛИЯНИЕ УГЛА ЗАТОЧКИ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ НЕПЛАВЯЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРОДА НА ДАВЛЕНИЕ ДУГИ ПРИ АРГОДУГОВОЙ СВАРКЕ**

С.И. Скрипко, А.С. Гордынец, А.С. Киселев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
E-mail: sis9@tpu.ru

#### **EFFECT OF VERTEX ANGLE OF ELECTRODE ON ARC PRESSURE IN TIG WELDING**

S.I. Skripko, A.S. Gordynets, A.S. Kiselev

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation.* Now, there has been a tendency to use powerful single current pulses in TIG welding of parts of small thicknesses and sizes. However, this method has low arc stability in at the initial moment of arc ignition. Arc pressure affects arc stability. The paper presents the results of a study of the effect of vertex angle of electrode on arc pressure in TIG welding.

Одним из основных способов получения неразъемных соединений является аргодуговая сварка неплавящимся электродом, которая позволяет получать неразъемные соединения миниатюрных деталей. В настоящее время наметилась тенденция по использованию одиночных и кратковременных (до 200 мс) импульсов сварочного тока. Недостатком этого способа сварки является низкая пространственная устойчивость дуги в начальный момент времени [1–3].

Давление дуги является одним из факторов, определяющим пространственную устойчивость дуги, которое зависит от различных параметров режима сварки в том числе и от угла заточки рабочей части неплавящегося электрода [4]. Однако в литературе данные о влиянии угла заточки на давление дуги представлены для установившегося режима сварки. Для определения этого влияния в первоначальный момент горения дуги прямой полярности были проведены экспериментальные исследования.

Исследования проводилась на специальной установке, которая позволяет осуществлять бесконтактное зажигание дуги, задавать полярность её горения и в широких пределах регулировать величину тока (0...250 А с дискретностью 1 А) в сварочной цепи. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

В качестве неплавящегося электрода был использован вольфрамовый пруток диаметром 1,6 мм легированный 2% окиси лантана. Дуга зажигалась на медной пластине с отверстием  $\varnothing$  1 мм для измерения давления дуги. В качестве защитного газа был использован аргон, расход которого составлял 5 л/мин. Межэлектродный промежуток ( $h$ ) задавали равным 1,0 мм. Форма импульса сварочного тока представлена на рис. 2. Величину давления дуги  $P$  измеряли в точке А (рис. 2), через 10 мс после момента коммутации полярности её горения, с обратной на прямую.

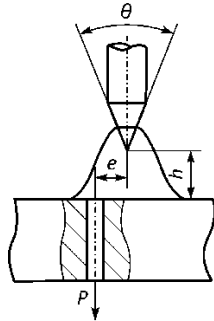


Рис. 1. Схема проведения эксперимента

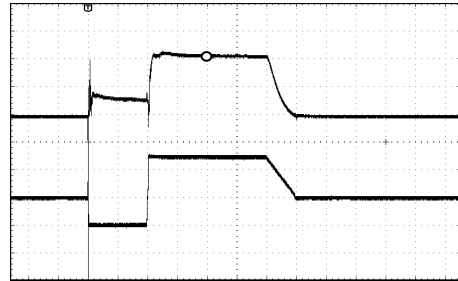


Рис. 2. Типовая осциллограмма ( $\mu_i=100$  А/дел.,  $\mu_p=200$  Па/дел.,  $\mu_t=5$  мс/дел.)

Экспериментальные исследования были проведены с различным углом заточки неплавящегося электрода ( $\theta$ ) – 45° и 180° и различным эксцентриситетом ( $e$ ) – 0 и 1 мм.

Результаты исследования представлены в виде таблицы (таблица 1) из анализа которой следует, что давление дуги при использовании электрода с углом заточки 180° меньше, чем при угле – 45°.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

№	$\theta, ^\circ$	$e, \text{мм}$	$P, \text{Па}$
1	180	0	170
2	180	1	360
3	45	0	470
4	45	1	410

При этом давление дуги уменьшается с увеличением эксцентриситета для острого электрода. Однако при использовании электрода с плоской рабочей поверхностью при увеличении эксцентриситета до 1 мм наблюдалось увеличение давления дуги.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orion с Series | Orion welders [Электронный ресурс] – Режим доступа - <http://www.orionwelders.com> (дата обращения 20.08.2020г.)
2. PUK 5 precision welding technology by Lampert [Электронный ресурс] – Режим доступа - <http://www.lampert.info> (дата обращения 20.08.2020г.)

3. Phaser | primotec – Lampert [Электронный ресурс] – Режим доступа - <http://www.primotecusa.com> (дата обращения 20.08.2020г.)
4. Hiraoka K., Okada A., Inagaki M. Effect of electrode geometry on maximum arc pressure in gas tungsten arc welding // Quarterly Journal of the Japan Welding Society. – 1985. – vol.3 – P.246–252.

### **МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ГРАНИЦ КЛИМАТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В РАЗНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРВАЛЫ**

В.А. Зайцев, И.А. Ботыгин, Ю.В. Волков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: vaz27@tpu.ru

### **MONITORING CHANGES IN THE POSITION AND BOUNDARIES OF CLIMATE CLUSTERS AT DIFFERENT TIME INTERVALS**

V.A. Zaycev, I.A. Botygin, Yu.V. Volkov

Tomsk Polytechnic University

*Annotation. This article describes the development of a web application for the study of the correlation-regression analysis of meteorological data and search, the shift of the geographic center of clusters of different time intervals.*

Изучение изменений в климатической системе Земли в целом или отдельных её регионах является актуальной задачей. Наличие в этой системе глобальных процессов, способных кардинально менять условия жизни биологических объектов, делают задачу наиболее значимой. Сложность исследования и прогнозирования изменений в климатической системе заключается в её многокомпонентности. Количественная оценка вклада каждого климаторегулирующего фактора в общий климатический процесс – задача, не имеющая на данный момент однозначного решения [1]. В настоящее время всё больше внимания уделяется проблемам глобального изменения климата [2–4]. Такое внимание обоснованно, ведь все отчетливее видна растущая нестабильность климата. Гораздо чаще мы становимся свидетелями ураганов, наводнений, резких перепадов температуры, просто «необычной» погоды. Поэтому климатические условия не только обеспечивают возможность существования природы и человека, но и определяют характер жизнедеятельности человека, особенно в некоторых отраслях экономики и промышленности. Несомненно, климатическим условиям свойственна изменчивость во времени и эта изменчивость должна быть ограниченной и медленной. Но в последнее время климат характеризуется высокой скоростью изменения. Поэтому в настоящий момент очень важно не только отследить изменения, но и вычислить закономерность этих изменений. Изучение климатической системы основано на выделении статистически достоверных отклонений характеризующих её параметров. Востребованы исследования характеристик физических процессов, происходящих в климатической системе, на основе создания новых эффективных методов анализа данных. Важной задачей является кластеризация климатических данных, установление границ между классами, оценка и анализ их изменчивости [5].

В настоящем исследовании представлена разработка алгоритма анализа метеорологических данных методом кластеризации групп станций по значению средней температуры и нахождению географических границ кластеров. Исходными данными при проведении экспериментов являлись средние значения температуры с 928 метеорологических станций за период с 1955 по 2010 годы.

Нахождение географических границ кластеров за разные временные интервалы и отображение их на карте представлено на рис. 1.

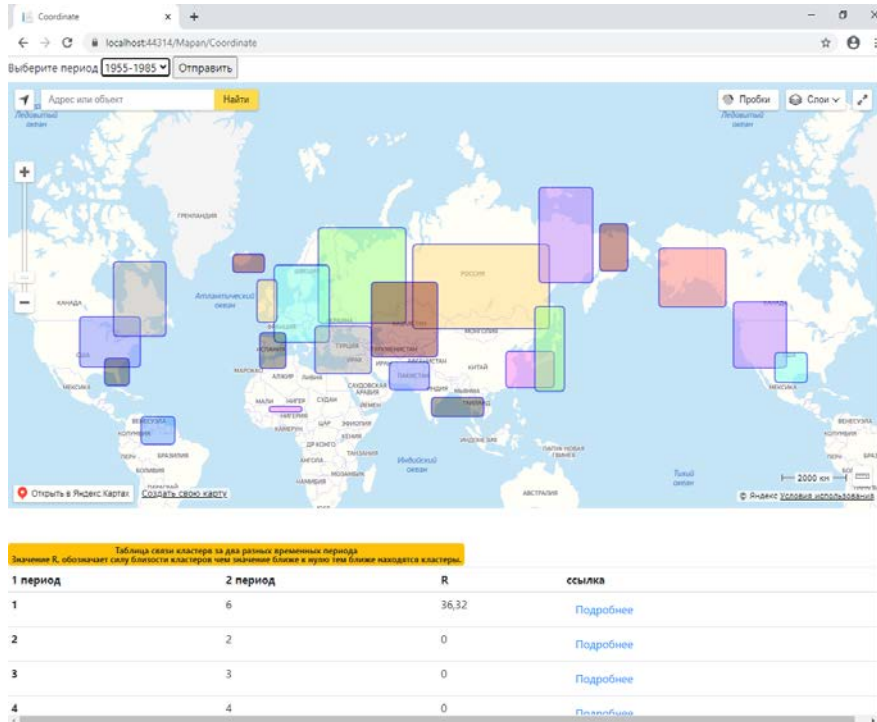


Рис. 1. Границы кластеров на карте во временном промежутке

Для оценки смещения географического центра кластера за разные промежутки времени, вычислялись его минимальные и максимальные долгота и широта. Смещение центра кластера – это половина разности между максимальным и минимальным значениями. Демонстрация на карте смещения географического центра кластера за разные временные интервалы представлена на рис. 2.

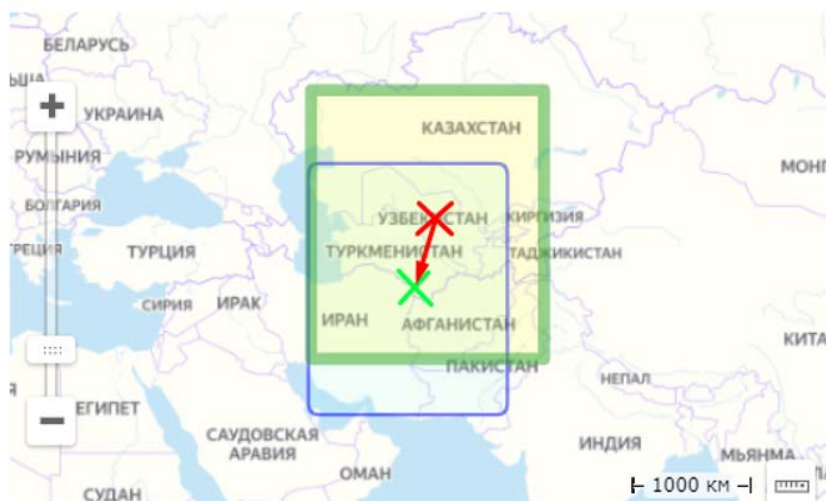


Рис. 2. Смещение географического центра кластера

Мониторинг климатических зон является актуальной задачей и в данном исследовании рассмотрено применение метода выделения связанных компонентов для их получения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков Ю.В. Анализ температурных сигналов и алгоритм их кластеризации // Автометрия. – 2019. – № 3. – С. 38–44.
2. Отдел климатических исследований // Университет Восточной Англии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cru.uea.ac.uk/data> (дата обращения: 15.05.2020).



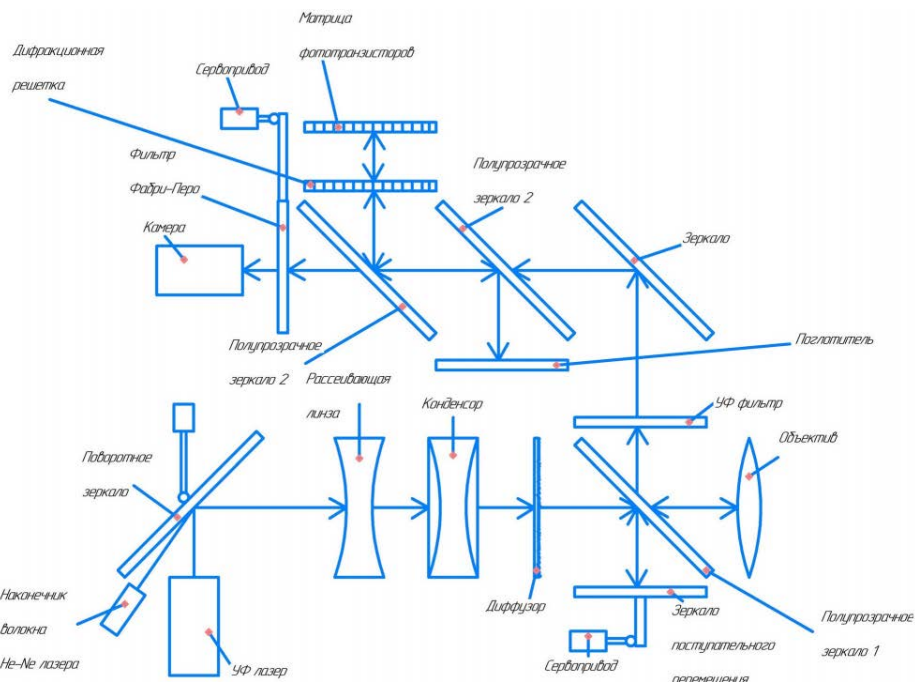


Рис. 2. Схема для пояснения принципа работы системы

Поворотное зеркало служит для выбора источника излучения на одну и ту же ось. К нему подведен механический привод через редуктор от шагового двигателя. Рассеивающая линза служит для расширения пучка лазерного излучения и уменьшения его плотности мощности. Конденсор служит для создания пучка параллельных лучей. Матовый рассеиватель служит для выравнивания по площади плотности мощности излучения. Полупрозрачное зеркало 1 (рис. 2) служит для разделения пучка гелий-неонового лазера на объектный и опорный. Также на нем происходит сложение данных пучков.

Объектив служит для формирования выходного и входного пучков излучения, а также для регулировки фокуса и настройки прибора. Зеркало с возможностью поступательного перемещения служит для регулировки фазы опорного пучка для изучения поверхностной структуры. Данное зеркало имеет возможность поступательного перемещения вдоль оси пучка и имеет привод через фрикционный редуктор, имеющий большую плавность хода по сравнению с зубчатым, от сервопривода. Сервопривод применяется для большей плавности хода, чем шаговый двигатель. При этом в нем имеется контроллер и петля обратной связи, что позволяет избавиться от отслеживания его работы центральным управляющим устройством. Абсорбционный УФ светофильтр служит для поглощения зондирующего излучения ультрафиолетового лазера. Полупрозрачное зеркало 3 (рис. 2) служит для ответвления флуоресцентного излучения на спектральный прибор, который является дифракционной решеткой. Матрица фототранзисторов или фотодиодов служит для преобразования излучения флуоресценции в электрическое напряжение, величина которого пропорциональна интенсивности полосы флуоресцентного излучения. Полупрозрачное зеркало 2 (рис. 2) служит для вывода из оптической системы излучения, отраженного от дифракционной решетки и матрицы измерительных преобразователей, так как это излучение при многократном отражении создает засветку, искажающую показания. Фильтр Фабри-Перо используется в качестве фильтра, имеющего высокую добротность и не создающего интерференционных эффектов. Видеокамера преобразовывает субъективную картину спеклов в цифровую форму. Также она позволяет привязать изображение исследуемого объекта к спектру

флуоресценции, то есть, установить принадлежность спектра к участку исследуемого объекта.

Микроконтроллер выполняет роль центрального управляющего устройства, производит управление двигателями, передает данные с видеокамеры и матрицы фотодиодов на контроллер внешнего интерфейса Bluetooth [3]. Элементы управления позволяют переключать режим работы, инициировать работу, включать-выключать прибор, переключать частоту импульсов. Датчики движения предназначены для идентификации и вычисления параметров поступательного и вращательного движений. Значения их сигналов вычитаются из значений спеклографии. Шаговый двигатель 2 (рис. 2) предназначен для вывода оптической системы фильтра Фабри-Перо в режиме флуоресцентной диагностики. Небольшой дисплей служит для наведения объектива устройства на участок исследуемого объекта, и на нем отображаются настройки прибора в данный момент времени.

Таким образом, разработанная структурная схема спекл-интерферометра позволит в дальнейшем разработать конструкцию, принципиальную электрическую схему и программное обеспечение для создания готового устройства.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Zalevsky Z., Beiderman Y., Micó V., Garcia J. A novel technique for remotely monitoring key biological parameters // SPIE Newsroom. – 2011– doi. 10.1117/2.1201106.003742.
2. Takai N., Iwai T., Ushizoka I., Asakura T. // J. Optics (Paris). – 1980. –vol. 11.–no. 2.–P. 93–101.
3. ESP32 Technical Reference Manual [Electronic resource]. – Available at: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf).

### **РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ**

Ю.В. Анищенко, А.Н. Вторушина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: ajv@tpu.ru

### **DEVELOPMENT OF A MODULE FOR ADDITIONAL SKILLS IN SAFETY**

Yu.V. Anishchenko, A.N. Vtorushina

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This article is devoted to the development of a module for additional skills in technosphere safety for students specializing in different fields of study. Acquisition of knowledge about the hazards of production, its impact on workers' health and environment, methods of safe work and accident prevention is an important part of the safety culture.*

В соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами во время обучения в университете по образовательной программе у студента должны сформироваться не только профессиональные компетенции, но и универсальные. Под универсальными компетенциями понимаются неспецифичные для определенной профессии или отрасли компетенции, которые при этом необходимы для работы, образования и жизни в целом [1].

В Томском политехническом университете для формирования универсальных компетенций студентов в образовательные программы всех направлений подготовки бакалавриата и специалитета включен модуль дополнительной специализации, дисциплины которого являются обязательными для освоения [2]. Студентам



предлагается самостоятельно выбрать траекторию своего развития в области цифровых, управленческих, технологических и других компетенций.

Сегодня специалисту вне зависимости от направления подготовки необходимо быть готовым не только применять подходы по обеспечению безопасности на разных уровнях управления предприятия, но и самому соблюдать установленные на предприятии требования безопасности. На современных предприятиях значительное внимание уделяется формированию и развитию культуры безопасности работников. Культурой безопасности считается квалификационная и психологическая подготовленность всех лиц, при которой обеспечение производственной безопасности является приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящей к осознанию личной ответственности при выполнении всех работ [3].

Одним из основных показателей уровня культуры безопасности считается поведение работников - чем безопаснее поведение работников, тем выше уровень культуры безопасности. Поведение работника можно изменить при информировании его о существующих опасностях и обучении методам безопасного ведения работ. В университете у студента культура безопасности формируется при получении знаний об опасностях, развитии умений и навыков безопасного поведения, подготовке к безопасной работе с оборудованием и химическими веществами и др.

Составляющими производственной безопасности являются охрана труда, промышленная и экологическая безопасность. Современные системы управления в области безопасности основаны на оценке рисков различных опасностей и принятии решений с учетом степени риска. На основе этого разработаны дисциплины модуля дополнительной специализации «Управление безопасностью на предприятии»: «Экологический инжиниринг», «Промышленная безопасность и охрана труда» и «Риск ориентированный подход в обеспечении безопасности на предприятии».

Таким образом, освоение модуля «Управление безопасностью на предприятии»: позволит студентам учитывать вопросы безопасности в своей профессиональной деятельности.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Тарахова И.Ю., Харисова И.Г. Образовательные технологии формирования универсальных компетенций студентов вуза // Ярославский педагогический вестник. – 2018. – №5. – С. 136–145.
2. Понушкова К.А., Анищенко Ю.В. Развитие компетенций по производственной безопасности у студентов различных направлений подготовки // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации (Сагиновские чтения №12): труды Международной научно-практической online конференции: в 2-х ч.– Часть 1. – 2020. – С. 579–581.
3. Пономаренко Д. В., Ивенков С. Г., Панова М. А., Лесных В. В. Проблемы формирования культуры безопасности в нефтегазовой сфере // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 10. – С. 65–70.

**ПРИМЕНЕНИЕ ОПЫТА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПРИ  
РАЗРАБОТКЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОГРАММ ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
«ЯДЕРНЫЕ ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИИ»**

Л.И. Дорофеева, А.П. Вергун

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: dorofeyeva@tpu.ru

**APPLICATION OF THE PHYSICAL AND TECHNICAL EDUCATION  
EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE PROGRAMS IN  
THE FIELD OF "NUCLEAR PHYSICS AND TECHNOLOGIES"**

L.I. Dorofeeva, A.P. Vergun

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The level training increasing problem of students in Isotope technologies and materials, having demanded competences in the field of Nuclear physics and Technology, is relevant for enterprises characterized by high level of technique and technology, automation and knowledge-intensity, as well as scientific and educational organizations. The work considers the main issues on the organization of the educational process in cooperation with enterprises - partners in the conditions of development of the joint training.*

Развитие современного общества связано с потребностями в подготовке высококвалифицированных кадров. Высокий уровень техники и технологии современных предприятий ядерно-топливного цикла характеризуется развитием автоматизации, наукоёмкостью и повышенными требованиями к профессиональной подготовке кадров, которая является актуальной задачей в настоящее время.

Опыт физико-технического образования при подготовке кадров показывает, что повышение уровня подготовки бакалавров и магистров для атомной отрасли [1], неразрывно связано с применением научно-обоснованной методологии обучения, созданием образовательных структур на базовых предприятиях.

Изменения в системе образования в целом вызваны потребностями в навыках и компетенциях, прежде всего профессиональных [2], которые претерпевают изменения в зависимости от запросов общества, в силу его динамичного развития [3–12]. Система образования, основанная на образовательных стандартах, динамично развивается, учитывая преобразования в социально-экономических структурах общества, а также с учётом запросов предприятий-работодателей к подготовке кадров.

Формирование образовательной программы с учётом накопленного опыта в развитии физико-технического образования происходит совместно с предприятиями-партнёрами при взаимодействии по передаче опыта, а также при формировании совместных образовательных структур (например, учебных лабораторий [13]) на базовых предприятиях, прохождение научно-исследовательской, преддипломной практик на базе предприятий-партнёров, проведение совместных научных исследований и других мероприятий, которые положительно влияют как на образовательный процесс в целом, так и могут привести к созданию новейших технологических продуктов.

При формировании образовательной программы по изотопным технологиям и материалам [14] повышение уровня профессиональной подготовки магистрантов происходит при объединении научно-интеллектуального потенциала вуза и сотрудников разделительных предприятий Сибирского региона. В учебной лаборатории на базе завода разделения изотопов Сибирского химического комбината будущие выпускники образовательной программы изучают основное и вспомогательное технологическое оборудование предприятия, приборы технологического контроля и аварийной защиты, методики контроля качества готового продукта, масс-спектрометрию и спектральный анализ.

Создание такого вида лабораторий на предприятиях ядерно-топливного цикла позволяет приблизить учебный процесс к современному уровню производства и является передовым опытом в подготовке кадров.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Власов В. А., Дорофеева Л. И., Вергун А. П. Особенности компетентного подхода при разработке магистерской программы по физике кинетических явлений // Совершенствование содержания и технологии учебного процесса: сборник трудов научно-методической конференции – Томск, 2010. – С. 179–181.
2. Власов В. А., Дорофеева Л. И., Вергун А. П. Разработка магистерской программы подготовки специалистов на кафедре технической физики // Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности: сборник тезисов докладов IV Международной научно-практической конференции – Томск, 2007. – С. 149.
3. Брит Н. В. Современные подходы к подготовке управленческих кадров для предприятий Минатома РФ // Технология и автоматизация атомной энергетики: материалы отраслевой научно-технической конференции – Северск, 2003 – С. 124–126.
4. Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Дядик В.Ф., Селиваникова О.В. Вклад томских физико-техников в развитие атомной промышленности России // Известия Томского политехнического университета, 2010. – Т. 316, № 4. – С. 187–193.
5. Вузы как центры инноваций в регионах и отраслях // Двенадцать решений для нового образования: доклад центра стратегических разработок и высшей школы экономики. – Москва, 2018. – С. 58–62.
6. Хеннер Е. К. Профессиональные знания и профессиональные компетенции в высшем образовании. // Образование и наука, 2018. – Т. 20.–№ 2. – С. 9–31.
7. Лошкарева Е., Лукша П., Ниненко И., Смагин И., Судаков Д. Навыки будущего. Что нужно знать и уметь в новом сложном мире. – Москва: GEF, 2017. – 93 с.
8. Исакова А.И., Исаков А.М. Трудоустройство выпускников вуза как критерий качества подготовки специалистов // Современные тенденции развития непрерывного образования: вызовы цифровой экономики: материалы международной научно-методической конференции – Томск, 2020 – С. 153–154.
9. Катаев М. Ю. Взаимодействие студентов вузов и предприятий. Российский и зарубежный опыт // Современные тенденции развития непрерывного образования: вызовы цифровой экономики: материалы международной научно-методической конференции – Томск, 2020 – С. 3–5.
10. Современное российское образование: проблемы и перспективы развития / Под ред. Фурсовой В.В., Горбачевой О.В. – Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2012. – 257 с.
11. Barnett R. (ed.) The future university: ideas and possibilities. – New York and London: Routledge, 2012. – 233 p.
12. Кербель Б. М., Попова И. Г., Филипас А. А. Формы и принципы организации корпоративного ядерного университета // Открытое образование. – 2004. – № 5 – С. 84–90
13. Власов В. А., Вергун А. П., Дорофеева Л. И., Орлов А.А., Мышкин В.Ф. Подготовка специалистов по разделению изотопов в условиях совместной инновационной работы с предприятием // Совершенствование содержания и технологии учебного процесса: сборник трудов научно-методической конференции. – Томск, 2010. – С. 92–93.
14. Дорофеева Л. И., Вергун А. П. Реализация магистерской программы по изотопным технологиям в условиях развития электронной образовательной среды // Современные технологии, экономика и образование: сборник трудов Всероссийской научно-методической конференции. – Томск, 2019. – С. 96–98.

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

С.В. Силушкин, Н.С. Сомов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: silushkinsv@tpu.ru

### FACIAL RECOGNITION ACCESS CONTROL SYSTEM

S.V. Silushkin, N.S. Somov

Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The paper presents the development of a premises access system (laboratory, operational or residential building) based on the face recognition method - the Viola-Jones method. The choice of the method and algorithms for face recognition enables implementation of the system on the Raspberry Pi Model 3B + board. The achieved result allows making a compact and affordable system for small organizations as an automatic access system for a limited number of people.*

Идентификация личности человека, как один из способов решить проблему безопасности цифровых данных и физических вещей, получил развитие в современном информационном мире. Способы защиты данных стремительно развиваются и модернизируются: кодовые замки; пароли на сайтах; распознавание по отпечатку пальца или сетчатки глаза. При этом, самым совершенным способом идентификации личности является распознавание лица человека, так как оно является одним из наиболее различимых критериев личности [1].

Процесс распознавания лица включает в себя поиск и идентификацию человеческого лица. Эти процессы не являются простыми задачами для решения как на программных уровнях, так и на уровнях вычислительной мощности используемой платформы. Хотя человеческий глаз в процессе жизни находит и идентифицирует человеческое лицо на кадре достаточно легко, но для компьютерной системы это: работа со слабоконтрастными изображениями; применение фильтров для уменьшения влияния шумов и помех; преобразование изображения из слабоконтрастного в контрастное; создание различных векторов и массивов признаков; создание различных критериев лица и т. д. То есть каждая система, идентифицирующая личность человека по лицу – это настроенный аппаратный комплекс и набор алгоритмов по нахождению и распознаванию человеческого лица [1].

Развитие интеллектуальных систем и непрекращающееся совершенствование систем безопасности привело к применению их в объектах гражданской инфраструктуры. Например, система распознавания лиц, разработанная в Пекинском университете Циньхуа (Tsinghua University), была сертифицирована китайским Министерством общественной безопасности для использования в общественных местах [2]. Японское отделение компании Omron, специализирующееся на технологиях распознавания, автоматизации и управления, разработало систему распознавания лица человека для мобильных телефонов [3]. Компания Riya в 2006 году проводила открытое тестирование Web-сервиса контекстного поиска изображений лиц в цифровых фотоальбомах с 70 % точностью [4].

Одной из проблем современных систем является их дорогостоящая реализация, так как в основе своей в них закладывается безопасность объектов военно-космического назначения, финансового рынка и пр. В работе ставилась задача разработки автоматической системы доступа в помещение с использованием метода распознавания лиц. При этом важным аспектом служит ее невысокая стоимость по отношению к промышленным системам безопасности, чтобы иметь возможность установки небольшим компаниям или организациям.

Предложенная к рассмотрению разработка приведена на рис. 1 в виде модулей.

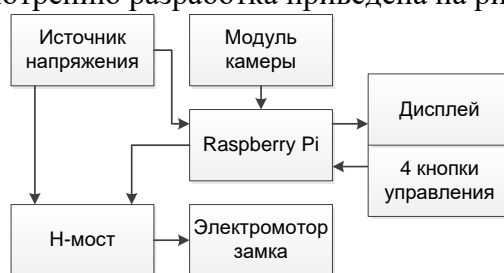


Рис. 1. Структурная схема системы

В основу схемы управления всей системы был заложен одноплатный микрокомпьютер «Raspberry Pi Model 3B+» [5], технические характеристики которого позволяют: проводить вычислительные процессы метода распознавания лиц; осуществлять управление электромотором замка (электромеханический замок); обеспечить пользовательский интерфейс посредством OLED экрана и четырех кнопок. Управление механизмом замка осуществляется при помощи двигателя постоянного тока, рабочее напряжение которого составляет 5 Вольт. Управление подпрограммами происходит с помощью 1,3 дюймового OLED экрана и четырёх кнопок. Для увеличения мощности выходного сигнала управления двигателем с платы Raspberry Pi в схему был добавлен H-мост, который реализован на биполярных транзисторах.

Среди многочисленных методов распознавания были выбраны и использованы в реализуемой системе два метода обработки изображения: метод Виолы-Джонса [6, 7] и алгоритм Local Binary Patterns (Алгоритм локальных бинарных шаблонов) [8], которые способны работать в реальном времени.

Необходимым условием открытия двери является распознавание лиц в режиме реального времени на видеопотоке с модуля камеры: если поступающее с камеры изображение лица алгоритм распознает как «верное», то на схему H-моста подается соответствующий управляющий сигнал и двигатель приходит в движение – дверь открывается. Далее по истечении 5 секунд система проверяет закрыта ли дверь, если закрыта – двигатель приходит в движение в обратную сторону и дверь закрывается, если дверь не закрыта – на экране системы появится просьба закрыть дверь. Если поступающее с камеры изображение лица алгоритм распознает как «чужой», то на схему H-моста сигнал не подается и дверь остается закрытой.

Рассмотрим пример работы системы при работе с изображением лица человека без очков (рис. 2) и с очками для чтения (солнцезащитные очки), рис. 3. Видно, что данный (мешающий) фактор не явился препятствием для определения личности – система выдала имя человека «Nikita» в обоих случаях, что является верным распознаванием.

Эксперимент с закрыванием лица (рис. 4), показал, что программа также нечувствительна к небольшим помехам закрывающим лицо, например, шарф или рука.

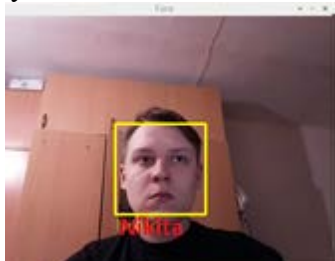


Рис. 2. Распознавание лица человека в реальном времени



Рис.3. Распознавание лица человека в реальном времени с помехой в виде солнцезащитных очков



Рис. 4. Распознавание лица человека в реальном времени с помехой в виде руки, закрывающей нижнюю часть лица

Из-за того что детектирование лица в кадре происходит с помощью примитивов Хаара, программа не «теряет» лицо в кадре, даже если закрыть нижнюю часть лица или закрыть лоб. Однако, как только будут закрыты глаза или нос, то лицо «теряется» программой – не происходит идентификация личности.

В ходе проведения экспериментальных исследований на ограниченной выборке лиц (например, доступ в лабораторию) было выявлено, что система распознает лицо человека с вероятностью около 90 %. Для полноценной оценки системы требуется настройка и проверка ее на реальном объекте.

Преимуществом предложенного решения является её реализация на платформе Raspberry Pi, которая обладает малой мощностью и низкой стоимостью. Недостатки этой платформы (малый объем памяти и низкое быстродействие) не являются для данной системы критичными, так как ее можно легко модернизировать в соответствии с требованиями заказчика, например, использовать более мощную платформу Raspberry Pi 4B. К платформе также возможно подключение видеокамеры с ИК-подсветкой для устранения такого недостатка в работе как отсутствие достаточного уровня освещенности, присущего оптическим системам. Следовательно, такую систему можно предложить в качестве коммерческого предложения для небольших организаций.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Технология распознавания лиц. Data систем. Товары и технологии XXI. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hardbro-ker.ru/pages/recognition> (дата обращения 22.04.2020).
2. Китай сертифицировал систему распознавания лиц. Интернет издание о высоких технологиях Cnews [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.cnews.ru/news/line/kitaj\\_sertifitsiroval\\_sistemu\\_raspoznvaniya](https://www.cnews.ru/news/line/kitaj_sertifitsiroval_sistemu_raspoznvaniya) (дата обращения 22.04.2020).
3. Аблин И. Технология и решения для распознавания лиц и жестов от компании Omron // Control Engineering Россия. – 2015. – № 2 (56). – С. 38–44.
4. Riya предложит сервис распознавания лица для цифровых фотоальбомов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ko.com.ua/riya\\_predlozhit\\_servis\\_raspoznvaniya\\_lica\\_dlya\\_cifrovyh\\_fotoalbomov\\_23670](https://ko.com.ua/riya_predlozhit_servis_raspoznvaniya_lica_dlya_cifrovyh_fotoalbomov_23670) (дата обращения 22.04.2020)
5. Raspberry Pi 3 Model B+. The final revision of our third-generation single-board computer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/> (дата обращения 20.05.2020).
6. Viola P., Jones M.J. Rapid Object detection using a boosted cascade of simple features // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2001. – Pp. 1511–1518.
7. Viola P., Jones M.J. Robust real-time face detection // International Journal of Computer Vision. – 2004. – vol. 57. – no. 2 – P.137–154.
8. Ojala T., Pietikinen M., Harwood D. A Comparative Study of Texture Measures with Classification Based on Feature Distributions // Pattern Recognition. – 1996. – vol. 29. – P. 51–59.

**О ПОДХОДЕ К ТРАНСФОРМИРОВАНИЮ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ  
НАПРАВЛЕНИЯ «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ» В ТОМСКОМ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

Н.В. Барановская, А.И. Беляновская, Д.В. Наркович  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: nata@tpu.ru

**ON THE APPROACH TO TRANSFORMING THE MASTER'S PROGRAM OF THE  
DIRECTION "ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT" AT TOMSK  
POLYTECHNIC UNIVERSITY**

N.V. Baranovskaya, A.I. Belyanovskaya, N.V. Narkovich  
Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article discusses the possibility of transforming the training program for masters of the direction "Ecology and Environmental Management" in accordance with the current trends in scientific research in Russia and European countries regarding approaches to assessing the impact on ecosystems.*

В западных странах получили распространение методы, позволяющие оценить степень воздействия факторов окружающей среды на геосферные оболочки и здоровье человека: оценка воздействия на окружающую среду, анализ материальных потоков, оценка экологического риска и др. [1]. К этой группе также относится метод оценки жизненного цикла (ОЖЦ), представляющий собой процесс оценки интегрированной нагрузки на окружающую среду и человека, связанной с промышленными системами и производством изделий и услуг в течение всего их жизненного цикла, начиная с добычи сырьевых материалов, процессов производства, до окончательного размещения в окружающей среде. Но, на сегодняшний день, ОЖЦ очень слабо учитывает информацию о региональном уровне загрязнения окружающей среды, что особенно важно при производстве продуктов питания.

Для комплексной оценки территории, в частности урбанизированной, с целью получения общей картины загрязнения, степени воздействия на окружающую среду и дальнейшего использования результатов в целях профилактики здоровья населения и поддержания удовлетворительного качества окружающей среды необходимо разработать и апробировать научный подход, позволяющий объединить методику геоэкологических исследований [2] и оценку воздействия на окружающую среду.

Данная задача становится еще более актуальной на городских территориях с разноплановым и многокомпонентным техногенным воздействием. Поэтому реализация комплексных работ по оценке состояния урбоэкосистемы с применением эффективного индикатора, способного отразить техногенное поликомпонентное многофакторное воздействие, картирование распределения загрязняющих компонентов, а также последующее применение полученных результатов в оценке степени воздействия промышленных предприятий на окружающую среду и в прогнозировании негативных последствий данного загрязнения (токсичность для человека и экосистемы) является актуальным.

Современные методы и подходы в области охраны окружающей среды отличаются в России и странах Евросоюза. Использование методов оценки риска в странах Европы предполагают теоретические исследования с использованием моделей LCA, Use-tox и др. В России реализуются методики фактического изучения компонентов природной среды. Объединения двух различных подходов позволяет более комплексно взглянуть на проблему качества среды обитания человека и устойчивости систем в рамках исследования территорий с комплексным природно – техногенным характером. Однако, в настоящее время практически не существует программ, направленных на то,

чтобы использовать модели комплексного «международного» подхода в научной составляющей академических магистратур. Для этого необходимы новые программы подготовки магистров в области развития представлений о европейских методах оценки риска, подходах к регулированию отбора материалов, а также развития исследований в рамках регламента и законодательства Евросоюза (regulation and Convention of EU Framework).

Опыт длительного и результативного сотрудничества между сотрудниками Томского политехнического университета и рядом вузов Франции (Технологический университет Труа, Школа искусств и ремесел г.Бордо) в плане разработке научных основ данной комплексной оценки показал необходимость актуализации и некоторого трансформирования образовательных технологий, реализуемых в программе магистратуры «Экология и природопользование». Главная идея такой трансформации – создание нового образовательного модуля и его реализация в рамках направления подготовки магистров «Экология и природопользование» с усилением научной составляющей, которая может быть в дальнейшем развиваться в аспирантуре с выходом на защиты под двойным руководством. Новый модуль, создаваемый с учетом европейских практик, позволит подготовить магистров готовых к развитию научной составляющей данного направления. Это приведет к совершенствованию методик оценки риска, реализуемых в странах Европы на основе фактической информации, получаемой в ходе реализации совместных исследований в рамках двойных аспирантур. На кафедре геоэкологии и геохимии ТПУ (ныне – Отделение геологии Инженерной школы природных ресурсов) имеется опыт реализации программ двойных дипломов как на уровне магистратуры, так и аспирантуры. Так, в течении 2009 – 2015 годов реализовывалась магистерская программа двойного диплома с университетом Франции Париж - Сюд, которая позволила обогатиться опытом в области систем подготовки магистров в Европейском вузе, а также кредитной системе оценки знаний и требований к подготовке программ курсов. Кроме того, опыт реализации двойной аспирантуры с Технологическим университетом Труа (совместная защита в 2015 и 2017 годах) и Школой искусств и ремесел (г.Бордо) (совместная защита в 2019 году) позволил ознакомиться с возможными подходами к реализации научных работ в европейских вузах. Проект внедрения нового модуля в рамках реализации программы магистратуры «Экология и природопользование» в Томском политехническом университете направлен на совершенствование программы магистратуры в области подготовки магистров, способных овладевать знаниями методов оценки риска на современном европейском уровне с развитием в дальнейшем совместных научных направлений в ходе реализаций российско – европейских исследований в области охраны окружающей среды и устойчивого развития территорий и реализации проектов двойных аспирантур.

*Работа поддержана Государственным Задаaniem РФ «Наука». Проект FSWW-0022-2020.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Bratec T. et al. Towards integrating toxicity characterization into environmental studies: case study of bromine in soils // Environmental Science and Pollution Research – 2019. – vol.20. – no.19. – P.19814–19827
2. Рихванов Л.П. и др. Эколоого – геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения –Томск: Курсив, 2006.–216с



**ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ ПРЕССОВКИ ОБМОТОК СИЛОВЫХ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА**

А.В. Мытников, В.В. Стругов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mytnikov66@mail.ru

**POWER TRANSFORMER WINDING CONTROL TECHNOLOGY BASED ON  
PULSE METHOD**

A.V. Mytnikov, V.V. Strugov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article is devoted to new approach of transformer winding press control. It is established that single stage control technology based on pulsed method is effective enough. For control process is necessary to use probing impulse only.*

Современный этап развития энергетики характеризуется интенсивным развитием технологий обеспечивающих надежную работу всех основных составляющих электроэнергетической системы. Общеизвестным является факт, отставания существующих технологий контроля состояния трансформаторного оборудования от требований сегодняшнего дня [1, 2]. В статье изложены результаты экспериментов, исследования контроля прессовки обмоток трансформаторов на основе импульсного метода, известного как метод низковольтных импульсов [3].

Распрессовка обмоток представляет собой начальную стадию дефектного состояния, которая предшествует механическим смещениям и повреждениям витковой изоляции. Не смотря на наличие методов вибрационного контроля, достоверный контроль прессовки под рабочим напряжением остается проблемой. Одним из путей решения проблемы может послужить известный и хорошо зарекомендовавший себя метод [4].

Эксперименты проводились на модели обмотки трансформатора, с выведенными на панель корпуса прибора отпайками. Зондирующий импульс с параметрами 200 В, 400 нс подавался на вход обмотки от импульсного генератора, собранного на базе схемы Введенского. На выводах этой же обмотки регистрировался отклик, как при отсутствии, так и при наличии деформации обмотки. В ходе экспериментов изменялась степень деформации, которая варьировалась и принимала значения 20, 40 и 60% от первоначального бездефектного (степень прессовки – 100%) состояния. Сравнение импульсов полученных с помощью их регистрации цифровым электронным осциллографом не позволяет визуально оценить состояние обмотки и степень прессовки. Для правильной оценки необходимо произвести спектральный анализ импульсов, выполнив разложение осциллограмм в ряд Фурье и определить отношение двух спектров. На рис.1 показан внешний вид физической модели обмотки высокого напряжения, на которой моделировались различные степени прессовки обмотки. На рис. 1 представлена экспериментальная физическая модель обмотки силового трансформатора.

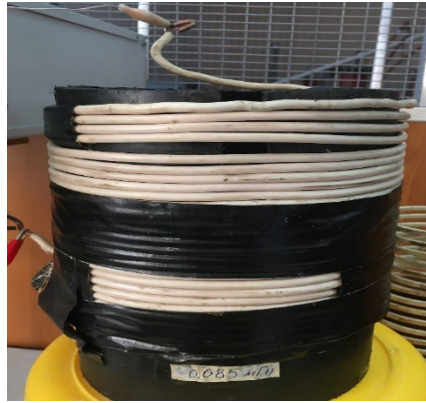


Рис. 1. Вид физической модели обмотки силового трансформатора

Результат спектрального анализа сигналов с различной степенью прессовки приведены на рис. 2–4.

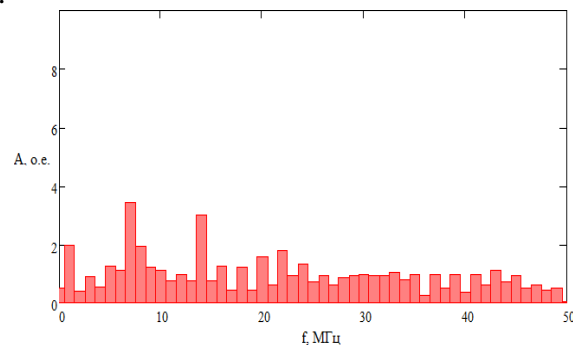


Рис. 2. Отношение спектров при полной прессовке и прессовке, ослабленной до 20% ( $A$  – отношение частотных амплитуд, о.е.;  $f$  – частота, МГц)

На рис. 3а) и б), приведены отношения спектров для ситуации, когда прессовка обмотки была ослаблена до 40% и 60 % соответственно. Совершенно четко прослеживается зависимость – чем сильнее степень ослабления прессовки обмотки, тем выше значение резонансной амплитуды в области частот 6 МГц. Установлено закономерность между значением амплитуды резонансной частоты и степенью прессовки обмотки: 20% – 3,8; 40% – 4,2; 60% – 5,7.

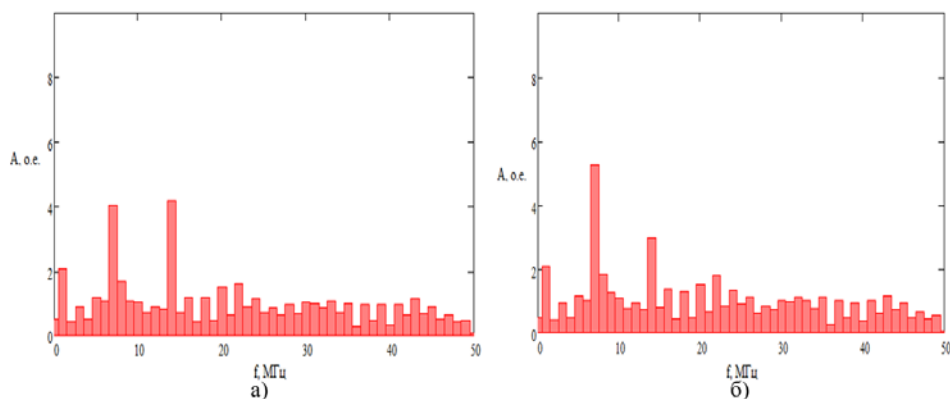


Рис. 3. Отношение спектров при полной прессовке и прессовке, ослабленной до а – 40% и б – 60% от полной прессовки

Таким образом, по результатам проведенных исследований применимости импульсного метода для контроля прессовки обмотки, установлена принципиальная возможность контролировать прессовку обмотки путем подачи зондирующего импульса наносекундной длительности на обследуемую обмотку. Результаты импульсного

обследования и последующего спектрального анализа импульсных сигналов для различной степени развития дефекта – ослабление прессовки – показали эффективность предложенной технологии.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Соколов В.В. Ранжирование состаренного парка силовых трансформаторов по техническому состоянию // Современное состояние и проблемы диагностики силового электрооборудования: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2006. – С. 7–18.
2. Вдовико В.П. Диагностика высоковольтного электрооборудования и эффективность ее применения // Современное состояние и проблемы диагностики силового электрооборудования: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2006. – С. 34–41.
3. Лех В., Тымински Л. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность // Электричество. – 1966. – Т. 1. – № 1. – С. 77–81.
4. Аветиков Г.В., Левицкая Е.И, Попов Е.А. Импульсное дефектографирование трансформаторов на при испытаниях на электродинамическую стойкость // Электротехника. – 1978. – № 4. – С. 53–57.

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ СОВРЕМЕННОГО ИНЖЕНЕРА: СОЦИАЛЬНО-ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ**

О.Т. Лойко, В.В. Сизов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Томский государственный педагогический университет

E-mail: olgaloyko@tpu.ru

### **INTELLECTUAL CAPITAL OF A MODERN ENGINEER: SOCIO- PHILOSOPHICAL ANALYSIS**

O. T. Loyko, V. V. Sizov

National Research Tomsk Polytechnic University

Tomsk State Pedagogical University

***Annotation.** The article analyzes the intellectual capital of a modern engineer. A comparative analysis of the understanding of intellectual capital in modern scientific literature is carried out. The conclusion is made about the role of educational trainings in the formation of intellectual capital.*

Развитие приоритетных направлений государственной политики Российской Федерации в сфере промышленности выдвигает новые требования к подготовке инженерных кадров, особое внимание обращая на развитие интеллектуального капитала студента уже в вузе формируя его основы [1].

Интеллектуальный капитал считается активом и в широком смысле может быть определен как совокупность всех информационных ресурсов, имеющихся в распоряжении компании, которые можно использовать для увеличения прибыли, привлечения новых клиентов, создания новых продуктов или иного улучшения бизнеса. Это сумма опыта сотрудников, организационных процессов и других нематериальных активов, которые вносят вклад в чистую прибыль компании. Соответственно возникает проблема управления интеллектуальным капиталом.

Как отмечают Alessandra Cassol, Cláudio Reis Gonçalo и Roberto Lim Ruas «управление интеллектуальным капиталом может способствовать инновациям, не является новым открытием, но по-прежнему необходимо выяснить, как можно развивать отношения

между ними таким образом, чтобы они могли адаптироваться к этому динамическому сценарию» [2].

В этом теоретическом контексте управление интеллектуальным капиталом, определяемым как ценный внутренний ресурс, может способствовать стимулированию инновационного потенциала. Управление интеллектуальным капиталом может ускорять внедрение инноваций, адаптировать их к более эффективному развитию и использованию. Анализ интеллектуального капитала как фактора, способствующего мобилизации инновационного потенциала организаций, подробно исследуется в статье Cassol, Goncalo, Ruas. Авторы, выявляя взаимосвязь между интеллектуальным капиталом и инновационным потенциалом обосновывают идею о поглощающей возможности (Absorptive Capacity) [3], которая представляет собой «набор организационных процедур и процессов, посредством которых фирмы приобретают, усваивают, трансформируют и используют знания для создания динамического организационного потенциала». Авторы исходят из положения о том, что, увеличение интеллектуального капитала способно генерировать инновации. Определим интеллектуальный потенциал как ансамбль теоретических знаний, умений и навыков, реализуемых в нестандартных ситуациях, требующих ответственного и взвешенного решения в условиях строгих временных рамок. Интеллектуальный капитал – это актив бизнеса, хотя его измерение - очень субъективная задача. Этот актив для фирмы не отражается в балансе как «интеллектуальный капитал»; вместо этого, насколько это возможно, он интегрирован в интеллектуальную собственность (как часть нематериальных активов и гудвила в балансе), что само по себе трудно измерить. Компании тратят много времени и ресурсов на развитие управленческого опыта и обучение своих сотрудников в конкретных областях бизнеса, чтобы добавить, так сказать, «умственные способности» своего предприятия. Соответственно возникает проблема освоения и приумножения интеллектуального капитала и возможностей понимания его содержания и значимости для современного участника бизнес-процесса. В нашем случае это – будущий специалист горнодобывающей промышленности, горняк, шахтер, на плечи которого ложится вся сложнейшая работа по выполнению производственной задачи. Именно этот активный участник производственного процесса должен опираться не только на знания, но и на ценностные установки, мотивирующие последовательность и смысловое наполнение его работы. На этот обратили внимание современные исследователи Zambon, St., Monciardini D., когда отметили наличие связи интеллектуального капитала с осознанием ценностей, вводимых инновация. По мнению авторов именно ценности будут способствовать процессам повышения значимости бизнеса на индивидуальном уровне. Подчеркивая ценность доверия сотрудников, позитивные межличностные отношения для эффективной деятельности организации. Соответственно формирование этих качеств необходимо осуществлять в рамках университетского образования. Итак, интеллектуальный капитал как доминанта интеллектуально-инновационных оснований подготовки специалистов составляет неотъемлемую часть подготовки инженера XXI века.

Современные наукоемкие технологии представлены во всех сферах деятельности и направлены на эффективное функционирование системы народного хозяйства. Все это нашло отражение в Программе развития угольной промышленности России на период до 2030 года. Угольная промышленность, обладая значительными разведанными и прогнозными запасами угля, имеет все возможности для эффективного их извлечения и использования в целях стабильного обеспечения внутренних потребностей в угольной продукции. Именно эта отрасль промышленности одна из первых в топливно-энергетическом комплексе России адаптирована к современному рынку. Одновременно, ее развитие требует совершенствования системы подготовки, профессиональной переподготовки и повышения квалификации персонала для организаций угольной отрасли с ориентацией на инновационные качества личности.

Интеллектуальный капитал современного инженера работника может совершенствоваться с помощью различных программ обучения [4], тренингов и семинаров, что нашло отражение в программах подготовки инженеров в Томском политехническом университете.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-07350.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Loyko O.T., Sadovskaj A.A., Solovenko I.S. Smart and innovative potential of a mining engineer: Guidelines and ideals of the XXI century»// International Conference on Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society. – Krasnojarsk. 2020. – ICEST 2020 F – 3029
2. Cassol A, Cláudio Reis Gonçalo, Roberto L. R. Redefining the relationship between intellectual capital and innovation: the mediating role of absorptive capacity // Brazilian administration review – vol. 13. –no.4. doi: 10.1590/18077692bar20161500
3. Cassol A, Gonçalo C. R., Ruas R. L. Redefining the relationship between intellectual capital and innovation. Available at: <http://www.anpad.ogr.br/ar>
4. Loyko O.T. Slesarenko I.V. Sisov V.V. History and Philosophy of science course for international PHD students majoring in engineering // Современные технологии, экономика и образование: сборник трудов Всероссийской научно-методической конференции. – Томск, 2019 – С. 121–123.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ КАК ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ**

А.В. Мытников

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mytnikov66@mail.ru

#### **RESEARCH OF THE INPUT CONTROL EFFICIENCY AS A WAY TO INCREASE THE COMMON LEVEL OF ENGINEERING TRAINING**

A.V. Mytnikov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article discusses the need and depth of incoming control, its impact on the process of studying special disciplines. It has been established that the entrance control carries not only information about the level of knowledge of students starting to study a special discipline, but also a very significant educational and methodological function.*

Исследование путей повышения уровня подготовки инженерных кадров, является актуальной задачей инженерной педагогики. Согласно определению основателя этой области науки, профессора Адольфа Мелецинека: «Предметом инженерной педагогики является всё, что направлено на улучшение обучения техническим дисциплинам, и все виды деятельности преподавателя, касающиеся целей, содержания и форм обучения» [1]. В работах посвященной вопросам инженерной педагогики четко указано, что в настоящее время инженерная педагогика является отраслью профессиональной педагогики, предметом которой является целостная педагогическая система подготовки будущих инженеров [2]. Таким образом, инженерная педагогика охватывает как организацию учебного процесса в техническом вузе, так и исследование, и реализацию принципов, методов, процедур учебного процесса в деятельности преподавателя [2-4].

Неотъемлемой частью учебного процесса в техническом университете является проведение различных видов и форм контроля уровня знаний. Само по себе контрольное мероприятие любого уровня и глубины степени контроля содержит важный элемент обучения, который позволяет оценить уровень знаний и сделать выводы, как студентам,

так и преподавателю. Таким образом, любое контролирующее мероприятие – контрольная работа по окончании раздела дисциплины, защита лабораторной работы, представление и защита индивидуального задания, итоговый экзамен – может рассматриваться как форма обучения. Дальнейшее рассмотрение вопросов эффективности входного контроля знаний ведется на примере преподавания комплекса дисциплин профиля «Высоковольтная электроэнергетика и электротехника».

Входной контроль, как правило, применяется на втором часе первого занятия и содержит 6-10 вопросов из разделов, которые изучались студентами в предыдущих семестрах. Так, например, при проведении входного контроля по дисциплине «Изоляция электротехнического оборудования высокого напряжения», изучаемом на четвертом курсе бакалавриата, вопросы билета входного контроля содержали базовые понятия дисциплины «Техника высоких напряжений», которую студенты изучали в ходе весеннего семестра третьего курса. Не смотря на положительные оценки и в целом высокий общий балл, полученные студентами по итогам летней сессии, четкие ответы на 30-50% от общего количества вопросов в билете входного контроля, давали не более 10-20% студентов. Причем в ряде случаев не возбранялось использование студентами мобильных телефонов, электронных ресурсов и иных источников. Даже при таком подходе, процент верных ответов не превышал 25-30%. Данный факт не может не настораживать, так как указанная дисциплина является базовой, знания которой лежат в основе профессиональной подготовке всех бакалавров по направлению «Электротехника и электротехника». Не смотря, на то, что таким краеугольным вопросом, как виды пробоя диэлектрической среды посвящено весьма существенное количество лекций и лабораторных работ, остаточный уровень знаний, выявляемый на входном контроле, оказывается недопустимо низок. Курс «Изоляция электротехнического оборудования высокого напряжения» общим объемом 216 часов помимо лекций, практических занятий и лабораторных работ, предполагает выполнение курсового проекта. Любые пробелы и отсутствие базовых для данного профиля подготовки знаний, неизбежно сказывается на качестве, как курсового проекта, так и результатов экзамена. Причем как показали исследования проблемы качества подготовки, указанные пробелы проявляются отрицательным образом при защите ВКР и последующих аттестаций при обучении в магистратуре. Такого рода «провалы» в системе профессиональной подготовки явно недопустимы, так как нарушают стройность и последовательность системы знаний, и существует необходимость принятия мер для устранения «видимых разрывов» подобного рода. Причем студенты соглашались с тем, что информацию они «когда-то» слышали, но четко сформулировать базовые определения и положения при устном обсуждении результатов входного контроля затруднялись. Помимо учебной функции, входной контроль, при надлежащем направлении, несет важную воспитательную функцию. Вместо напоминания том, что студенты обязаны знать материал, по результатам изучения которого многие имеют положительные оценки, демонстрация неудовлетворительных результатов дает студентам возможность самостоятельно понять глубину пробелов. Как правило, все студенты соглашались, что знать данный материал они просто обязаны, но знаний нет. Такая демонстрация с объяснением наиболее проблемных моментов, оказывается гораздо более действенной и эффективной, чем постоянное, как правило, безрезультатное напоминание о том, что студенты обязаны знать, так как сдали экзамен, но не знают. В дальнейшем, при защите лабораторных работ, представлении ИДЗ и контрольных работах, вопросы входного контроля, вызвавших наибольшие затруднения, включались в список контрольных и обязательных к изучению наряду, с темами, изучаемыми в курсе. Исследование результатов как промежуточного, так и итогового контроля, подтвердили правильность данного подхода. Уровень знаний существенно возростал, что находило подтверждение при презентациях и защитах ИДЗ, сдаче экзаменов, представлении и защите курсового проекта.

Аналогичные результаты имели место при проведении входного контроля для студентов магистратуры. Причем наблюдалась полная корреляция с результатами, полученными при анализе итогов входного контроля для студентов старших курсов бакалавриата, что свидетельствует о достаточно серьезном уровне проблемы. Для студентов магистратуры обозначенная проблема существенно усложняется тем, что достаточно высокий процент студентов поступили на магистерскую программу, окончив иной профиль, на котором не изучался ряд специальных дисциплин блока «Техника высоких напряжений». Некоторые студенты заканчивали бакалавриат в других городах и странах, что еще сильнее усугубляет и без того сложную проблему. В этом случае результаты входного контроля оказывались даже ниже, чем для четвертого курса бакалаврского цикла. Такие студенты при достаточно высоком общем инженерном и культурном уровне, показывали результат не более 5-10%, а в ряде случаев нулевой результат.

Таким образом, установлено, что входной контроль и применение его результатов в ходе изучения специальных дисциплин является весьма эффективной технологией учебного процесса.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мелецinek А. Инженерная педагогика. – М.: МАДИ(ТУ), 1998. – 185 с.
2. Приходько В.М., Сазонова З.С. Инженерная педагогика: становление, развитие, перспективы // Высшее образование в России. – 2007. – № 1. – С. 10–25.
3. Приходько В.М., Сазонова З.С. Инженерная педагогика – основа профессиональной подготовки инженеров и научно-педагогических кадров // Высшее образование в России. – 2014. – №4. – С. 6–12.
4. Кирсанов А.А., Жураковский В.М., Приходько В.М., Федоров И.В. Основы инженерной педагогики. – М.: МАДИ (ГТУ); Казань: КГТУ, 2007. – 498 с.

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН НА ОСНОВЕ БАЗОВЫХ ПРИНЦИПОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ПЕДАГОГИКИ**

А.В. Мытников

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mytnikov66@mail.ru

### **IMPROVEMENT OF THE TEACHING METHODOLOGY OF SPECIAL DISCIPLINES BASED ON MAIN PRINCIPLES OF ENGINEERING PEDAGOGY**

A.V. Mytnikov

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation. One of the ways to solve the problem, to improve the quality of training of engineering personnel is to use the principles and methods of engineering pedagogy. The article presents the results of the search for ways to improve the efficiency of the educational process, for senior undergraduate students in the direction of "Electricity and Electrical Engineering" by using "technology of synthesis of practical aspects."*

По определению основателя инженерной педагогики, профессора Адольфа Мелецинека, предметом инженерной педагогики является все, что направлено на улучшение обучения техническим дисциплинам, и все виды деятельности преподавателя, касающиеся целей, содержания и форм обучения [1]. Инженерная педагогика содержит как инженерную составляющую, ее профессионально ориентированное содержание, так и дидактическую – методологию учебной деятельности. Появление инженерной педагогики – это требование сегодняшнего дня, которое обусловлено необходимостью органического сочетания образования, науки и

всей последующей деятельности инженера как комплексной системы, которое определяет уровень развития общества в современном мире. Характерной для этой новой и важной области науки является связь технологий и, технических наук с педагогикой и с системой образования. Инженерная педагогика нацелена на «подготовку специалистов, реализующих инженерную деятельность, и характеризуется специфическими целями, принципами, содержанием, формами организации, методами и средствами обучения. Этим определяется ее сущность, объект и предмет. Объектом инженерной педагогики является педагогическая система подготовки кадров, а предметом – проектирование и реализация содержания профессионального образования, форм организации, методов и средств обучения» [2]. Инженерная педагогика как практическая деятельность преподавателя технического университета, реализуется на основе совокупности педагогических технологий. Технологии непрерывно и постоянно совершенствуются, особенно в свете задач создания новых производств и видов промышленности. Одним из примеров новых технологий подобного рода является бинарная лекция [3]. Бинарная лекция – это разновидность чтения лекции в форме диалога двух преподавателей: при этом один из них производственник (инженер), а второй преподаватель технической дисциплины (педагог). Авторы приводят ряд положительных примеров и следствий при подготовке специалистов инженерного профиля. Опыт применения указанной технологии оказался весьма, положительным, при проведении занятий по дисциплинам профиля «Техника высоких напряжений» в стенах школы энергетики ТПУ.

Другим, не менее эффективным приемом является «технология единого цикла» или «технология синтеза практических аспектов». Речь идет об объединении практического занятия и лабораторной работы. Рассмотрение ведется на примере дисциплины «Изоляция электротехнического оборудования высокого напряжения», которая изучается на четвертом курсе бакалавриата. На практических занятиях студенты решают задачи направленные на умение рассчитывать такие фундаментальные для данного профиля подготовки параметры, как электрическая прочность и время жизни изоляционной конструкции. Предполагаются так же семинары в виде конференций и контрольные работы. Лабораторные работы проводятся на реальном высоковольтном оборудовании при уровне напряжений 10–100 кВ. Задача такого рода работ – получить навыки высоковольтных измерений, в реальных условиях исследуя электрическую прочность различных видов и типов высоковольтной изоляции. Непосредственному выполнению лабораторной работы предшествует защита предыдущей, получение допуска к текущей работе в письменном виде или в форме устного опроса. Идея предлагаемой технологии состоит в объединении двух видов занятий. Рассмотрим путь реализации указанного подхода на примере темы «Внешняя изоляция». После прослушанной лекции посвященной основам работы и принципам конструирования линейной изоляции линий электропередач, студенты готовятся по методическим указаниям к выполнению соответствующей работы, так как одно из основных требований – приступать к выполнению лабораторной работы только при демонстрации должного уровня знаний. Занятие начинается с неформальной беседы по материалам лекции и теоретической части лабораторной работы. Далее, в зависимости от правильности ответов, в соответствии с продемонстрированной глубиной знаний, каждому студенту выдается билет, содержащий две задачи, при решении которых нужно определить длину пути тока утечки и иные характеристики специфичные для линейной изоляционной конструкции. Время, выделенное на этот этап занятия – около 20 минут. Пользование справочной литературой исключается. Далее следует проверка в виде опроса и обсуждения. Затем следует переход к установке, которая включает в себя гирлянды изоляторов, высоковольтный трансформатор, измерительные приборы и системы управления установкой. Во время выполнения «лабораторной» части студенты организуют последовательность ионизационных явлений, наглядно оценивают длину каналов перекрытия по поверхности конструкции, оценивают условия развития цепи



процессов, ведущих к потере конструкцией электрической прочности. Следующий этап – непосредственно исследования распределения напряжения по элементам гирлянды, связанный с созданием различных условий на поверхности изоляторов, таких как запыление, загрязнения, имитация дождя. Участие принимают все студенты подгруппы, у каждой своей роли и локальное распределение «должностных обязанностей». Важным является возможность визуализации всех этапов развития электрофизических процессов, сопровождающих работу изоляционной конструкции в реальных условиях, для чего необходим источник высокого напряжения. Такое наблюдение достаточно уникальных и быстротекущих процессов невозможно реализовать даже в условиях производственной практики на энергетическом предприятии. После выполнения всех измерений, предусмотренных планом лабораторной работы длительностью около 2 часов, и обсуждении результатов, возвращаемся к обсуждению задач, выданных в начале занятия и проблем, возникших при их решении. После выполнения измерений решение даже усложненных по сравнению с первоначальным условием задач, как правило не вызывает проблем. Такой положительный эффект всегда наблюдался при выполнении занятия по описанной технологии синтеза. Завершается занятие выполнением расчетов и фактической подготовкой, и защитой отчета. Общее время – 4 часа. Рассмотренный подход реализовывался в дисциплинах «Физика пробоя конденсированных сред» и «Техника высоких напряжений». Результаты исследований на основе анализа итогов промежуточного и итогового контроля полностью подтвердили перспективность данного подхода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелецинек А. Инженерная педагогика. – М.: МАДИ(ТУ), 1998. – 185 с.
2. Приходько В.М., Сазонова З.С. Инженерная педагогика – основа профессиональной подготовки инженеров и научно-педагогических кадров // Высшее образование в России. – 2014. – №4. – С. 6–12.
3. Брыкова Л.В., Головенко А.Г., Смирнова С.А. Инженерная педагогика и перспективы ее применения в профессиональной подготовке специалистов // Человек и образование. – 2015. – №4. – С. 37–40.

#### СЛОЖНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В СЛОЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В.Ю. Половников, С.Д. Шелемехова  
Томский политехнический университет  
E-mail: polovnikov@tpu.ru

#### COMPLEX HEAT TRANSFER IN THE THIN-FILM LAYER OF THERMAL INSULATION

V. Yu. Polovnikov, S. D. Selemenev  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The authors established the values of heat fluxes in the layer of thin-film thermal insulation in the presence of radiation heat transfer. Comparison of the results of numerical simulation of heat transfer in a layer of thin-film thermal insulation, performed using a conductive-convective heat transfer model with the results for a conductive-convective-radiation model showed a discrepancy between them does not exceed 0,1 %. This is due to errors in numerical calculations. For this reason, a simpler conductive model of heat transfer can be used in practical calculations.*

Известно, что основным методом снижения потерь тепловой энергии при ее транспортировке и хранении является использование теплоизоляционных материалов, отвечающих современным требованиям. Подобными материалами являются

тонкопленочные теплоизоляционные материалы [1]. Ограниченность энергосберегающих мероприятий с применением тонкопленочной тепловой изоляции объясняется не только отсутствием нормативной базы, но и в большей степени проблемами, связанными с проектированием энергоэффективных теплопроводов, поскольку в настоящее время отсутствует единая методика создания энергосберегающих систем транспортировки и хранения тепловой энергии, с использованием тонкопленочной тепловой изоляции.

Целью работы является исследование сопряженного кондуктивно-конвективно-радиационного теплопереноса в тонкопленочном теплоизоляционном покрытии.

Рассматривается слой тонкопленочного теплоизоляционного покрытия состоящего из полых микросфер и связующего вещества [2,3]. На поверхностях тонкопленочного изоляционного покрытия выставляются граничные условия первого рода. На рис.1 схематично представлена область для решения задачи. Для этой области была решена задача, учитывающая сопряженный теплоперенос в системе «полые микросферы – связующее вещество».

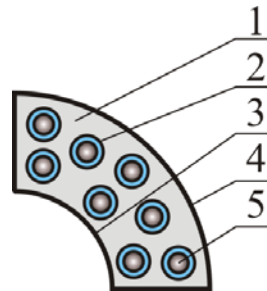


Рис. 1. Область решения задачи: 1 – связующее вещество; 2 – стенка микросферы; 3 – внутренняя поверхность изоляции; 4 – внешняя поверхность изоляции; 5 – полость микросферы

Математическая постановка задачи и метод ее решения описаны в [3]. Моделирование выполнено для теплоизоляционного покрытия, толщина которого составляла 0,33 мм. Покрытие на 62 % состоит из микросфер со следующими геометрическими характеристиками: диаметр 50 мкм, толщина стенок 2 мкм.

Исследования проводились при значениях теплофизических характеристик рассматриваемой системы описанных в [2] (однокомпонентное связующее), а приведенная степень черноты составляла 0.8.

В таблице представлены значения линейных тепловых потоков от трубопровода, изолированного тонкопленочным покрытием для кондуктивно-конвективной  $Q_1$ , кондуктивной  $Q_2$  [2] и кондуктивно-конвективно-радиационной  $Q_3$  моделей, а также приведено сопоставление результатов численного моделирования и экспериментальных исследований [2].

Таблица 1. Результаты численного моделирования теплопереноса в слое тонкопленочной тепловой изоляции

Состав тонкопленочного теплоизоляционного покрытия		$Q_1$ , Вт/м	$Q_2$ [2], Вт/м	$Q_3$ , Вт/м	$\frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} 100\%$	$\frac{Q - Q_2}{Q} 100\%$	$\frac{Q_1 - Q_3}{Q_1} 100\%$
Толщина стенки микросферы 2 мкм	Воздух	48,58	47,33	48,57	-2,65	45,4	0,02
	CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	46,12	46,60	46,08	1,03	44,31	0,09

Анализ результатов математического моделирования позволяет сделать следующие заключения:

- отклонение результатов численного моделирования от данных экспериментальных исследований является значительным (до 70 %) и зависит от состава тонкопленочного теплоизоляционного покрытия;

- сравнение результатов численного анализа тепловых потоков в тонкопленочном теплоизоляционном покрытии  $Q_1$  и  $Q_2$  [2] позволяет сделать вывод о том, что отклонение между ними составляет не более 3 % и может быть объяснено погрешностями численных расчетов;

- отклонение  $Q_1$  (кондуктивно-конвективная модель) от  $Q_3$  (кондуктивно-конвективно-радиационная модель) не превышает 0.1 % и объясняется незначительными разностями температур на границах микросфер.

По этим причинам для практических расчетов можно использовать более простую модель [2].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-48-700008-р\_а.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chou H.M., Chen C.R., Wu T.N. New transparent thin films for thermal insulation // Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers. Transactions of the Chinese Institute of Engineers. Series C. – 2015. – vol. 36. – no. 1. – P. 85–90.
2. Половников В.Ю. Кондуктивный теплоперенос в слое тонкопленочной тепловой изоляции // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 5. – С. 189–197.
3. Половников В.Ю. Влияние радиационного теплообмена на интенсификацию теплопереноса в тонкопленочной тепловой изоляции // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 8. – С. 34–39.

### ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАЦЕПЛЕНИИ ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Е.А. Ефременков

Томский политехнический университет,

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

E-mail: ephrea@mail.ru

### EVALUATION OF THE MAXIMUM CONTACT STRESSES IN THE ENGAGEMENT OF A CYCLOIDAL TRANSMISSION

E. A. Efremenkov

National Research Tomsk Polytechnic University,

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

**Annotation.** *The article considers maximum contact stresses in engagement of transmission with intermediate rolling bodies and free cage. It is shown that the maximum contact stress occurs in the part of the profile at the position angle of the rolling body, which is in the range from 64° to 76°, depending on the initial parameters.*

К современным механизмам предъявляются высокие требования по долговечности и ресурсоэффективности. Эти требования напрямую связаны с техническими характеристиками, которые может обеспечить тот или иной механизм. Одной из характеристик, обеспечивающей долговечность и ресурсоэффективность, является напряжение, возникающее в контакте передающих нагрузку звеньев. Наиболее перспективным механизмом, способным обеспечить требуемые характеристики, является передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО). Этот класс передач используется во многих отраслях промышленности [1, 2] и постоянно

расширяет область своего применения. Передача с ПТКСО (рис.1) обладает комплексом высоких технических характеристик: компактностью, высокой точностью зацепления, способностью передавать большие крутящие моменты, неприхотливостью в обслуживании, пониженным трением скольжения в зацеплении и, как следствие, высоким КПД.

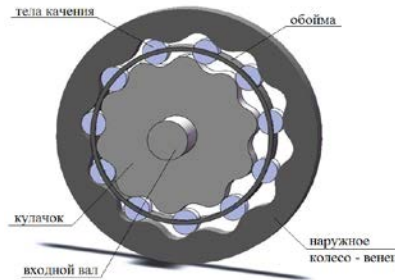


Рис. 1. Схема зацепления передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой

Контактное напряжение в передаче с ПТКСО определяется из выражения [3]:

$$(\sigma_H)_i = \sqrt{\frac{F_i(\rho_{2i} \pm \rho_{1i})}{\pi \cdot l_b \cdot \rho_{1i} \rho_{2i} \left( \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (1)$$

где  $F_i$  – нормальная сила к поверхности контакта колеса с  $i$ -ым телом качения;  $\rho_{1i}$ ,  $\rho_{2i}$  – радиусы кривизны в точке контакта контактирующих тел – профиля колеса и тела качения соответственно;  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  – коэффициенты Пуассона для материалов колеса и тела качения соответственно;  $E_1$ ,  $E_2$  – модули упругости для первого и второго контактирующих тел;  $l_b$  – длина тела качения.

Знак «+» используется для выпукло-выпуклого контакта, а знак «-» - для выпукло-вогнутого.

Через исходные параметры передачи с ПТКСО, предполагая материал колес и тел качения – сталь, это выражение записывается следующим образом [4]:

$$(\sigma_H)_{\max} = 191,65 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{T_k \cdot k \cdot \sin \varphi}{l_b r_b \arccos i_{21} \left( k - \frac{r_b}{r_2 a} \right) \Sigma \left( \frac{\sin \varphi}{a} \right)^2}} \quad (2)$$

где  $k$  и  $a$  – коэффициенты;  $r_b$  – радиус тела качения;  $l_b$  – длина контакта;  $r_c$  – радиус расположения центров тел качения;  $r_2$  – радиус центроиды обоймы с телами качения;  $i_{21}$  – передаточное отношение от обоймы с телами качения к кулачку;  $T_k$  – крутящий момент на кулачке.

Из выражения (2) видно, что величина контактного напряжения зависит от угла  $\varphi$ . Этот угол определяет положение тел качения относительно циклоидальных профилей колес передачи, а, следовательно, контактное напряжение зависит от взаимного расположения тела качения относительно изгиба циклоидального профиля. В связи с этим максимальное контактное напряжение возникает на разном угле расположения тел качения  $\varphi$  (в разных местах циклоидального профиля) у механизмов, спроектированных с отличающимися исходными параметрами.

Изменяя исходные параметры передачи с ПТКСО, – коэффициент смещения  $\chi$  и радиус центроиды  $r_2$ , – и определив контактные напряжения по выражению (2), получим графики изменения контактных напряжений по профилю (рис. 2).

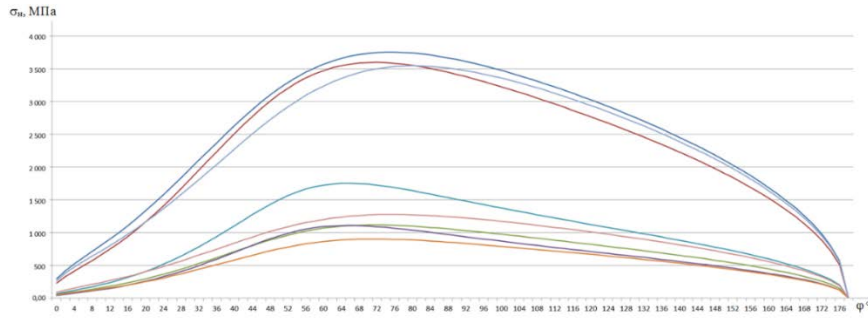


Рис. 2. Графики изменения контактных напряжений при изменении исходных параметров передачи с ПТКСО

На рис. 2 можно увидеть, что максимальные контактные напряжения возникают на угле  $\varphi$  в диапазоне от  $64^\circ$  до  $76^\circ$ . Данные графики получены для одного и того же передаточного отношения механизма, но при изменении числа тел качения (передаточного отношения) максимальное контактное напряжение может смещаться по углу.

Таким образом, в статье показано, что максимальное контактное напряжение в циклоидальной передаче с ПТКСО при разных исходных параметрах возникает на разных участках циклоидального профиля колес и в основном находится в диапазоне угла положения тел качения от  $64^\circ$  до  $76^\circ$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства. Практикум лидера-проектировщика. – Томск: ТГУ, 1998. – С. 296.
2. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Рыльцева Я.Г. Анализ возможности применения редукторного привода в трансмиссии геохода (Analysis of the possibility of using the reducing drive in the transmission of geohod) // Вестник науки Сибири – 2012. – №1 (2). – С. 372–378.
3. Ефременков Е.А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
4. Efremenkova E.A., Efremenkova S.K., Dyussebayev I.M. Determination of geometric parameter of cycloidal transmission from contact strength condition for design of heavy loading mechanisms // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 795.–Article number 012024.

#### РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ БИЗНЕС-СТАРТАПА У СТУДЕНТОВ ТПУ: НАУЧИТЬ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВУ В СТЕНАХ ВУЗА

А. А. Вазим

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: vazim@tpu.ru

#### DEVELOPMENT OF BUSINESS STARTUP SKILLS FOR TPU STUDENTS: TEACH ENTREPRENEURSHIP AT THE UNIVERSITY

A. A. Vazim

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The article is devoted to the new training course engineering entrepreneurship. The author gives arguments in favor of the demand for this course for the following reasons: increased competition, increased information assistance to small businesses with limited

*financial support; efforts of universities to prepare future businessmen with engineering education to create their own start-up companies.*

В 2020 г. началось обучение студентов инженерных специальностей новому курсу «Инженерное предпринимательство». Учебно-методические материалы электронного курса разработаны на основе учебно-методических материалов АО «Российская венчурная компания» (РВК) по лицензионному договору №77/18 от 13 июня 2018 г. Данный курс необходим при подготовке студентов к выпускной квалификационной работе в виде стартапа. Двухлетний опыт подготовки и защиты студентами таких работ позволил определиться с объёмом необходимых компетенций на стыке науки и бизнеса.

Три десятилетия формирования рыночной экономики оказались достаточными для того, чтобы появилась деятельная молодежь, увлечённая созданием собственного бизнеса. Ранее при создании модели успешного будущего молодые люди опирались на связи родителей или их капитал. Предприниматель видел себя успешным в сырьевой или банковской сфере. Источником его доходов служило присвоение природной или административной ренты. Высшим управленческим достижением было умение обходить законы, игнорировать налоговые и таможенные платежи в бюджет государства. Если же постсоветский предприниматель видел выгодные лазейки в законодательстве, то он мог от своих щедрот принести депутатам значительные суммы денег и считать себя и свой бизнес защищённым. Во втором десятилетии XXI века такие бизнесмены стали выражать недовольство новыми условиями хозяйствования, возросшей конкуренцией с новыми бизнесменами, появившимися спустя двадцать лет после исчезновения Советского Союза.

Напротив, новые бизнесмены спокойно воспринимают известное выражение «Денег нет, но вы держитесь». Фраза бывшего премьер-министра Д. Медведева «Просто денег нет сейчас. Найдём деньги – сделаем индексацию. Вы держитесь здесь, вам всего доброго, хорошего настроения и здоровья» [1]. Этой фразой подразумевается, что государственных, бюджетных денег на нужды предпринимателей не будет выделено, поскольку приоритетными для правительства являются другие направления. Мы считаем, что эта фраза может стать лозунгом для современных молодых и амбициозных бизнесменов: кончились бюджетные деньги на поддержку бизнеса – значит бизнес достаточно взрослый, для того чтобы начать самостоятельно зарабатывать. Мало того, бизнес может не просто зарабатывать деньги «для себя», но и развивать науку, культуру, становиться социально ответственным.

Молодые будущие предприниматели интересуются тем, как в современном, практико-ориентированном образовании они могут получить знания, полезные для начала собственного бизнеса. Вузы предоставляют возможность удовлетворить такой запрос общества. В частности, Томский политехнический университет предлагает курс «Инженерное предпринимательство» для всех направлений и специальностей [2].

Курс разбит на разделы, в каждом из которых представлено несколько тем. Каждый раздел ориентирован на определённую тематику. За каждый раздел (тематику) отвечают разные преподаватели, которые ранее читали полноценные учебные дисциплины для экономических специальностей в рамках специалитета, такие как: управление проектами, маркетинг, бизнес-планирование, менеджмент и правовые дисциплины.

Дополнительной поддержкой выступает межвузовская кооперация. По лицензионному договору АО «Российская венчурная компания» (РВК) предоставила учебно-методические материалы в текстовом и видео формате. Видеоматериалы были размещены в электронной информационно-образовательной среде ТПУ (ЭИОС ТПУ). Таким образом, студенты ТПУ получили возможность слушать лекции и проводить практические занятия очно – в аудитории, и дистанционно – с использованием ЭИОС ТПУ.

Дистанционные занятия наиболее востребованы студентами из других стран, которые не могут покинуть свои страны в связи с эпидемией коронавируса. Кроме того, студенты могут задействовать возможности платформы LMS MOODLE: лекции и практики записаны в видеоформате, материалы размещены как в текстовой форме, так и в виде презентаций. Наличие гиперссылок позволяет расширить обзор изучаемой литературы.

Необходимо отметить, что обучение предпринимательству не является целью дисциплины «Инженерное предпринимательство». Более того, невозможно сделать так, чтобы студенты захотели стать предпринимателями. Однако, если творчеству научить невозможно, то вполне реально научить студентов выражать их стремление к творчеству.

Итак, мы можем встретиться со студентами, будущими инженерами, будущими бизнесменами. Они молоды, полны сил и энергии, у них пока нет семьи и детей. По большей части, их останавливает отсутствие ресурсов и денег, а главное, – уверенности в успехе. Даже небольшие неудачи могут вызвать отторжение, потерю интереса к ведению бизнеса.

Преподаватели объясняют, как можно продолжать свой бизнес, когда другие его бросили. Разъясняются причины, которые приводят к наличию «воронки выживаемости», – когда за год деятельности прекращают существование более 99 % стартапов.

Каждый успешный проект – это сочетание множества деталей: текущего контекста, рыночной ситуации, удачной идеи, рабочей бизнес-модели, продукта, людей в команде, стечения обстоятельств и доли удачи. Повторить чей-то успех в принципе невозможно! Главное – не повторять ошибки других, идти своей дорогой и делать собственный успешный проект.

Поддержку на этапе запуска стартапов может оказать вуз. Процесс создания стартапов при вузе регулируется Федеральным законом от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [3]. Далее рассмотрим достоинства и недостатки создания совместного с вузом малого инновационного предприятия (МИП).

Преимущества МИП – льготное налогообложение; аренда помещений и оборудования у ВУЗа на льготных условиях; дополнительное финансирование (СТАРТ от Фонда содействия инновациям); высокая конкурентоспособность за счет монополии на выпуск продукта, имеющего охранной документ, его новизны и оригинальности; помощь бизнес-инкубаторов. Недостатки МИП – доля ВУЗа в составе предприятия, соответственно, его участие в распределении прибыли и принятии решений (степень участия определяется учредительными документами); бюрократические процедуры регистрации компании и регулярной отчетности (обычно такие процедуры берет на себя подразделение, ответственное за работу с МИП в конкретном университете).

Занятия по инженерному предпринимательству дают студентам знания о наиболее частых причинах провала в бизнесе на разных этапах его развития. Студенты в благоприятной социально-психологической обстановке, при использовании современных методик образования, в том числе, в ходе деловых игр, приучаются к мысли о том, что в современном бизнесе недопустимо шаблонное мышление. Кроме того, студенты инженерных направлений приобретают экономические и правовые компетенции по организации собственного стартап-бизнеса. Проверку овладением данными компетенциями студент проходит при защите выпускной квалификационной работы в виде стартапа.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. «Да я и не болел»: 10 «отлитых в граните» цитат Дмитрия Медведева [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://realnoevremya.ru/articles/60105-10-samyh-znamenitih-citat-dmitriya-medvedeva> (дата обращения 23.09.2020)

2. Вазим А.А. Инженерное предпринимательство / ДО 2020: электронный курс /. – Томск: ТПУ Moodle, 2020. – Режим доступа: <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=3993>
3. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 N 273-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2012. – № 53 (ч. 1). – С. 7598

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ТЕРМОДЕСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ  
ОСОБЕННОСТЕЙ НАКОПЛЕНИЯ ВОДОРОДА В ЦИРКОНИЕВОМ СПЛАВЕ  
ZR-1%NB ПРИ ГАЗОФАЗНОМ ГИДРИРОВАНИИ**

А. Ломыгин, А.М. Лидер, В.Н. Кудияров  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: lomyginanton141@gmail.com

**INVESTIGATION BY THERMODESORPTION SPECTROSCOPY OF  
HYDROGEN ACCUMULATION FEATURES IN ZR-1%NB ZIRCONIUM  
ALLOY DURING GAS-PHASE HYDROGENATION**

A. Lomygin, A.M. Lider, V.N. Kudiiarov  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** Modern trends in human development require more and more electricity to maintain the pace of economic and scientific development. One of the most environmentally friendly methods of electricity production is the use of nuclear power plants (NPPs). In connection with high impact on structural materials of nuclear power plants cores there is uncontrolled degradation of core material. Understanding the degradation processes will help predict and prevent various man-made disasters. The purpose of this work is to study the accumulation of hydrogen in the zirconium alloy Zr-1%Nb (E110). In this work, we studied the processes of hydrogen sorption and desorption by the zirconium alloy Zr-1%Nb.*

Проникновение и накопление водорода в металлах и сплавах приводит к изменению их физико-химических и эксплуатационных свойств [1] и может приводить к замедленному разрушению конструкционных материалов по причине водородного охрупчивания [2]. Наиболее простым и точным методом определения состояния и количества водорода в металлах является термодесорбционная спектроскопия (ТДС), при которой осуществляется непрерывное измерение потока десорбированного водорода при постоянном нагреве с заданной скоростью.

Для реализации метода ТДС используется автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller (GRC) LPB фирмы Advanced Materials Corporation. Для возможности проведения экспериментов по ТДС проведена модернизация комплекса квадрупольным масс-спектрометром RGA100 фирмы Stanford Research Systems непосредственно встроенным в вакуумную систему. Для исследования накопления водорода в циркониевом сплаве Zr-1%Nb при газофазном гидрировании были подготовлены образцы размерами 20×20×0,7 мм. Насыщение из газовой атмосферы по методу Сиверта осуществлялось при температурах 350-550 °С при давлении водорода в камере 0,66 атм. в течение 60 минут на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller LPB. Кривые сорбции водорода представлены на рис. 1а. Скорости сорбции водорода циркониевого сплава Zr-1%Nb при температурах 350 °С, 450 °С, 550 °С определялись по линейным участкам кривых сорбции и составили 0,5·10<sup>-4</sup> масс. %/с, 9,5·10<sup>-4</sup> масс. %/с и 23,1·10<sup>-4</sup> масс. %/с соответственно. Повышение температуры наводороживания на каждые 100 °С сопровождается увеличением скорости сорбции на один порядок.



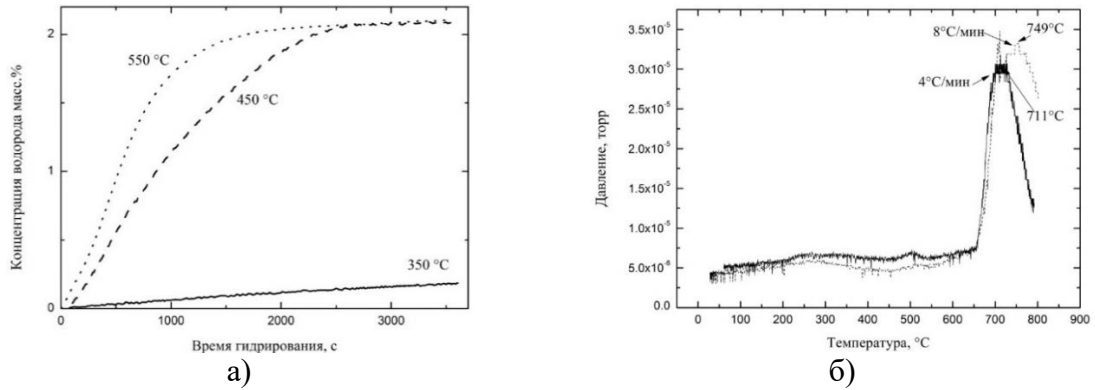


Рис. 1. Кривые сорбции водорода при различных температурах (а) и термостимулированной десорбции водорода после газофазного гидрирования до концентрации 0,15 масс. % (б) из циркониевого сплава Zr-1%Nb

Кривые термостимулированной десорбции водорода из образцов циркониевого сплава после гидрирования до концентрации 0,15 масс. % приведены на рис. 1б. Используя данные РСА и диаграмму состояния Zr-H можно следующим образом интерпретировать полученные результаты. Как мы видим до насыщения  $\alpha$ -фазы водородом наблюдается линейная зависимость скорости поглощения водорода от времени наводороживания. Насыщение происходит по линейному закону до зародышеобразования и роста зерен новой фазы, если оно термодинамически вероятно при данных экспериментальных условиях.

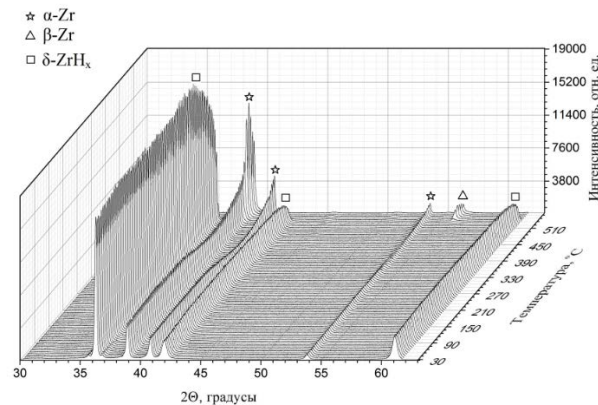


Рис. 2. Фазовые переходы в циркониевом сплаве Zr-1%Nb с концентрацией водорода 0,15 масс. % при линейном нагреве

«Изломы» на кривых сорбции обусловлены изменением скорости диффузии водорода в материале, за счет фазовых переходов. Так, при температуре насыщения 450 °C изменение скорости поглощения обусловлено переходом  $\alpha$ -  $\alpha+\delta$  (здесь часть водорода находится в твердом растворе, а избыток в виде гидридной фазы)-  $\delta$ . При дальнейшем увеличении времени наводороживания скорость диффузии водорода существенно уменьшается.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-79-10116).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Laptsev R.S., Kudiiarov V.N., Bordulev Y.S., Mikhaylov A.A., Lider A.M. Gas-phase hydrogenation influence on defect behavior in titanium-based hydrogen-storage material // Progress in Natural Science: Materials International. – 2017. – vol. 27. –no. 1. – P. 105–111.
2. Kudiiarov V.N., Lider A.M., Harchenko S.Y. Hydrogen accumulation in technically pure titanium alloy at saturation from gas atmosphere // Advanced Materials Research. – 2014. – vol. 880. – P. 68–73.

**РАЗВИТИЕ ЛИЧНОСТНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ  
УЧИТЕЛЯ МАТЕМАТИКИ НА КУРСАХ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ  
ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ**

С.Р. Курбанов

Таджикский национальный университет

E-mail: kurbonsulajmon@mail.ru

**DEVELOPMENT OF PERSONAL AND PROFESSIONAL COMPETENCE OF A  
MATHEMATICS TEACHER AT ADVANCED TRAINING COURSES FOR  
TEACHING STAFF**

S.R. Kurbanov

Tajik National University

***Annotation.** In the article, the author examines the problems of reforming the system of advanced training of mathematics teachers in courses for teaching staff, as well as methods, means and learning forms and teaching mathematics. The means of supporting the development of individuality of each mathematics teacher are listed.*

Актуальность исследования. Внедрение компетентного подхода в обучение и преподавание привело к модернизации системы образования, в том числе в системе повышения квалификации учителей. Для успешной модернизации необходимы теоретические и практические разработки подходов к повышению квалификации учителей математики. Следует отметить, что в Республике Таджикистан исследований по теории и методике системы постдипломного образования крайне мало. Поэтому для новых научно разработанных программ курсов повышения квалификации (КПК) учителей математики и благоприятного процесса проведения этих курсов требуется проанализировать и обобщить накопленный международный опыт.

В таджикской педагогике имеется определенный опыт сравнения и анализа опыта систем образования зарубежных государств (Лутфуллоза М., Шарифзода Ф., Каримова И.Х., Нугмонов М. и др.), в том числе и России (Вульфсон Б.Л., Гаргай В.Б., Курдюмова И.М., Никандров Н. Д. и др.). Однако надо отметить недостаточность исследования в направлении теории и практики повышения квалификации учителей математики.

Цель исследования: выявить особенности методических основ и практики развития личностно-профессиональной компетентности учителя математики на КПК педагогических кадров, возможности использования и адаптации мирового опыта в систему повышения квалификации учителей математики в республике Таджикистан.

Объектом исследования является системы КПК учителей математики в Республике Таджикистан. Предмет исследования – основные личностно-профессиональные подходы и практические пути их реализации, обеспечивающие организацию и развитие компетентности учителя математики на КПК педагогических кадров. Основные задачи исследования: обнаружить особенности развития личностно-профессиональной компетентности учителя математики на КПК педагогических кадров; выявить особенности адаптации мирового опыта в систему повышения квалификации учителя математики в Республике Таджикистан.

Истоки развития личностно-ориентированной педагогической технологии содержатся в положении диалоговой концепции культуры Бахтина-Бибгера, где обоснована идея всеобщности диалога как основы человеческого сознания. В частности [1]: диалогические отношения — это почти универсальное явление, пронизывающее всю человеческую речь и все отношения, и проявления человеческой жизни, вообще все, что имеет смысл и значение. Где начинается сознание, там начинается и диалог.

Личностно-профессиональная педагогическая технология основывается на восприятии и взаимопонимании, а не на объяснение и передачу дидактических

материалов. В.С. Библер [1] объясняет отличие этих двух феноменов следующим образом: при объяснении – только одно сознание, один субъект, монолог; при понимании — два субъекта, два сознания, взаимопонимание, диалог. Объяснение – всегда взгляд «сверху вниз», всегда назидание. Понимание – это общение, сотрудничество, равенство во взаимопонимании.

Таким образом, в процессе проведения КПК лектор должен поддержать слушателей, создать благоприятствующие условия для развития творческих способностей учителей математики, положительно относиться к индивидуальным действиям, личными примерами направлять процесс развития, т.е. выступать фасилитатором, обеспечивающим успешную групповую коммуникацию

Для развития профессиональной индивидуальности каждого слушателя в Институте повышения квалификации при Таджикском национальном университете предложены и используются следующие средства поддержки [2]. Первая группа средств предназначена для создания рабочей атмосферы, в котором царствует взаимопонимание, положительные отношения и профессиональное сотрудничество всех учителей. Доверительное и доброжелательное отношение фасилитатора к учителям математики обеспечивает совместное планирование процесса изучения КПК, создаёт взаимную обучающую среду. Деятельностный подход создается через ролевые игры, учебные ситуации, творческие работы, одобрительную оценку успехов, интерактивное общение. Вторая группа средств сосредоточена на личностно-ориентированную поддержку и диагностику профессионального развития, квалифицированности, профессиональных способностей, выявление профессиональных проблем учителей математики, наблюдение процессов профессионального развития каждого учителя математики.

Основные выводы исследования. Система повышения квалификации учителей математики в Республике Таджикистан, базирующаяся на развитии личностно-профессиональной компетентности учителя математики: 1) гарантирует повышение квалификации учителей математики, 2) развивает личность учителя математики и раскрывает его индивидуально-профессиональные качества, 3) для дальнейшего развития системы повышения квалификации учителей Республики Таджикистан нужно активно использовать и адаптировать передовой мировой опыт.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Библер В.С. Мышление как творчество. Введение в логику мысленного диалога. – М.: Политиздат, 1975. – 399 с.
2. Курбанов С.Р. Методические основы эффективности системы переподготовки повышения квалификации учителя математики (на примере Республики Таджикистан). дис. ... канд. пед. наук. Душанбе, 2019. – 168 с.

#### **ДИНАМИКА СИСТЕМЫ ПЯТИ БОЗОНОВ**

О.В. Колесников, А.И. Фикс

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: fix@tpu.ru

#### **THE FIVE-BOSON DYNAMICS**

O.V. Kolesnikov, A.I. Fiks

National Research Tomsk Polytechnic University

E-mail: ivanov@tpu.ru

***Annotation.** The Alt–Grassberger–Sandhas equations for the five-body problem are solved for the case of the driving two-body potentials limited to  $s$ -waves. The separable pole expansion method is employed to convert the equations into the effective quasi-two-body form. Numerical results are presented for five identical bosons. Accuracy of the separable expansion is*

*investigated. It is shown that both in (1 + 4) and (2 + 3) fragmentation, the corresponding eigenvalues decrease rather rapidly, what, combined with the alternation of their signs, leads to rather good convergence of the results.*

Формализм Альта-Грассбергера-Сандхаса [1] был использован для решения задачи о взаимодействии в системе пяти тождественных бозонов. Схема, которая позволяет точно решить динамические уравнения в импульсном представлении, основана на применении сепарабельного приближения соответствующих интегральных ядер [2, 3]. Общая эффективность такого подхода связана с тем, что если затравочные двухчастичные  $t$ -матрицы имеют полюса, лежащие в непосредственной близости от исследуемой области, то и амплитуды соответствующих трех-, четырех-, и пятичастичных систем также содержат полюса, лежащие в каждом случае вблизи нулевой энергии. Как следствие, сепарабельное разложение, которое хорошо отражает полюсную природу взаимодействия и поэтому правильно воспроизводит поведение амплитуды вблизи полюсов, обеспечивает адекватное описание динамических свойств системы.

Для затравочного двухчастичного взаимодействия в  $s$ -волне был использован простейший сепарабельный потенциал

$$v(q, q') = -\alpha f(q) f(q') \quad (1)$$

с формфактором типа Ямагучи [4]:

$$f(q) = (1 + q^2/\beta^2)^{-1}. \quad (2)$$

Массы бозонов брались равными массе нуклона  $M = 939$  МэВ. Отсекающий параметр  $\beta = 1,4488$  Фм<sup>-1</sup> был взят непосредственно из работы [4]. Для параметра  $\alpha$ , определяющего интенсивность взаимодействия, использовалось усредненное значение

$$\alpha = (\alpha_0 + \alpha_1)/2, \quad (3)$$

где  $\alpha_S$  ( $S = 0, 1$ ) – значение параметра, вычисленное в работе [4] соответственно для спин-синглетного и спин-триплетного взаимодействий двух нуклонов. При таком выборе параметров двухбозонная система имеет слабо связанное состояние с энергией связи 0,43 МэВ.

С целью проверки применимости реализуемой нами схемы решения мы исследовали сходимость процедуры Гильберта-Шмидта для построения сепарабельных ядер интегральных уравнений. Непосредственные расчеты показывают, что для энергии связи в системе пяти бозонов уже первый член в сепарабельном разложении амплитуд обеспечивает точность в пределах 2% от правильного значения. Для иллюстрации столь быстрой сходимости, на рис.1 показана энергетическая зависимость первых четырех собственных значений  $\lambda_n$ . Как видно из рис.1, абсолютные величины  $|\lambda_n|$  быстро уменьшаются, так что с ростом  $n$  имеем  $|\lambda_n| \ll 1$ . Кроме того, вклад членов с номерами  $n > 1$  подавлен, поскольку два соседних слагаемых входят в сепарабельное разложение с разными знаками. В результате притягивающая часть потенциала, соответствующая  $\lambda_n > 0$ , в значительной степени компенсируется отталкивающими членами, соответствующими  $\lambda_n < 0$ . Таким образом, степень сходимости сепарабельного ряда оказывается вполне достаточной для практических целей.

В качестве промежуточного результата были получены энергии связи системы трех и четырех бозонов:

$$E_{3b} = 12,6 \text{ МэВ}, \quad E_{4b} = 54,8 \text{ МэВ}. \quad (4)$$

Для энергий связи системы пяти бозонов мы получили

$$E_{5b} = 144,3 \text{ МэВ}. \quad (5)$$

Ввиду того, что использовался простейший потенциал Ямагучи, значения  $E_{3b}$  и  $E_{4b}$  заметно переоценивают энергии связи ядер  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$  (7,2 МэВ и 28,3 МэВ, соответственно). Для систем (3b) и (4b) наши расчеты также предсказывает возбужденные уровни с энергиями

$$E_{3b}^* = 12,6 \text{ МэВ}, \quad E_{4b}^* = 54,8 \text{ МэВ}. \quad (6)$$

В целом, как показывают приведенные значения, энергия связи быстро увеличивается с ростом числа частиц. Этот результат является вполне ожидаемым, так как потенциал Ямагучи характеризуется сильным притяжением на малых расстояниях ( $r < 0, 2$  Фм).

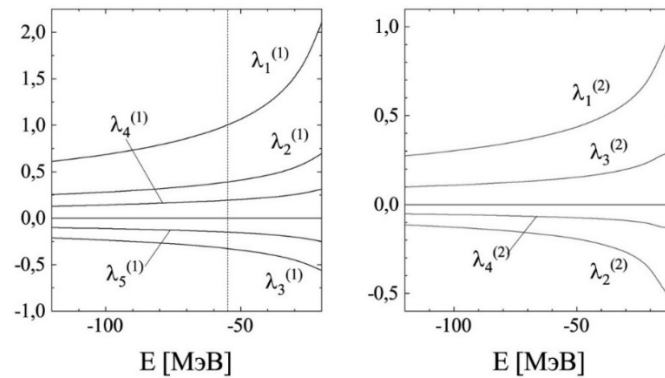


Рис. 1. Зависимость нескольких первых собственных значений  $\lambda_n$  ядер интегральных уравнений для системы пяти тождественных бозонов. Вертикальная пунктирная линия проведена при энергии, соответствующей энергии связи основного состояния четырех бозонов  $E = -E_{4b}$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grassberger P. and Sandhas W. Systematical treatment of the non-relativistic n-particle scattering problem // Nuclear Physics B – 1967. – vol. 2 – P. 181
2. Fix A. and Kolesnikov O. Solution of the five-body  $\eta^4$  He problem with separable pole expansion method // Physics Letters B – 2017. – vol. 772. – P. 663.
3. Fix A. and Kolesnikov O. Systematic few-body analysis of  $\eta d$ ,  $\eta^3\text{He}$  and  $\eta^4\text{He}$  interaction at low energies // Physical Review C – 2018. – vol. 97. – P. 044001
4. Yamaguchi Y. Two nucleon problem when the potential is nonlocal but separable // Physical Review C. – 1954. – vol. 95. – P. 1628.

### ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПО ПОДГОТОВКЕ МЕДИЦИНСКИХ ФИЗИКОВ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ И ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

В.В. Верхотурова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: verhoturova@tpu.ru

### PRACTICAL-BASED APPROACH OF TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY TO TRAINING OF THE EXPERTS IN THE FIELD OF NUCLEAR MEDICINE

V.V. Verkhoturova

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The article describes the unique approach, developed in Tomsk Polytechnic University, to training of international and domestic experts in the field of nuclear medicine. The approach is based on practical and hands-on training not only in TPU laboratories, but also in the laboratories of Siberian State Medial University and Regional oncological hospital.

Актуальность разработки и реализации практических методик подготовки специалистов в области ядерной медицины обусловлена имеющимся дефицитом специалистов в области ядерной медицины в российских лечебных учреждениях, который, по прогнозам экспертов, будет только нарастать. Ядерная медицина – это направление современной медицины, использующее радиоактивные вещества и

свойства атомного ядра для диагностики и терапии в различных областях научной и практической медицины [1].

По оценкам Ассоциации медицинских физиков России нехватка квалифицированных медицинских физиков в стране составляет не менее тысячи человек, способных эффективно обслуживать имеющуюся технику, использовать все возможности аппаратуры и гарантировать безопасность и качество лучевого лечения [2]. Помимо этого, нехватка квалифицированных специалистов отмечается также в области ядерной медицины, которая связана с разработкой, производством и применением диагностических и терапевтических радиофармпрепаратов для внутреннего облучения [3].

С целью преодоления кадрового дефицита в Томском политехническом университете была создана практико-ориентированная методика подготовки медицинских физиков в области ядерной медицины и лучевой терапии на основе привлечения к образовательному процессу вуза всех необходимых и заинтересованных в этом организаций (университетов, научно-исследовательских центров, онкологических и радиологических клиник, потенциальных работодателей). В результате кооперации основных стейкхолдеров в лице Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (Томский политехнический университет), Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сибирский государственный медицинский университет), Научно-исследовательского института онкологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук» (Томский национальный исследовательский медицинский центр) и Областного государственного автономного учреждения здравоохранения «Томский областной онкологический диспансер» (Томский областной онкологический диспансер) в 2015 году была пилотирована практико-ориентированная программа магистерской подготовки «Ядерная медицина».

В основе программы уникальная научно-практическая методика подготовки кадров для ядерной медицины, включающая в себя:

- учебный план образовательной программы, комплекс учебно-методических разработок, учебников и учебных пособий, монографий и научных трудов, методические указания по организации практик студентов;
- разработанную и апробированную на практике систему взаимодействия между техническим вузом (Томский политехнический университет), медицинским вузом (Сибирский государственный медицинский университет), научно-академическим центром (Томский национальный исследовательский медицинский центр), действующими лечебными онкологическим и радиологическими учреждениями по подготовке кадров.
- комплекс практических и лабораторных работ на действующем исследовательском реакторе, циклотроне, в радиологической клинике, в лабораториях медицинского университета.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Sukhikh E., Sukhikh L., Anikin M., Naymushin A., Evgeniia S., Vertinsky A. 3D verification of radiation therapy plans with the cylindrical dosimeter as a prototype of the body form // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. – 2018. – vol. 45 (Suppl 1). – P. S1–S844.
2. Chernov V.I., Dudnikova E.A., Zelchan R.V., Kravchuk T.L., Danilova A.V., Medvedeva A.A., Sinilkin I.G., Bragina O.D., Goldberg V.E., Goldberg A.V., Frolova I.G. The first experience of using  $^{99m}\text{Tc}$ -1-thio-d-glucose for single-photon emission computed

tomography imaging of lymphomas // Сибирский онкологический журнал. – 2018. – Т. 17. – № 4. – С. 81–87.

3. Choyznzonov E.L., Avdeenko M. V., Balatskaya L. N., Verkhoturova V.V. Evaluation of Functional Factors and Life Quality of Patients with Parotid Gland Cancer after Multimodal Treatment Including Radiation Therapy // Advanced Materials Research. – 2015 – vol. 1084. – P. 384–388.

### **ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПРЕДМЕТНО-ЯЗЫКОВОЙ ПОДХОД (CLIL): ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРАКТИКИ**

А.В. Кудряшова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: english@tpu.ru

### **CONTENT AND LANGUAGE INTEGRATED LEARNING (CLIL): FOREIGN PRACTICE**

A.V. Kudryashova

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The article overviews the world practices of implementing CLIL at different levels of education. The researcher aims to analyze specificities of CLIL in foreign countries and to summarize their experience.*

На настоящий момент, интегрированный предметно-языковой подход (CLIL – Content and language integrated learning) является одной из наиболее востребованных технологий обучения в мире. Это обусловлено тем, что он отвечает требованиям к подготовке современных специалистов, не смотря на достаточно богатую историю и практику применения. История возникновения и распространения CLIL-подхода берёт своё начало примерно с 1990-х гг. Его родоначальником принято считать Дэвида Марша, который в 1994 г. впервые использовал термин «CLIL», а позднее описал CLIL-методику, сущность которой состояла в использовании иностранного языка как инструмента для изучения других предметов и стала широко применяться в Европе. Рассмотрим особенности реализации CLIL-подхода в разных странах и сделаем вывод на основе полученной информации.

Интегрированный предметно-языковой подход (CLIL) имеет достаточно богатую историю (около 30 лет) и реализуется в 30 европейских странах, охватив практически полностью весь континент (за исключением лишь 6 стран: Дании, Греции, Литвы, Португалии и Кипра [1]. Особенно активно он применяется в течение последних 20 лет на разных уровнях обучения и среди различных возрастных групп [1, 2].

Вариации CLIL довольно обширны в разных странах, что, по мнению Wolff, обусловлено образовательными и лингвистическими особенностями каждой из них [3]. Наиболее распространенное применение CLIL – это сочетание иностранных языков с местным диалектом и/или языком этнических меньшинств, а английский язык считается наиболее широко изучаемым языком [1].

Несмотря на то, что широкий спектр предметов может преподаваться на основе CLIL на начальном и среднем уровнях обучения, сфера охвата имеет тенденцию сужаться и фокусироваться на истории, географии, естественных и общественных науках, особенно в среднем образовании. Материалы в основном адаптированы из аутентичных источников и разработаны при поддержке информационных и коммуникационных технологий [1].

Изучив основные моменты, общие при реализации CLIL-технологии в Европе, рассмотрим некоторые практики его применения в отдельных странах.

В странах северной Европы (Финляндия, Швеция, Норвегия, Эстония) программы на основе CLIL-подхода очень широко распространены на уровне начальной школы и школы среднего звена. На университетском уровне в этих странах используется ЕМІ (English as a Medium of Instruction).

В Бельгии, Люксембурге и Мальте CLIL-подход применяется во всех школах и утверждён на уровне национальных образовательных программ.

В Финляндии CLIL реализуется с 1980-х годов в начальных и средних школах и часто предлагается на английском языке, хотя ранее были попытки внедрять эти программы на немецком [4]. На уровне университетов CLIL тоже представлен в этой стране и особенно широко применяется на базе университета Йювяскюля [5].

В Испании применение CLIL-подхода началось в 1996 году с утверждения проекта The Bilingual and Bicultural Project и имел целями повышение уровня английского языка и обучение по программам билингвальной и бикультурной направленности. Изначально CLIL применялся на базах дошкольного и младшего школьного обучения, позднее стал применяться и на уровне средней школы. На уровне высшего образования в Испании применяется в основном ЕМІ [6].

В Италии методология CLIL начала внедряться в начале 1990-х годов в основном в интернациональных и европейских школах на уровне старших классов средней школы. Наиболее популярным иностранным языком CLIL в Италии является английский, за которым следует французский. Испанский и немецкий языки преподаются в очень небольшом количестве программ [7].

Введение подхода CLIL в Германии было обусловлено историческими и идеологическими причинами, а именно, явилось результатом политических усилий правительств Франции и Германии в 1960-х годах, которые стремились после второй мировой войны способствовать примирению между двумя странами. В соответствии с Германским договором 1963 года в Германии были введены программы CLIL, направленные на содействие международному взаимопониманию. В настоящее время более 700 школ предлагают CLIL в различных формах [8].

Анализ мировых практик применения интегрированного предметно-языкового подхода (CLIL) показал, что в основном он применяется на уровне школьного образования. Существуют некоторые образовательные программы с применением CLIL-подхода на уровне высшего образования.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Pérez-Cañado M. L. CLIL research in Europe: Past, present, and future // *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*. – 2012. – vol. 15. – no. 3. – P. 315-341.
2. Marsh, D., ed., 2002. CLIL/EMILE. The European dimension. Actions, trends, and foresight potential. *Jyva "skyla "*: University of Jyva "skyla ". – Pp. 204
3. Wolff, D. 2002. On the importance of CLIL in the context of the debate on plurilingual education in the European Union. In *CLIL/EMILE. The European dimension. Actions, trends, and foresight potential*, ed. D. Marsh, 478. *Jyva "skyla "*: University of Jyva "skyla P. 47-49.
4. Lehkoinen, A., 2004. Foreign-Language-Medium Education as National Strategy. In: R. Wilkinson, ed. *Integrating Content and Language. Meeting the Challenge of Multilingual Higher Education*. – Maastricht: Universitaire Pers Maastricht. –P. 41–48
5. Costa F. et al. ICLHE/CLIL at the Tertiary Level of Education. State-of-the-Art // *Kalbu studijos*. – 2009. – no. 15. – P. 85–88.
6. Doiz A., Lasagabaster D., Sierra J. M. (ed.). *English-medium instruction at universities: Global challenges*. – *Multilingual matters*, 2012. –pp.221
7. Cinganotto L. CLIL in Italy: A general overview // *Latin American Journal of Content & Language Integrated Learning*. – 2016. – vol. 9. – no. 2. – P. 374–400
8. Werner B. *Entwicklungen und aktuelle Zahlen bilingualen Unterrichts in Deutschland und Berlin // Bilingualer Unterricht macht Schule*. – 2009. – P. 19–28.



## ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

А. И. Солдатов, Г.Н. Нариманова, М. А. Костина, В.Ю.Борталевич  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
Центральный экономико-математический институт  
E-mail: asoldatof@mail.ru

## INTERNET TECHNOLOGIES FOR PERFORMING LABORATORY WORK USING A COMPLEX OF PHYSICAL MODELING OF ELECTRONIC CIRCUITS.

A.I. Soldatov, G.N. Narimanova, M.A. Kostina, V.Yu. Bortalevich  
National Research Tomsk Polytechnic University  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics  
Central Economic and Mathematical Institute

***Annotation.** The technology of carrying laboratory class using a equipment for physical modeling of electronic circuits is described. The description of an equipment and its technical characteristics are presented. An approach to the implementation of laboratory classes in electronics via an Internet connection is proposed.*

В условиях ограничения контактной работы со студентами наблюдается усиленный рост внедрения в образовательный процесс симуляторов на основе стандартных или специализированных пакетов прикладных программ для выполнения практических и лабораторных работ [1–5]. Несмотря на широкие преимущества такого подхода он обладают существенным недостатком: студенты не работают с реальным оборудованием. Разработанный в ТПУ учебно-исследовательский стенд «УИК-1» позволяет проводить лабораторные работы удаленно [6–8]. Максимальное количество корпусов, которое можно разместить на стенде составляет 10, причем 5 из них рассчитаны на корпус DIP14 и 5 – на корпус DIP16 (рис.1). Кроме того, на стенде размещены два семисегментных индикатора, одна кнопка, два резистора, два светодиода, кварцевый генератор на 2 МГц и 8 разрядный двоичный счетчик делитель.



*Рис. 1. Внешний вид комплекса физического моделирования электронных схем*

Редактор схемы позволяет выбрать инструмент и набор микросхем, которые могут быть добавлены в схему. В рабочей области размещаются элементы схемы.

Технология проведения практических или лабораторных занятий заключается в выборе из библиотеки необходимого набора электронных компонент и их соединения в соответствии с электрической принципиальной схемой (рис. 2).

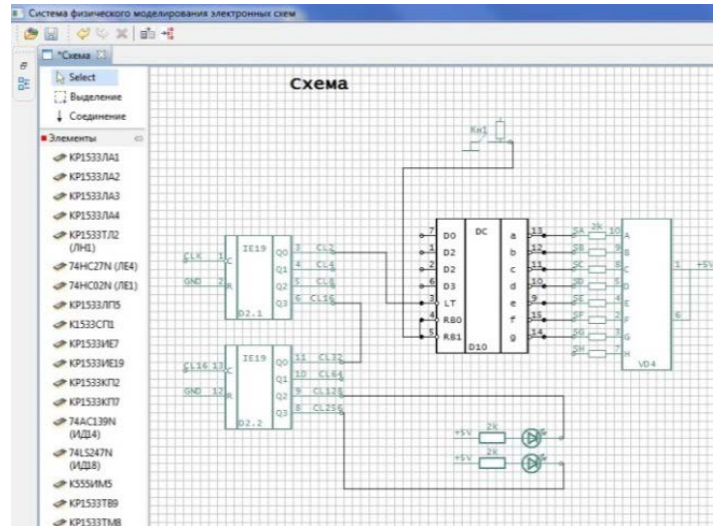


Рис. 2. Окно пользователя

Программирование электрических соединений электронной схемы осуществляется удаленным пользователем, имеющим доступ к системе. К свободным выводам подключается щуп осциллографа для снятия осциллограмм сигналов или измерения напряжения, кроме того, есть возможность программировать поочередный автоматический вывод контролируемых сигналов. Используемый осциллограф должен иметь связь с ПК для передачи полученных данных удаленному пользователю.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богодистова Е.С., Тельнов Г.Г. Эксперименты с периферийными устройствами с помощью компьютерных обучающих программ-тренажеров // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: материалы международной научно-практической конференции–Москва, 2014. – С. 50–55.
2. Ефимов И.Н., Жукова С.А., Магафуров В.В. Качественные и количественные показатели виртуального лабораторного комплекса // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: материалы международной научно-практической конференции–Москва, 2014. – С. 40–41.
3. Васильев В.А., Чернов П.С. Информационные технологии в изучении квантовой механики // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: Материалы международной научно-практической конференции–Москва, 2014. – С. 55–57.
4. Бушмелева К.И. Автоматизированная система адаптивного тестирования // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 2. – С. 16.
5. Бушмелева К.И., Иванов Ф.Ф., Микшина В.С. Автоматизированные обучающие и тестирующие системы, реализованные в учебном процессе на базе аудитории с обратной связью // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 5. – С. 41–45.
6. Солдатов А.И., Солдатов А.А., Костина М.А., Аристов А.А. Профессиональная подготовка специалистов по цифровой электронике с использованием комплекса физического моделирования электронных схем // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-25-2019): сборник докладов 25-й всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 117–121.
7. Солдатов А.И., Ким О.Х. Технические и алгоритмические проблемы коммутации современной электроники // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2010. – Т. 53.– № 9/3. – С. 308–311.
8. Солдатов А.И., Матросова А.Ю., Ким О.Х., Солдатов А.А., Костина М.А. Программируемая коммутационная среда // Вестник томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2020. – № 50. – С. 114–122.

**РЕАЛИЗАЦИЯ ПРАКТИК В ЭЛЕКТРОННОЙ СРЕДЕ В РАМКАХ  
СОВМЕСТНОЙ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ В ОБЛАСТИ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

И.А. Рахматуллин, М.А. Сурков, Б.В. Лукутин, С.Г. Обухов  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: riam@tpu.ru

**IMPLEMENTATION OF PRACTICES IN THE ONLINE COURSE IN THE  
FRAMEWORK OF THE JOINT MASTER PROGRAM IN THE FIELD OF  
ELECTRICAL ENGINEERING**

I.A. Rakhmatullin, M.A. Surkov, B.V. Lukutin, S.G. Obukhov  
National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The results of the joint Master's program in Electrical Engineering between Tomsk Polytechnic University and the Czech Technical University (Prague). Implementation problems are considered and recommendations on possible solutions are given.*

За последние годы произошло массовое вовлечение в систему образования электронной среды обучения на базе различных платформ. Преимущества данного подхода позволяют реализовывать синхронный/асинхронный режим обучения, дают возможность студенту самостоятельно определять интенсивность обучения, не отставать от группы при невозможности посещения занятий, особенно для лиц с ограниченными возможностями здоровья, а также обеспечивают эпидемиологическую безопасность для участников процесса обучения, как показывают события 2020 г.

Программа разработана в рамках реализации Соглашения о разработке и реализации Совместной образовательной программы между Томским политехническим университетом (ТПУ, г. Томск, Российская Федерация) и Чешским техническим университетом в Праге (ЧТУ, г. Прага, Чешская Республика). Совместная программа «Производство и транспортировка электрической энергии» [1] разработана в соответствии с образовательными стандартами Российской Федерации на основе лицензированной программы «Оптимизация развивающихся систем электроснабжения» (направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника») и Чешской Республики на основе программы «Электротехника, энергетика и менеджмент» (направление «Экономика и менеджмент в электроэнергетике»), реализованных в ТПУ и ЧТУ, соответственно.

Выпускникам присуждаются степени и выдаются дипломы двух университетов:

- 1) ТПУ: Магистр техники и технологии по направлению «Электроэнергетика и электротехника» (Оптимизация развивающихся систем электроснабжения);
- 2) ЧТУ: Магистр техники и технологии в области электротехники, энергетике и менеджмента (Экономика и менеджмент в электроэнергетике).

Форма обучения – очная, срок обучения составляет 2 года, язык обучения - английский.

Студенты, поступившие на Совместную программу, в первом и втором семестрах проходят обучение в университете, где были зачислены в магистратуру, в третьем и четвертом семестрах в вузе-партнёре. По итогам обучения студенты готовят выпускные квалификационные работы. Защиты выпускной квалификационной работы по энергетике и экономике проходят в ТПУ и ЧТУ, соответственно. Университеты принимают обязательства зачёта результатов аттестации студентов по дисциплинам Совместной программы в вузе-партнёре.

Государственная итоговая аттестация студентов, обучающихся по Совместной программе, состоит из представления и защиты выпускных квалификационных работ в

ТПУ и ЧТУ и устных экзаменов по специальным дисциплинам и разделам в ЧТУ. Государственный экзамен студенты сдают в соответствии с правилами ЧТУ.

Обучение студентов в вузах-партнёрах проходит на английском языке. Соответственно, условием приёма студентов на Совместную программу, кроме мотивации диплома бакалавра вуза-партнёра с высоким средним баллом, является сертификат по английскому языку не ниже B2.

Для совершенствования английского языка студентов в учебную программу бакалаврской подготовки дополнительно введена дисциплина «Профессиональный английский язык». Эту дисциплину ведут преподаватели профилирующих кафедр. Для консультации к ним прикреплены кураторы – ведущие преподаватели кафедры иностранных языков.

Кроме высокого уровня владения английским языком студентами и преподавателями, необходимо англоязычное методическое обеспечение дисциплин Совместной программы. Преподаватели, участвующие в реализации магистерской программы, должны не просто свободно владеть иностранным языком, а иметь высокую компетенцию именно в профессиональной области преподаваемой дисциплины.

Реализация образовательной программы на английском языке требует серьёзных усилий при подготовке методических материалов и англоговорящих преподавателей профилирующих кафедр. Следует отметить, что даже решение указанных вопросов оставляет открытыми вопросы общения студентов с административными службами университета и общения в быту. Языковая проблема является одной из важнейших при подготовке образовательных программ в не англоговорящих странах.

Другой проблемой являются различия в законодательстве стран-партнёров по образовательной программе в области работы с иностранными студентами. Возникающие вопросы приходится решать на уровне университетов, что требует внимания и доброй воли со стороны руководства.

DD-программа основана на двух различных профилях (преимущественно технический – ТПУ, преимущественно экономический – ЧТУ), что ведёт к невозможности включения всех изучаемых в вузах-партнёрах в учебный план Совместной программы. Стремление не потерять качество подготовки в таких условиях ведёт к повышенной учебной нагрузке студентов.

Кроме того, имеется несовпадение во времени семестров ТПУ и ЧТУ, что влечёт необходимость сдвига защиты ВКР в ТПУ для российских студентов с организацией дополнительных заседаний Государственной аттестационной комиссии и необходимость постоянного контакта руководителей ВКР и студентов как во время пребывания обучающихся в вузе-партнёре, так и в летний период.

Различные профили подготовки студентов в вузах-партнёрах определили целесообразность подготовки ВКР, состоящей из двух частей. Техническая часть готовится в ТПУ и посвящается проработке вопросов электроснабжения некоторого хозяйственного объекта. В ЧТУ студенты проводят экономическое обоснование технических решений, принятых в ВКР. Таким образом, можно говорить о комплексном характере ВКР.

Юридически статус студентов Совместной программы определяется переводом на индивидуальный план обучения. В соответствии с Российскими образовательными стандартами ФГОС3++ применение индивидуального учебного плана позволяет повысить объём дисциплин, изучаемых в год, до 75 з.е. относительно рекомендованного 60 з.е. Эта возможность позволяет решить проблему стыковки учебных планов профилей подготовки вузов-партнёров в Совместной программе.

В целом, программа двойного диплома «Производство и транспортировка электрической энергии» между Томским политехническим университетом и Чешским техническим университетом реализуется достаточно успешно. Свидетельством тому является её реализация с 2011 года. За это время успешно закончили программу

несколько десятков студентов из России Чехии. В настоящее время по программе обучаются 21 студент.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурков М.А., Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Рахматуллин И.А. Опыт реализации совместной магистерской программы в области электротехники // Современные технологии, экономика и образование: Сборник материалов всероссийской научно-методической конференции. – Томск, 2019. — С. 36–37.

### СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ КЕРАМИКИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО СИНТЕЗА

Е.Ф. Полисадова, А.В. Ермолаев, В.М. Лисицын  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: elp@tpu.ru

### METHOD OF PREPARATED OF LUMINESCENT CERAMICS BY ELECTRON BEAM ASSISTED SYNTHESIS

E.F. Polisadiva, A.V. Ermolaev, V.M. Lisitsyn  
Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This research work is presenting a fundamentally new promising technology for the radiation synthesis of refractory, complex optical (transparent and luminescent) ceramics based on metal oxides and fluorides in the field of powerful flows of high-energy electrons for use as materials for lasers, scintillators, dosimetric materials, phosphors. For the implementation of the radiation synthesis method, the electron accelerator ELV-6 of the Institute of Nuclear Physics SB RAS is used.*

Развитие фотоники и оптики в значительной степени определяется разработкой новых материалов и новых технологий их получения. Существует большая потребность в качественных функциональных материалах для целей фотоники (люминофоры, материалы для дисплеев, преобразователи излучения, оптические компоненты, проходная оптика и т.д.). Использование материалов поликристаллической форме (керамики и нанокерамики) позволяет решить многие технические проблемы, связанные с применением кристаллов, стёкол и дает большие преимущества. Керамические материалы, как правило, обладают термо- и химической устойчивостью, высокой прочностью и используются в областях с экстремальными условиями эксплуатации (космическая техника, лазерная техника, высокотемпературные датчики). Однако разнообразные методы синтеза оптической и люминесцентной керамики энергоёмки, содержат множество сложных этапов, что не позволяет получать стабильный результат в виде функционального материала с заданными свойствами. Перспективным направлением для разработки универсальных эффективных технологий синтеза поликристаллов и прекурсоров для керамики использование радиационного излучения. В работах [1-3] было показано что возможно существенное ускорение процесса синтеза тугоплавких оптических материалов путем стимулирования твердофазных реакций в поле радиации. Можно ожидать, что включение в процесс синтеза новых эффектов, реакций между промежуточными продуктами радиолиза, не только увеличить их скорость, но и откроет новые возможности создания композитных материалов. Целью работы является разработка высокоэффективных технологий радиационного синтеза поликристаллов и керамики из тугоплавких соединений, с использованием пучка высокоэнергетических электронов, для получения функциональных материалов с комплексом заданных свойств.

Реализация метода синтеза возможна при использовании потоков радиации, обеспечивающих высокую объемную плотность ионизации среды, в которой происходит формирование керамики. Использование ускорителя электронов ЭЛВ-6 ИЯФ СО РАН позволяет синтезировать композитные материалы на основе широкозонных материалов (оксидов и фторидов металлов) с температурой плавления более 1600 °С. При плотности мощности 20 кВт/см<sup>2</sup>, энергии электронов 1.4 МэВ плотность поглощенной энергии в MgF<sub>2</sub> и иттрий-алюминиевом гранате (ИАГ) составляет 6×10<sup>23</sup> и 11×10<sup>23</sup> эВ/см<sup>3</sup>. При такой плотности поглощенной энергии за 1 с в кристалле MgF<sub>2</sub> создается ~6×10<sup>23</sup>/2Eg~2,5×10<sup>22</sup> электронных возбуждений, в ИАГ ~ 5,5×10<sup>22</sup>см<sup>-3</sup>. В диэлектрических материалах основная доля радиации (99%) расходуется на создание электронных возбуждений, то есть на разрыв связей между ионами исходных веществ, оксидов или фторидов металлов. Для синтеза новой фазы нужно разорвать все связи. Поэтому поглощенная энергия для синтеза должна быть не менее энергии решетки обрабатываемого объема вещества, то есть не менее 10<sup>23</sup> эВ/см<sup>3</sup>. Для создания за 1с такого количества электронных возбуждений (ЭВ) нужна высокая плотность потока электронов. Время жизни ЭВ составляет около 10<sup>-9</sup> - 10<sup>-10</sup> с. Результатом распада ЭВ являются продукты радиолиза, время жизни которых - 10<sup>-9</sup> - 10<sup>-3</sup> с. Следовательно, равновесные концентрации короткоживущих продуктов радиолиза могут составлять 10<sup>14</sup> – 10<sup>19</sup> см<sup>3</sup>. Поэтому при такой мощности в шихте могут происходить эффективно реакции между продуктами радиолиза. Плотности мощности ускорителя электронов ЭЛВ-6 должно быть достаточно для инициирования реакций в шихте. И это подтвердилось проведенными к настоящему времени экспериментальными работами по синтезу керамики на основе MgF<sub>2</sub>, ИАГ, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, «чистых» и с примесями редкоземельных элементов, поливалентных металлов. Распределение интенсивности потока по сечению гауссово, с диаметром на полувысоте – 7,5мм. Это позволяет обеспечить достаточно хорошо контролируемую плотность воздействия потока на мишень. Показана возможность использования мощного электронного пучка для синтеза многокомпонентных веществ и перспективность такого метода, отличающегося универсальностью, высокой скоростью и производительностью.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Karipbayev Zh.T., Lisitsyn V.M., Mussakhanov D.A., Alpyssova G.K., Popov A.I., Polisadova E.F., Elsts E., Akilbekov A.T., Kukenova A.B., Kemere M., Sarakovskis A., Lushchik A. Time-resolved luminescence of YAG:Ce and YAGG:Ce ceramics prepared by electron beam assisted synthesis // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms – 2020. – vol. 479. – P. 222–228.
2. Mussakhanov D.A., Tulegenova A.T., Lisitsyn V.M., Golkovski M.G., Karipbayev Z.T., Kupchishin A.I., Stepanov S.A. Effect of Annealing on the Luminescence of YAG:Ce and YAGG:Ce Ceramics Synthesized in a Radiation Field // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2020. – vol. 84. – no.7. – С. 799–802.
3. Mussakhanov D.A., Tulegenova A.T., Lisitsyn V.M., Golkovsky M.G., Lisitsyna L.A., Abdullin K.A., Aitzhanov M.B., Karipbayev Z., Kozlovsky A., Michailov Y.I. Structural and luminescent characteristics of YAG phosphors synthesized in the radiation field // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019.–vol. 510 – no1. – P. 012031.

# ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ РОБАСТНОГО D-РАЗБИЕНИЯ

С.А. Гайворонский, Т.А. Езангина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: saga@tpu.ru

## THE SYNTHESIS OF A LINEAR CONTROLLER OF THE INTERVAL CONTROL SYSTEM ON THE BASIS OF ROBUST D-PARTITION

S.A. Gayvoronskiy, T.A. Ezangina

Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The article deals with the technique of a combined parametric synthesis of a linear controller which enables to maximize the degree of robust stability of a control system. The technique was developed on the basis of the coefficient method, the method of the edge route of polyhedron and the method of robust D-partition. The paper also presents the numerical illustration of PI-controller synthesis of a power unloading system.*

### 1. Введение

При проектировании робастных регуляторов для систем управления с интервальными параметрами (ИСУ) актуальна задача параметрического синтеза регуляторов, уменьшающих время переходных процессов в ИСУ [1-4]. В большинстве из применяемых подходов, предлагается подход [2], где используются полиномы, как правило, нормированные по определенному параметру. При этом для решения задачи обеспечения максимальной степени устойчивости представляет интерес также применение метода нелинейного программирования [3]. Для решения поставленной задачи в работе [4] предлагается на основе робастного расширения коэффициентного метода определить интервалы настроек регулятора, обеспечивающие заданные показатели качества. Ограничением данного метода является его использования только для приведенных к интервальному виду характеристических полиномов, что приводит к увеличению консерватизма системы. Поэтому представляет интерес усиление искомых настроек регулятора с целью получения не заданной степени робастной устойчивости, а максимальной. Данный показатель можно обеспечить, например, робастным расширением метода D-разбиения. При этом предлагается рассматривать интервальные характеристические полиномы (ИХП) с аффинным типом неопределенности их коэффициентов. Таким образом, в данной работе на основе ИХП решается задача поиска максимальной степени робастной устойчивости линейной ИСУ и обеспечивающих ее параметров регулятора.

### 2. Робастное D-разбиение по интервальным настройкам ПИ-регулятора

Пусть задан ИХП вида  $D(s) = \sum_{i=1}^m T_i A_i(s) + B(s)$ , где  $T_i$  – образуют многогранник интервальных параметров, грани которого обозначим через  $G_{ij}$  ( $i$  и  $j$  – индексы интервальных параметров).

Запишем уравнение для построения границы области D-разбиения по двум интервальным параметрам  $T_i$  и  $T_j$ ,  $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}, i \neq j$ , изменяющимся из вершины  $V_q$ :  $k_1 \cdot A_1(\overline{T^q}, s) + k_2 \cdot A_2(\overline{T^q}, s) + \sum_k A_k(\overline{T^q}, s) + B(s) = 0$

На основе D-разбиения по двум параметрам запишем условие обеспечения в ИСУ допустимых корневых показателей робастного качества.

**Условие 2.** При изменении интервальных параметров  $T_i$  и  $T_j$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $i \neq j$  по ребрам грани  $G_{ij}$  в ИСУ обеспечиваются робастная устойчивость и колебательность в допустимой области корневой плоскости с границей  $s = -\alpha(\beta) + j\beta$ , если прямоугольник изменения параметров  $T_i$  и  $T_j$ , принадлежит области D-разбиения по этим параметрам.

### 3. Методика синтеза робастного регулятора

- 1) Коэффициентным методом [4] найти настройки регулятора  $\vec{k}$ , обеспечивающие заданную степень робастной устойчивости  $\eta_{зад}$ .
- 2) При найденных настройках регулятора построить реберный маршрут многогранника интервальных параметров системы управления.
- 3) Отобразить найденный маршрут на корневую плоскость и определить степень устойчивости  $\alpha$ , образ которой наиболее близок к мнимой оси.
- 4) Построить D-разбиение по настройкам регулятора  $\vec{k}$  в вершинах найденного маршрута (задав границу  $s = -\alpha(\beta) + j\beta$ , где значение  $\alpha$  определено в п.3.) и определить интервалы настроек регулятора  $\vec{k}$  лежащие внутри области устойчивости.
- 5) Найти пересечения областей настройки регулятора  $\vec{k}$  и определить диапазон настройки регулятора  $\vec{k}$ .
- 6) Подставить интервалы настроек регулятора  $\vec{k}$  в вершины построенного в п.2 граничного маршрута и выбрать настройки регулятора  $\vec{k}$  обеспечивающее максимальную степень устойчивости.

### 4. Числовой пример

Рассмотрим систему силовой разгрузки (ССР), которая должна обеспечивать плавное и точное перемещение груза в пределах рабочей зоны при непосредственном воздействии оператора на груз рукой небольшим направленным усилием. ССР представляет собой двухмассовую систему с упругой связью в виде троса, связывающего груз и электропривод.

Анализ передаточных функций ССР по возмущению в установившемся режиме с различными регуляторами показал, что в системе целесообразно использовать ПИ-регулятор, который обеспечивает астатизм 1-го порядка. Его передаточная функция имеет вид  $W_p(s) = (k_1 + k_2s) / s$ . В результате математического описания ССР [4] составлена ее структурная схема (рис. 1).

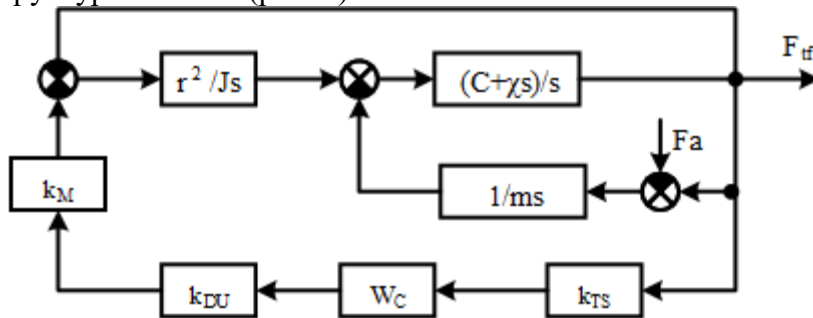


Рис. 1. Структурная схема ССР

Необходимо на основе разработанного алгоритма найти настройки  $\vec{k}$  регулятора и значение обеспечиваемой ими максимальной степени  $\alpha$  устойчивости в наихудшем режиме ССР.

В результате определяем  $k_2 = 0.3$ ;  $k_1 = 49.5$ , обеспечивающие максимальную степень устойчивости  $\alpha_{max} = 109$ .



Для проверки полученных результатов построен интервальный корневой годограф ССР во всех вершинах (рис. 2).

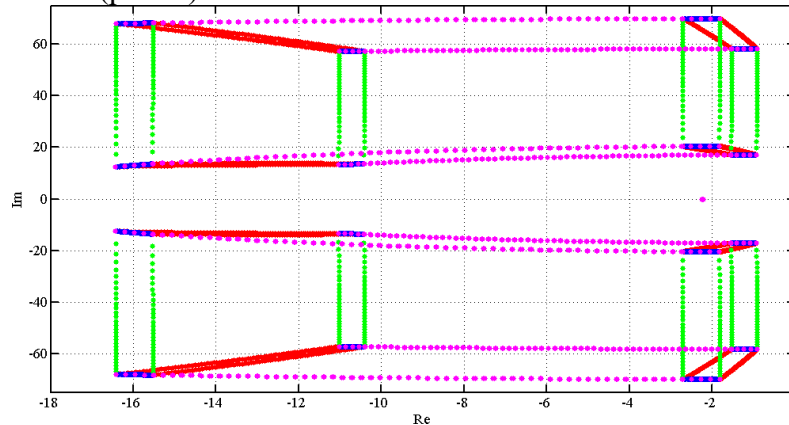


Рис. 2. Интервальный корневой годограф ССР

Из рисунков видно, что методика работоспособна и позволяет решать поставленную задачу.

## 5. Заключение

Для повышения быстродействия ИСУ разработана методика параметрического синтеза робастного регулятора. Данная методика позволяет максимизировать степень робастной устойчивости ИСУ на основе многоэтапного параметрического синтеза с применением интервального расширения коэффициентного метода и робастного расширения метода D-разбиения. Методика апробирована на числовом примере реальной ИСУ.

*Выполненные исследования поддержаны ГЗ Наука, грант FSWW-2020-0014.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang L. Robust strong stabilizability of interval plants: it suffices to check two vertices // System and control letters. – 1995. – № 26 – С. 133–136.
2. Kim D.P. Synthesis regulator maximum degree of stability // Drive Technology. – 2003. – no. 4. – P.52–57.
3. Tatarinov A.V., Tsirlin A.M. Mathematical programming problems containing complex variables, and the maximum degree of stability of linear dynamical systems // Bulletin RAS. Ser. Computer and Systems. – 1995. – no. 1. – С. 28–33.
4. Ezangina T. A., Gayvoronskiy S. A. The synthesis of the robust Stabilization system of cable tension for the test Bench of weightlessness simulation // Advanced Materials Research. – 2014. – vol.1016 – P. 394–399.

## КЕЙС-МЕТОД - СОВРЕМЕННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

И.А. Лариошина, М.Н. Янушевская

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

E-mail: vela2007@bk.ru

## CASE METHOD - MODERN EDUCATIONAL TECHNOLOGY

I.A. Larioshina, M.N. Yanushevskaya

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

*Annotation. This article presents the advantages of using the case method in the educational process, and lists the skills that can be formed in students when using this technology by teachers.*

В современных условиях оценка качества усвоения учебного материала студентами не должна сводиться только к тестированию остаточных знаний по каждой дисциплине в

отдельности, она должна быть комплексной, позволяя оценить самостоятельность и инициативность у студента, его умение ориентироваться в профессиональной сфере.

В качестве одного из таких методов оценки может быть применен кейс-метод.

Кейс-метод как образовательная технология представляет собой рассмотрение студентами реальных экономических, социальных и бизнес-ситуаций. При решении подобных задач студенты могут продемонстрировать свой творческий потенциал и креативность.

Применение данной технологии в образовательном процессе позволяет сформировать следующие навыки:

- анализировать информацию;
- выявлять оптимальный путь решения проблемы;
- выявлять альтернативы решения проблемы;
- выявлять недостающие данные в представленном описании бизнес-ситуации;
- осуществлять оценку эффективности/результативности предлагаемых решений;
- приходить к согласованности мнений между всеми участниками;
- обобщать информацию;
- аргументировать предлагаемое решение по рассматриваемой бизнес-ситуации;
- применять полученные теоретические знания для решения описанной проблемы.

Данные навыки формируются благодаря тому, что описание бизнес-ситуации, как правило, представлено не в структурированном виде и студентам приходится очень внимательно изучать текст, отбирать факты и приходить к принятию согласованного решения. Однако, при применении кейс-метода в образовательном процессе необходимо понимать, что нет правильного и неправильного ответа, а есть решение, к которому приходят обучающиеся, выполняя оценку эффективности/результативности принятого решения [1].

Как и любая технология, кейс-метод имеет свои недостатки и достоинства. Среди основных недостатков можно выделить то, что студентам может не хватить отведенного времени для понимания описанной ситуации и его анализа. Среди основных достоинств данной технологии можно выделить, что кейс-метод позволяет обучающимся выработать новые знания, а не овладеть новым знанием.

Применение кейс-метода во время учебных занятий позволяет повысить мотивацию студентов к образовательному процессу и получению профессиональных навыков. Поскольку данная технология позволяет студентам осознать, что теоретические знания, получаемые во время обучения, могут быть применены для решения реальных практических задач.

Кейсовый метод обучения является одним из результативных способов развития и закрепления полученных знаний в области изучаемых дисциплин, на основе которых студент принимает самостоятельные решения [2,3].

Таким образом, применение кейс-методов в образовательном процессе способствует повышению уровню профессиональной подготовки студента, содействует развитию интеллектуального и творческого потенциала, а также демонстрации взаимосвязи теоретических знаний, которые они получают во время обучения в образовательном учреждении и их практическим применением в решении проблем, возникающих на предприятиях.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Грузкова С.Ю., Камалеева А.Р. «Кейс-метод: история разработки и использования метода в образовании». //Современные исследования социальных проблем. – 2013. – №6(26). – 185 с.

2. Солянкина Л. Е. Модель развития профессиональной компетентности в практикоориентированной образовательной среде // Известия ВГПУ. – 2011. – № 1. – С. 70.
3. Подгребельная Н.И., Халилова Л.А. Кейс-метод как условие формирования исследовательских способностей студентов вуза [Электронный доступ] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/keys-metod-kak-uslovie-formirovaniya-issledovatelских-sposobnostey-studentov-vuza> (дата обращения: 06.10.2020).

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭКОНОМИКА И  
ОБРАЗОВАНИЕ**

Сборник материалов  
II Всероссийской научно-методической конференции

Компьютерная верстка И.А. Лариошина

**Зарегистрировано в Издательстве ТПУ  
Размещено на корпоративном портале ТПУ  
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**



**Издательство**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ