



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
ООП – Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Создание VR-модели стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов

УДК 004.946:532.5

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Акулов Игорь Романович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Зарницын А.Ю.			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Гасанов М.А.	д.э.н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Мезенцева И.Л.			

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Кучман А.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Цавнин А.В.	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-6	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля,

Код компетенции	Наименование компетенции
	технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования
ПК(У)-2	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий
ПК(У)-3	готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в

Код компетенции	Наименование компетенции
	практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством,
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного

Код компетенции	Наименование компетенции
	проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Цавнин А.В.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Т92	Акулову Игорю Романовичу

Тема работы:

Создание VR-модели стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 34-90/с от 03.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	05.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p>Объектом исследования является цифровой симулятор стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов.</p> <p>Предметом разработки является программный комплекс для обучения студентов инженерных вузов направлений автоматизации посредством виртуальной реальности.</p> <p>Входные данные:</p> <ul style="list-style-type: none"> – результаты НИР в семестре; – имитационная модель стенда; – техническое задание.
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор существующих решений; – разработка структуры проекта и концепции; – реализация и апробация проектных решений; – социальная ответственность; – финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> – Блок схема алгоритмов функционирования; – структурная схема; – функциональная схема.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

Раздел	Консультант
Обзор существующих решений	Зарницын Александр Юрьевич, ст. преподаватель ОАР ИШИТР
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, ст. преподаватель ООД ШБИП
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы, профессор ОСГН ШБИП

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2023
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Зарницын А.Ю.			03.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Акулов Игорь Романович		03.02.2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Уровень образования – Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Т92	Акулов Игорь Романович

Тема работы:

Создание VR-модели стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	05.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2023 г.	Основная часть ВКР	60
30.05.2023 г.	Раздел «Социальная ответственность»	20
30.05.2023 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Зарницын А.Ю.			03.02.2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Цавнин А.В.	к.т.н., доцент		03.02.2023

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Акулов Игорь Романович		03.02.2023

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 84 с., 24 рис., 18 табл., 20 источников, 4 прил.

Ключевые слова: гидравлические процессы, VR-модель, стенд, физическое подобие, стенд физического подобия.

Объектом исследования является цифровой симулятор стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов.

Цель работы – разработка и реализация VR-модели стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов.

В процессе выполнения работы использовались среды Unity, Codesys, MATLAB Simulink, были написаны скрипты для обмена данными по протоколу TCP/IP.

В результате выполнения работы была реализована VR-модель стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов.

Область применения: виртуальные лабораторные тренажеры широко применяются в образовательных учреждениях для замены лабораторных стендов.

В будущем планируется разработка новых сценариев виртуальных лабораторных работ, на основании созданного комплекса, разработка методических указаний.

Содержание

Введение.....	14
1 Современная виртуальная реальность	15
1.1 VR-очки.....	15
1.2 Виртуальная реальность в образовательном процессе	16
1.3 Обзор аналогов	17
1.3.1 Платформа COMOS Walkinside.....	17
1.3.2 Тренажер для операторов компании FusionVR для Yokogawa.....	18
1.4 Вывод по разделу	19
2 Разработка концепции	20
2.1 Выбор реального аналога стенда.....	20
2.2 Требования к VR-модели	21
3 Разработка структуры проекта.....	23
4 Разработка методов обмена данными	25
4.1 Выбор протоколов передачи данных	25
4.2 Разработка интерфейса передачи данных	25
4.3 Доработка структуры проекта	27
5 Разработка VR-приложения	29
5.1 Выбор программного обеспечения для реализации	29
5.2 3D модель виртуального стенда	30
5.2.1 Среда 3D-моделирования Blender	30
5.2.2 Анализ составляющих реального аналога стенда	31
5.2.3 Разработка 3D-моделей	32
5.3 Разработка сцены Unity	34
5.4 Виртуальная панель оператора.....	34

5.5	Функционал для взаимодействия с VR-гарнитурой.....	35
5.5.1	VR-гарнитура Oculus Quest 2.....	35
5.5.2	Реализация функционала.....	36
5.5.3	Разработка способа ввода.....	37
5.6	Клиентская часть.....	38
6	Математическая модель	39
6.1	Разработка серверной части	40
6.2	Формирование и распаковка посылок	41
7	Библиотека Codesys	43
8	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 47	
8.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	47
8.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	47
8.1.2	Анализ конкурентных технических решений	48
8.1.3	SWOT – анализ	49
8.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	50
8.3	Планирование научно-исследовательских работ.....	51
8.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	51
8.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	52
8.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	53
8.3.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	53
8.3.5	Расчет материальных затрат НТИ	54
8.3.6	Основная заработная плата исполнителей темы.....	54

8.3.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	56
8.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	57
8.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	58
9 Социальная ответственность	63
9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	63
9.2 Производственная безопасность	64
9.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны	65
9.2.2 Монотонность труда, длительное сосредоточенное наблюдение ..	65
9.2.3 Отклонение показателей микроклимата	66
9.2.4 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	67
9.3 Экологическая безопасность	68
9.3.1 Влияние на литосферу	68
9.3.3 Влияние на гидросферу	69
9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	69
9.5 Выводы по разделу	70
Заключение	72
Список литературы	73
Приложение А (Обязательное) Временные показатели проведения научного исследования	75
Приложение Б (Обязательное) Диаграмма Ганта	76
Приложение В (Рекомендуемое) Листинг кода клиентской части VR-приложения	77

Приложение Г (Рекомендуемое) Листинг кода функционального блока TcpIpClientMulti.....	82
--	----

Введение

На сегодняшний день в процессе современного обучения немаловажную роль играет практическая подготовка студентов, посредством взаимодействия с реальными технологическими процессами, объектами изучения и проведения лабораторных работ. Вследствие этого, в университетах и центрах обучения существует острая необходимость в создании специализированных системах обучения, таких как разнообразные лабораторные установки, стенды физического подобия. Ранее для удовлетворения этих потребностей строились громоздкие комплексы, выделялись большие помещения, покупалось дорогостоящее оборудование, но с увеличением производительности современных вычислительных машин и развитием технологий виртуальной и дополненной реальностей, актуальность реальных объектов, в виде обучающих комплексов, угасает и на смену им приходят цифровые двойники и учебные симуляторы. Принимая во внимание все вышесказанное, можно сделать вывод о необходимости разработки образовательных систем виртуальной реальности в связке с цифровыми двойниками.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и реализация цифрового симулятора стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- обзор сферы и существующих аналогов;
- выбор реального стенда, для создания его 3D моделей;
- создание VR-приложения;
- разработка модулей взаимодействия.

Объектом разработки является цифровой симулятор стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов.

Предметом разработки является программный комплекс для обучения студентов инженерных вузов направлений автоматизации посредством виртуальной реальности.

1 Современная виртуальная реальность

Виртуальная реальность (VR) — это технология, которая использует компьютерную графику, звук, и другие сенсоры для создания убедительного имитационного опыта, который может охватывать зрение, слух, тактильные ощущения и даже запахи. VR может создавать полностью искусственные миры, а также имитировать реальный мир [1].

Сферы применения VR включают:

- развлечения: игры, фильмы, тематические парки, музеи, концерты;
- обучение: тренинги, симуляторы, виртуальные экскурсии, образовательные программы;
- медицина: тренировки хирургов, психотерапия, реабилитация;
- архитектура и дизайн: визуализация проектов, презентации клиентам;
- бизнес: виртуальные конференции, общение с клиентами, тренинги.

Современные технологии VR включают в себя VR-очки и шлемы, которые создают иллюзию присутствия в другом мире, контроллеры и датчики, регистрирующие движения и действия пользователя. Одной из основных технологий, используемых в VR, является технология отслеживания положения, которая позволяет системе определять местоположение и движение пользователя в пространстве. Это дает возможность им свободно перемещаться и взаимодействовать с виртуальным миром.

1.1 VR-очки

VR-очки — это устройства, которые надеваются на голову и позволяют пользователю видеть и взаимодействовать с виртуальной реальностью. Они оснащены двумя дисплеями, расположенными перед глазами, и датчиками, которые отслеживают положение головы и тела пользователя. Это позволяет создать эффект присутствия в виртуальном мире.

Существуют несколько типов VR-очков:

- пассивные VR-очки, которые используются в основном для просмотра VR-видео и фильмов, они обеспечивают пользователю широкий угол обзора, но не позволяют взаимодействовать с виртуальным миром;
- активные VR-очки, которые обеспечивают пользователю возможность взаимодействовать с виртуальным миром, они могут использоваться для игр, тренировок, обучения и других целей;
- мобильные VR-очки, которые работают в связке с мобильным устройством, таким как смартфон, они обычно более доступны по цене, но могут быть ограничены по функциональности;
- самостоятельные VR-очки, которые имеют собственный встроенный процессор, оперативную память и хранение, что позволяет им работать без необходимости подключения к компьютеру или мобильному устройству.

1.2 Виртуальная реальность в образовательном процессе

Виртуальная реальность приносит большую пользу в образовательном процессе, так как она дает учащимся возможность получать новые знания и опыт в реалистичных симуляциях и имитациях, которые помогают учащимся лучше понимать и запоминать информацию посредством прожития реалистичного опыта.

Основными преимуществами применения виртуальной реальности в процессе обучения являются:

- уникальный и убедительный опыт, VR-технологии могут помочь создать опыт, который не может быть имитирован другими методами;
- повышение мотивации, использование VR-технологий может повысить мотивацию учащихся к обучению и вовлечь их в процесс изучения, Реалистичные симуляции и имитации могут сделать обучение более интересным и занимательным;
- более эффективное обучение, использование VR может помочь учащимся лучше понимать и запоминать информацию, благодаря возможности создания более наглядных и реалистичных симуляций;

– более безопасные условия для обучения, VR-технологии могут помочь создать безопасные условия для обучения в опасных или экстремальных ситуациях, таких как тренировки военных или медицинских специалистов.

Среди недостатков VR в образовании можно отметить:

– высокая стоимость, VR-технологии могут быть довольно дорогими, что может быть проблемой для многих образовательных учреждений.

– технические проблемы, VR-оборудование может быть сложным в использовании и требовать специальной подготовки, а также могут возникать проблемы с соединением или настройкой оборудования.

– ограниченность контента, несмотря на то, что существует много потенциальных применений VR в образовании, еще не все темы или предметы могут быть представлены в формате VR.

В целом, использование VR в образовании имеет большой потенциал и может помочь сделать обучение более эффективным и интересным для учащихся.

1.3 Обзор аналогов

Перед началом разработки необходимо ознакомиться с существующими аналогами систем виртуальной реальности для обучения студентов инженерных направлений. Далее будут рассмотрены некоторые существующие и применяемые учебные VR-комплексы.

1.3.1 Платформа COMOS Walkinside

COMOS Walkinside — это платформа виртуальной реальности для управления жизненным циклом продукции предприятия. Представляет из себя программное обеспечение, которое позволяет в точности воссоздать производство в виртуальной реальности, симулировать аварийные ситуации и сценарии действий операторов [2].

Данный комплекс применим к нефтегазовым производствам и имеет основную цель в обучении персонала действиям при чрезвычайных ситуациях, а также правильной эксплуатации объектов производства, ее интерфейс отображен на рисунке 1.

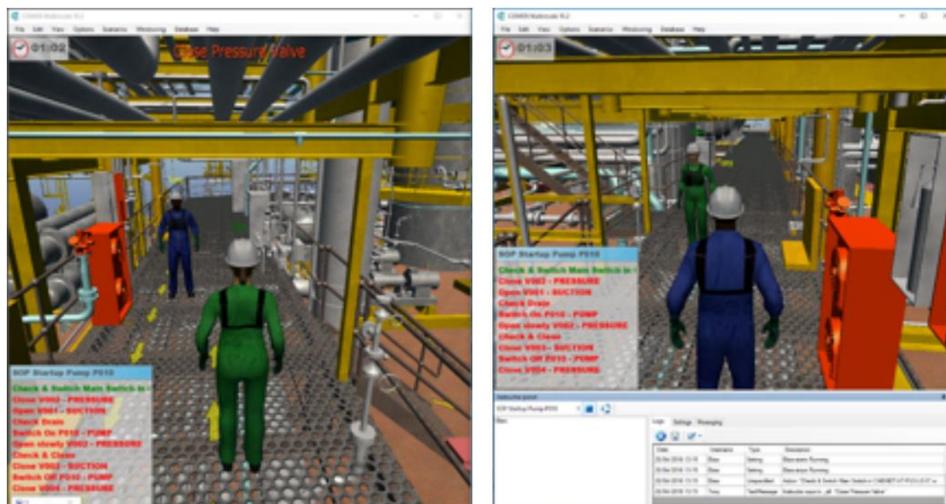


Рисунок 1 — Интерфейс COMOS Walkinside

К плюсам данного комплекса можно отнести тесную интеграцию с реальными производственными процессами, наглядное представление повседневных и аварийных сценариев развития событий.

К минусам COMOS Walkinside относятся слабая возможность применения к процессу обучения студентов, низкая доступность для отечественного потребителя вследствие наличия санкций со стороны компании разработчика (Siemens).

1.3.2 Тренажер для операторов компании FusionVR для Yokogawa

Fusion VR — ведущая индийская компания, специализирующаяся на решениях для VR, AR и Industry 4.0, которая помогает предприятиям в их цифровом преобразовании. Она предоставляет конечные продукты для тренировки персонала, его обучения, преобразует технологические процессы с применением технологий дополненной реальности [3].

Одним из проектов компании является образовательный комплекс для операторского персонала, разработанный под руководством компании Yokogawa, представляющий из себя программное обеспечение для

визуализации наглядной виртуальной среды предприятия, симуляции аварийных ситуаций на производстве и обучению по действиям в данных случаях, процесс работы в программе отображен на рисунке 2.

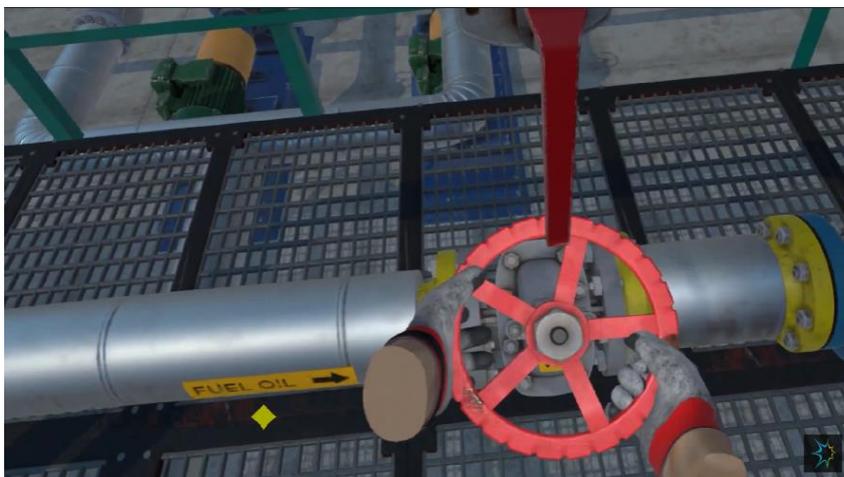


Рисунок 2 — Процесс работы в VR тренажере

Применяется для повышения квалификации персонала операторов на нефтегазовых месторождениях, улучшения понимания технологического процесса и возможных сценариев развития событий на рабочем месте. Позволяет просматривать внутреннее устройство объектов производства и их работу.

1.4 Вывод по разделу

В ходе рассмотрения аналогов был сделан вывод, что сегодня существует большая потребность в системах обучения на основе виртуального пространства, так как ведущие компании в сфере автоматизации технологических процессов развивают свои проекты в данном направлении, а промышленные гиганты активно применяют их на своих предприятиях, добиваясь повышения квалификации персонала.

Однако, в ходе рассмотрения не было найдено ни одного проекта применимого для обучения студентов инженерных вузов по направлениям автоматизации технологических процессов и производств, так как все существующие конкуренты предназначены для обучения эксплуатации и не позволяют пользователям изменять алгоритмы и схемы управления.

2 Разработка концепции

Для разработки VR-модели необходимо выбрать реальный аналог стенда, который будет выступать прототипом для математической модели и 3D-моделей.

2.1 Выбор реального аналога стенда

Стенд должен использоваться для обучения студентов, иметь документацию и описание. Необходимо чтобы выбранный стенд находился в физической доступности, для проведения тестирования и сравнения реального аналога и полученного результата.

Исходя из этих соображений был выбран стенд физического подобия по изучению алгоритмов автоматического управления в гидродинамических системах (рисунок 3) [4].



Рисунок 3 — Стенд физического подобия

Данный стенд предназначен для отработки и исследования алгоритмов теории автоматического управления в технологических процессах хранения, транспортировки и дозирования жидкости [4].

В качестве программируемого логического контроллера в данном стенде используется Элсима M01 от компании Элеси (рисунок 4) [5]. Данный контроллер в качестве среды программирования использует интегрированную среду разработки CODESYS v3.5. Имеет встроенный интерфейс Ethernet.



Рисунок 4 — ПЛК Элсима M01

2.2 Требования к VR-модели

Разрабатываемая VR-модель будет использоваться для обучения студентов и будет представлять из себя замену реального стенда. Она должна всецело демонстрировать процессы, протекающие в реальном стенде, иметь высокую степень схожести с аналогом, позволять получать доступ к показаниям датчиков, предоставлять инструменты воздействия на объекты управления.

Исходными данными для создания цифрового симулятора является стенд физического подобию по исследованию гидродинамических процессов, его документация в виде принципиальных и структурных схем, а также математическая модель цифрового двойника физических процессов стенда, реализованная в среде MATLAB Simulink.

Отличительными особенностями разработки будет являться математическая модель, позволяющая корректно рассчитать протекающие физические процессы в зависимости от воздействий на объекты управления и предоставление возможности программирования реального логического контроллера, который будет обеспечивать управление в виртуальном мире, что позволит максимально приблизить опыт взаимодействия с VR-моделью к реальному опыту автоматизации технологического процесса.

Исходя из этого к итоговой модели предъявляются следующие требования:

- правдоподобная 3D-модель стенда;

- наличие интерфейсов взаимодействия VR-модели с ПЛК Элсима M01;
- выполнение просчета динамики процессов посредством математической модели;
- разработка VR-приложения для отображения 3D-модели станда при использовании VR-шлема.

3 Разработка структуры проекта

Структура проекта будет описываться связями элементарных объектов проекта, таких как приложения, математические модели, функциональные блоки и т.д. Исходя из установленных требований к конечному проекту VR-модели стенда физического подобия имеем следующие составляющие:

- математическая модель, выполняющая просчет динамики имитации физических процессов;
- VR-приложение, осуществляющее отображение процесса работы стенда посредством VR-гарнитуры;
- библиотека программной среды Codesys для обеспечения доступа к данным математической модели и VR-приложения.

Отообразим движение данных между составляющими проекта посредством структурной схемы на рисунке 5.

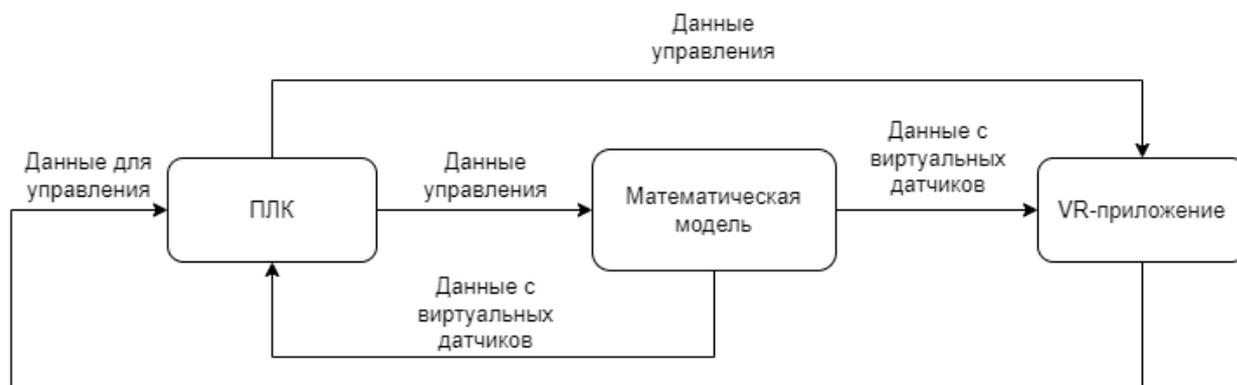


Рисунок 5 — Структурная схема движения данных

Опишем составляющие структурной схемы:

- ПЛК — программируемый логический контроллер Элсима M01;
- математическая модель — программа, выполняющая просчет физических процессов цифрового двойника (VR-модели);
- VR-приложение — программа, запущенная на персональном компьютере, выполняющая рендеринг в реальном времени 3D-модели стенда, трансляцию изображения в VR-гарнитуру, а также обрабатывающая

пользовательское управление (передвижение в виртуальном пространстве, взаимодействие с виртуальными интерфейсами);

– данные управления — переменные, несущие информацию о сигналах управления математической моделью (напряжение на двигателе, степень открытия клапана и т.д.);

– данные с виртуальных датчиков — переменные, несущие информацию о значения физических величин процессов, протекающих в цифровом двойнике;

– данные для управления — переменные, передаваемые из VR-приложения на которые пользователь может влиять в реальном времени (выбор уставки регулирования, коэффициенты регуляторов и т.д.).

Таким образом, общая работа VR-модели, следующая.

1. Пользователь реализует какие-либо алгоритмы регулирования посредством программирования ПЛК и подключает специализированную библиотеку, после этого выполняет прошивку контроллера.

2. ПЛК, используя библиотеку, устанавливает связь с математической моделью и начинает отправлять на нее данные управления, которые являются входной информацией для математической модели.

3. Математическая модель, на основании загруженного в нее математического аппарата, выполняет просчет физики процессов и передает данные о этих процессах в VR-приложение и ПЛК.

4. VR-приложение отображает 3D-модель стенда, данные с виртуальных датчиков, данные управления и транслирует все это VR-гарнитуру, а также предоставляет пользователю возможность внесения данных, которые далее передаются на ПЛК.

5. ПЛК получает информацию, внесенную пользователем и информации о физических процесса цифрового двойник. Эти данные влияют на регулирование, запрограммированное пользователем, и процесс повторяется снова.

4 Разработка методов обмена данными

4.1 Выбор протоколов передачи данных

Исходя из структуры проекта, необходимо выбрать способ передачи данных между составляющими. В качестве составляющих выступают ПЛК Элсима M01, программа для просчета математической модели и VR-приложение. Принимая это во внимание был выбран способ передачи данных с применением стека протоколов TCP/IP.

TCP/IP — сетевая модель передачи данных, описывающая способы передачи данных между устройствами или приложениями. В ее основе находятся два семейства протоколов Transmission Control Protocol и Internet Protocol. Набор данных интернет-протоколов обеспечивает сквозную передачу данных, определяющую, как данные должны пакетироваться, обрабатываться, передаваться, маршрутизироваться и приниматься. Эта функциональность организована в четыре слоя абстракции, которые классифицируют все связанные протоколы в соответствии с объёмом задействованных сетей [6].

Таким образом, выбранный протокол позволит передавать данные с использованием глобальной сети Интернет, что дает возможность в нахождении составляющих проекта в разных уголках планеты. Главным же плюсом применения данного стека протоколов является повсеместная поддержка, что предоставляет огромный выбор, при реализации составляющих VR-модели.

4.2 Разработка интерфейса передачи данных

Для корректной передачи данных, необходимо установить правила формирования посылки. Эти правила будут определять:

- в каком виде отправляются данные;
- какие поля в себе несут;
- как распаковывать полученные посылки, для извлечения данных.

Для формирования этих правил, необходимо определить, какие именно данные будут передаваться между устройствами.

Исходя из состава реального стенда, можно однозначно определить передаваемые данные и их достаточные типы данных. Присвоив каждой передаваемой переменной индекс, можно будет однозначно определить ее принадлежность при формировании и распаковке посылки данных. Таблица 1 отображает список переменных в проекте.

Таблица 1 — Список передаваемых переменных

Индекс переменной	Наименование	Тип данных
0	Напряжение питания насоса	REAL
1	Открыт/Закрыт клапан 1	BOOL
2	Степень открытия регулирующего клапана 1	REAL
3	Открыт/Закрыт клапан 2	BOOL
4	Степень открытия регулирующего клапана 2	REAL
5	Уровень в резервуаре 2	REAL
6	Расход между резервуарами	REAL
7	Уровень в резервуаре 1	REAL
8	Расход на выходе насоса	REAL
9	Задание уставки 1	REAL
10	Задание уставки 2	REAL
11	Коэффициент 1	REAL
12	Коэффициент 2	REAL
13	Коэффициент 3	REAL
14	Кнопка Старт	BOOL
15	Кнопка Стоп	BOOL

Пусть посылки будут являться строками ASCII символов разной длины, тогда описание состава посылки будет иметь вид, представленный на рисунке 6.

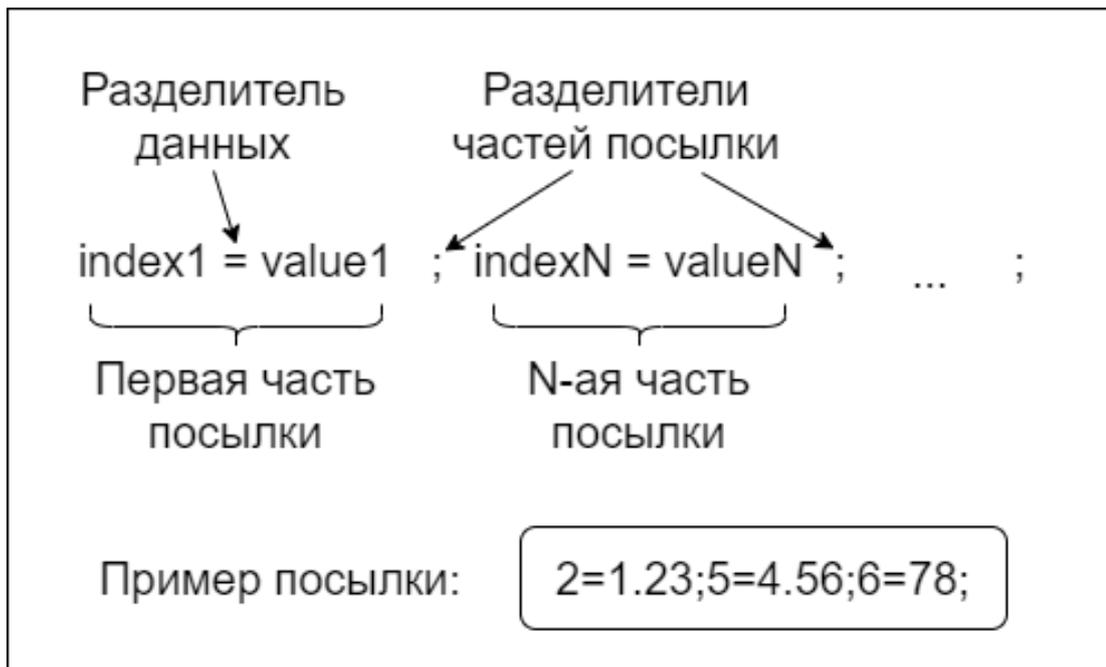


Рисунок 6 — Организационная структура посылки данных

Основными плюсами реализации посылок с такой структурой является:

- простота формирования и распаковки;
- длина посылки непостоянна;
- нет необходимости в дублировании данных при отсутствии изменения.

4.3 Доработка структуры проекта

Стек протоколов TCP/IP подразумевает использование серверов и клиентов, исходя из этого дополним структурную схему проекта, выполнив ее декомпозицию. Пусть математическая модель является центральной частью, а именно выполняет функции сервера, тогда VR-приложение и ПЛК будут клиентами. Итоговая структурная схема представлена на рисунке 7.

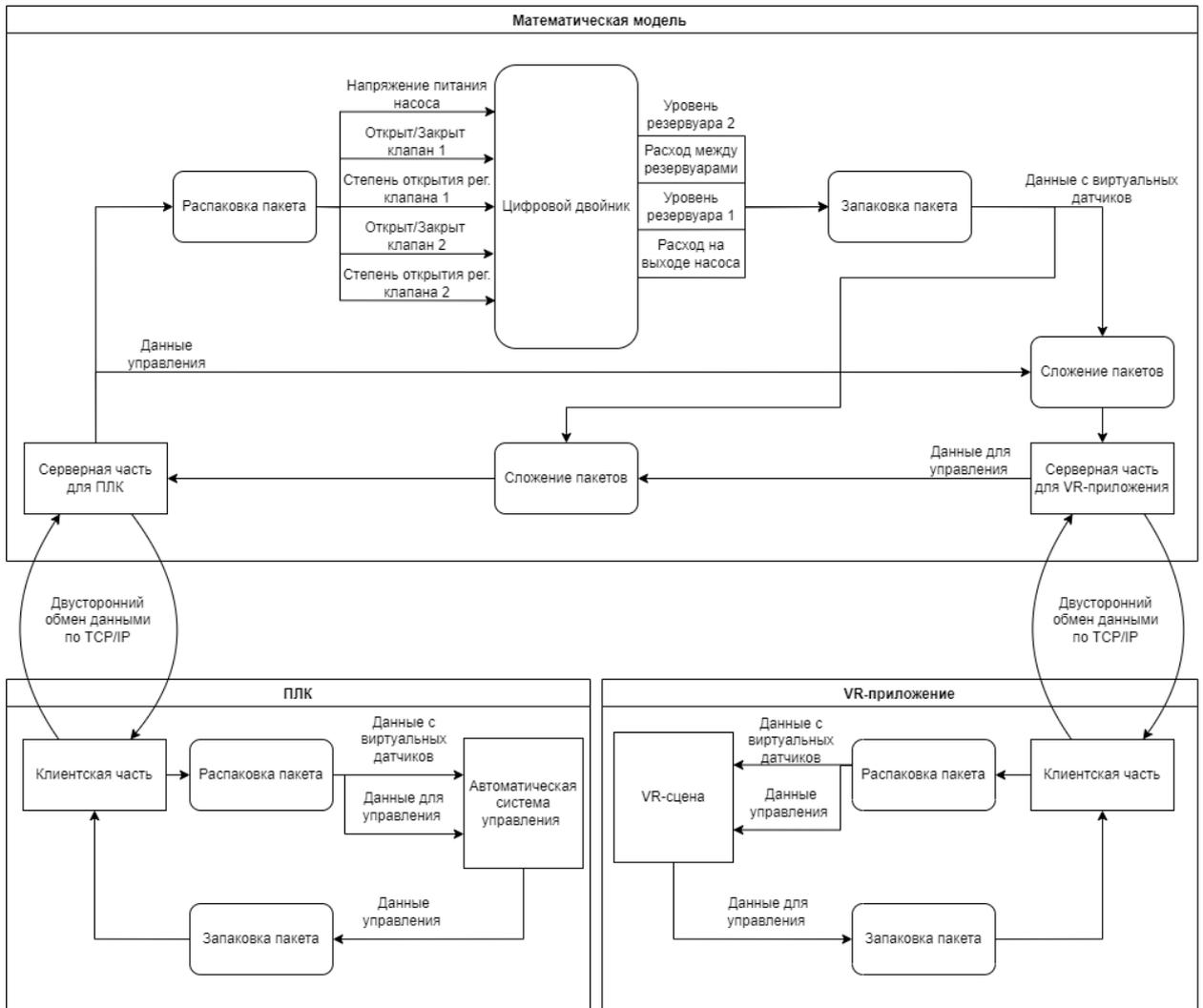


Рисунок 7 — Декомпозиция структурной схемы проекта

5 Разработка VR-приложения

VR-приложение является важной частью разрабатываемого проекта. Исходя из структуры проекта, функции, выполняемые данным приложением следующие:

- отображение виртуального стенда физического подobia, посредством рендеринга в реальном времени;
- осуществление взаимодействия с VR-гарнитурой, а именно трансляция изображения на экраны в шлеме, обработка изменения положения в пространстве контроллеров и шлема;
- обработка изменения виртуального стенда;
- осуществление обмена данными с другими компонентами проекта.

Таким образом, необходимо осуществить выбор программного обеспечения, способного выполнять упомянутые функции.

5.1 Выбор программного обеспечения для реализации

Для реализации перечисленных функций традиционно используются игровые движки. Игровой движок — это центральный программный компонент компьютерных и видео игр или других интерактивных приложений с графикой, обрабатываемой в реальном времени. Он включает в себя движок рендеринга для 2D или 3D графики, физический движок или обнаружение столкновений, звук, скриптинг, анимацию, искусственный интеллект, сетевой код, управление памятью.

На рынке представлено множество вариантов игровых движков и их базовый функционал схож, исходя из этого в качестве программного обеспечения для реализации VR-приложения выберем Unity.

Unity — кроссплатформенная среда разработки компьютерных игр, позволяет создавать приложения для разнообразных платформ и целей. Основными преимуществами Unity являются наличие визуальной среды разработки, межплатформенной поддержки и модульной системы компонентов. К недостаткам относят появление сложностей при работе с

многокомпонентными схемами и затруднения при подключении внешних библиотек. Unity используется как крупными компаниями, так и независимыми разработчиками [7].

Главными преимуществами данного программного обеспечения для применения в разрабатываемом проекте являются:

- множество документации;
- поддержка VR-гарнитур;
- простота разработки;
- язык программирования C#.

5.2 3D модель виртуального стенда

Для разработки VR-приложения необходимы ресурсы в виде скриптов, ассетов, 3D-моделей. Таким образом необходимо разработать 3D-модель стенда для дальнейшего портирования в игровой движок.

5.2.1 Среда 3D-моделирования Blender

В качестве среды для разработки 3D-моделей было выбрано открытое программное обеспечение Blender. Это бесплатный программный пакет для создания 3D с открытым исходным кодом, он хорошо подходит для мелких проектов, выполняемыми одиночными разработчиками. Включает в себя множество инструментов для работы с 3D-моделями, а также инструменты для работы с игровыми движками [8].

В качестве его основных преимуществ можно выделить:

- бесплатное распространение;
- множество инструментов;
- поддержка экспорта в игровые движки;
- большое количество документации для разработчиков.

Таким образом, данное программное обеспечение является достаточным для поставленных целей.

5.2.2 Анализ составляющих реального аналога стенда

Для разработки конечной 3D модели необходимо рассмотреть ее составляющие, учесть их габаритные размеры, особенности размещения, индивидуальные особенности внешнего вида.

Реальный стенд состоит из:

- двух круглых резервуаров разной высоты [4];
- одного квадратного резервуара [4];
- соединительных полипропиленовых труб;
- стола [4];
- насоса СМF4-20 [9];
- трех электромагнитных клапанов SMART SG55335 [10];
- двух регулируемых клапанов SMART QT730623 [11];
- двух расходомеров EPR12 [12];
- двух датчиков уровня DLM-35-N-21 [13].

Для каждого объекта была найдена необходимая документация и проведен последовательный анализ внешнего вида, для дальнейшей разработки 3D-моделей.

Основным требованием к 3D-моделям является внешнее визуальное сходство с реальными аналогами. Это необходимо для обеспечения глубокого погружения и усвоения материала студентами на зрительном уровне. На рисунке 8 представлен внешний вид элементов реального стенда.

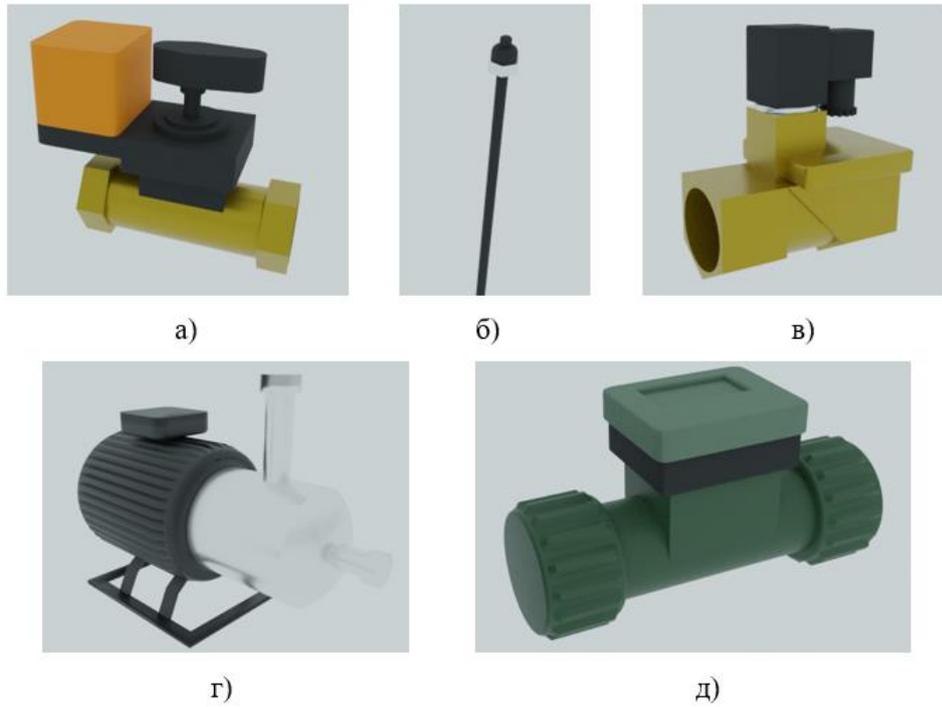


а) насос CMF4-20; б) клапан SMART SG55335; в) клапан SMART QT730623;
 г) расходомер EPR12; д) датчик уровня DLM-35-N-21
 Рисунок 8 — Составляющие элементы реального аналога стенда

5.2.3 Разработка 3D-моделей

В процессе создания 3D-моделей изначально были отдельно созданы все составляющие, после чего было выполнена их группировка, ориентируясь на реальный аналог стенда.

На рисунке 9 представлены законченные 3D-модели элементов стенда, данные модели содержат небольшое количество полигонов, для стабильной работы итогового проекта.



а) регулирующий клапан; б) уровнемер; в) клапан; г) насос; д) расходомер
 Рисунок 9 — 3D-модели составляющих элементов стенда

В процессе группировки производилось копирование разработанных 3D-моделей и их масштабирование для максимального соответствия реальному аналогу стенда. Конечный рендер 3D-модели стенда представлен на рисунке 10.

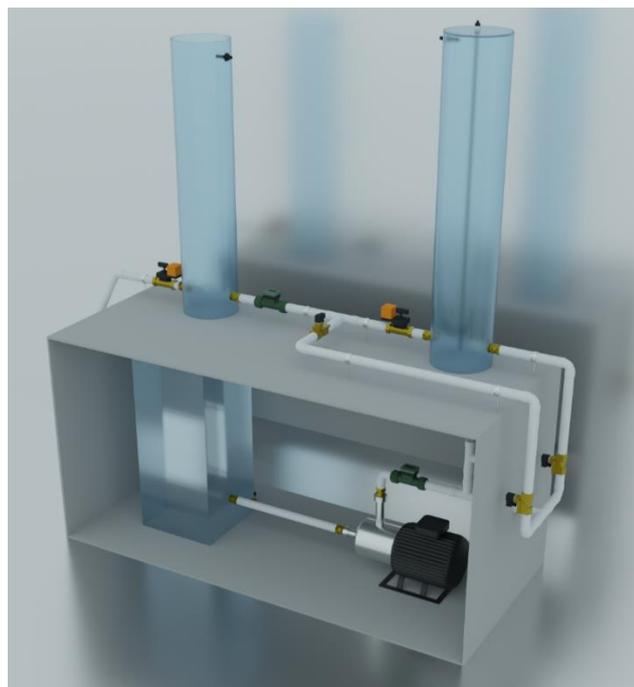


Рисунок 10 — Рендер 3D-модели стенда

5.3 Разработка сцены Unity

Следующим этапом является создание виртуальной сцены, она содержит созданную 3D-модель станда и некоторые визуальные дополнения, необходимые для увеличения погружения пользователя в процесс работы с виртуальной моделью. Благодаря взаимной совместимости используемого программного обеспечения было выполнено портирование разработанной 3D-модели в пространство движка. Результат создания сцены представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 — Созданная сцена Unity

5.4 Виртуальная панель оператора

Для обеспечения возможности влияния на переходные процессы цифрового двойника была выполнена разработка виртуальной панели оператора (рисунок 12). Она динамически отображает процессы системы, выводит числовые данные значений с виртуальных датчиков и позволяет изменять некоторые переменные, которые будут отправляться на ПЛК.

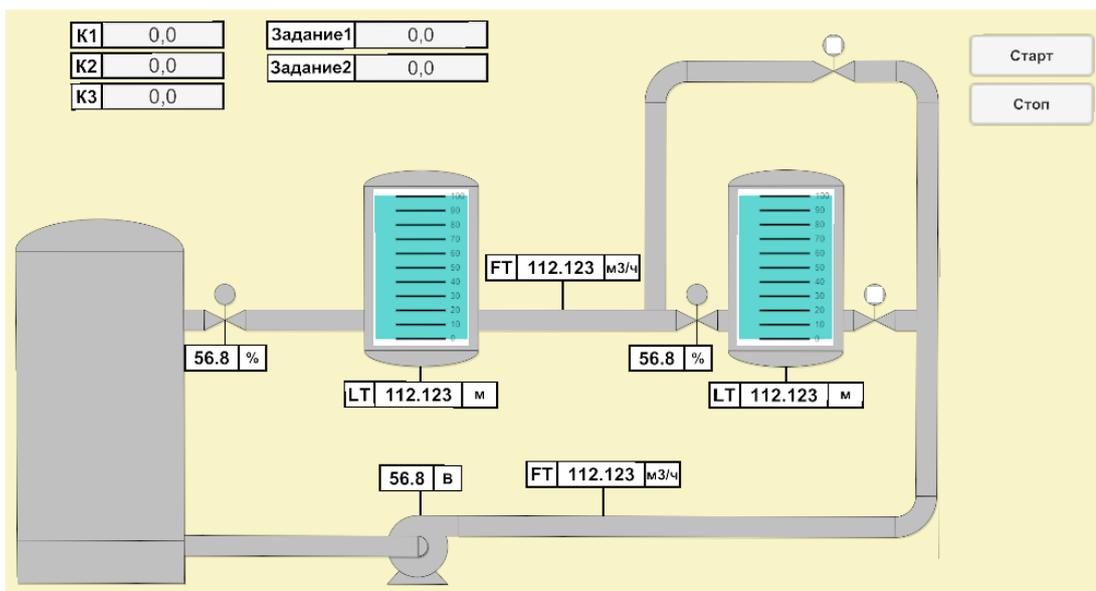


Рисунок 12 — Виртуальная панель оператора в сцене Unity

Панель оператора содержит:

- динамические кнопки «Старт» и «Стоп»;
- три поля для задания коэффициентов;
- два поля для задания уставок;
- динамические визуальные элементы (показания датчиков, уровни резервуаров, состояния клапанов).

5.5 Функционал для взаимодействия с VR-гарнитурой

5.5.1 VR-гарнитура Oculus Quest 2

Для тестирования и настройки VR-функционала была выбрана VR-гарнитура Oculus Quest 2 (рисунок 13). Она состоит из VR-шлема, выполняющего функцию трансляции изображения и изменения положения камеры рендера в соответствие с движениями головы пользователя, для создания иллюзии нахождения в трехмерном виртуальном пространстве, а также включает два контроллера, для взаимодействия с виртуальным окружением. Таким образом, комплекта данной гарнитуры достаточно для реализации необходимого функционала.



Рисунок 13 — Oculus Quest 2

5.5.2 Реализация функционала

Игровой движок Unity по умолчанию не имеет поддержки VR-гарнитуры, для реализации поддержки существуют программные дополнительные компоненты, позволяющие производить трансляцию изображения с виртуальной камеры прямо в VR-шлем, получать обратную связь положения шлема в пространстве для соответствующего передвижения виртуальной камеры и имитации нахождения в виртуальном пространстве, а также отслеживать движения контроллеров и нажатия кнопок на них.

В качестве этого компонента был выбран OpenXR, это открытый бесплатный стандарт доступа к платформам и устройствам виртуальной реальности [14]. На рисунке 14 представлены компоненты проекта Unity позволяющие реализовать VR-функционал.



Рисунок 14 — Компоненты OpenXR

XR Interaction Manager позволяет назначить новую систему ввода, то есть обеспечить корректную обработку нажатий клавиш на контроллерах.

XR Origin содержит в себе объекты сцены, которые изменяют свое пространственное положение в зависимости передвижения контроллеров. Это позволяет передвигать игровые объекты, соответствующие контроллером, и камеру рендера изображения.

Camera Offset позволяет настроить добавочное расстояние от положения шлема до камеры рендера.

Main Camera — основная камера рендера, несет в себе настройки изображения.

LeftHand и RightHand Controllers объекты левого и правого контроллеров соответственно.

5.5.3 Разработка способа ввода

Несмотря на огромный функционал пакета OpenXR, он не имеет способа ввода числовых данных, поэтому необходимо разработка виртуальной клавиатуры ввода. Разработанная клавиатура является элементом панели оператора и предоставляет возможность ввода числовых данных в соответствующие поля. Ее внешний вид представлен на рисунке 15.

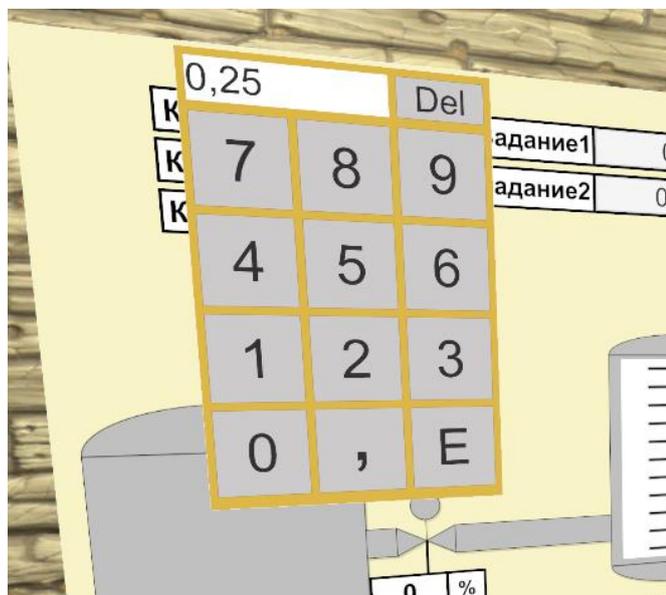


Рисунок 15 — Виртуальная клавиатура

5.6 Клиентская часть

Для взаимодействия с другими частями проекта, необходимо разработать клиентскую часть VR-приложения. Исходя из структуры проекта и разработанного интерфейса для передачи данных клиентская часть будет выполнена в виде скрипта Unity, который одновременно будет базой данных, а именно хранить в себе массив данных элементов, и будет обеспечивать взаимодействие с соответствующим сервером математической модели для обновления переменных базы данных.

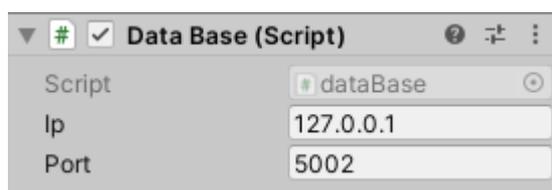


Рисунок 16 — Скрипт клиентской части VR-приложения

На рисунке 16 представлен экземпляр разработанного скрипта, он имеет два настроечных параметра, которые необходимы для настройки связи TCP/IP. Листинг его кода представлен в приложении В.

6 Математическая модель

Математическая модель представлена в виде проекта MATLAB Simulink и представляет из себя следующую подсистему (рисунок 17).

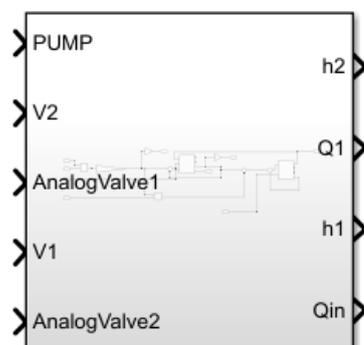


Рисунок 17 — Подсистему математической модели в среде MATLAB Simulink

Математическая модель обладает пятью входами и четырьмя выходами, их описание представлено в таблице 2.

Таблица 2 — Список параметров математической модели

№	Наименование	Диапазон	Физическая величина	Описание
1	PUMP	0-20	В	Напряжение питания насоса
2	V2	0;1	—	Управляющий сигнал клапана №2
3	AnalogValve1	0-20	mA	Управляющий сигнал регулирующего клапана №1
4	V1	0;1	—	Управляющий сигнал клапана №1
5	AnalogValve2	0-20	mA	Управляющий сигнал регулирующего клапана №2
6	h2	0-950	мм	Уровень жидкости в резервуаре №2
7	Q1	0-...	$\frac{м^3}{ч}$	Расход между резервуарами
8	h1	0-1050	мм	Уровень жидкости в резервуаре №1
9	Qin	0-...	$\frac{м^3}{ч}$	Расход на выходе насоса

Таким образом, подавая переменные управления на входы математической модели мы будем получать данные обратной связи, которые можно использовать для последующего регулирования с применением разнообразных регуляторов.

6.1 Разработка серверной части

Согласно структуре проекта, математическая модель является сервером, следовательно, необходимо организовать два сервера для ПЛК и для VR-приложения.

Среда MATLAB Simulink имеет возможность работы с стеком протоколов TCP/IP, для этого используются блоки, отображенные на рисунке 18.

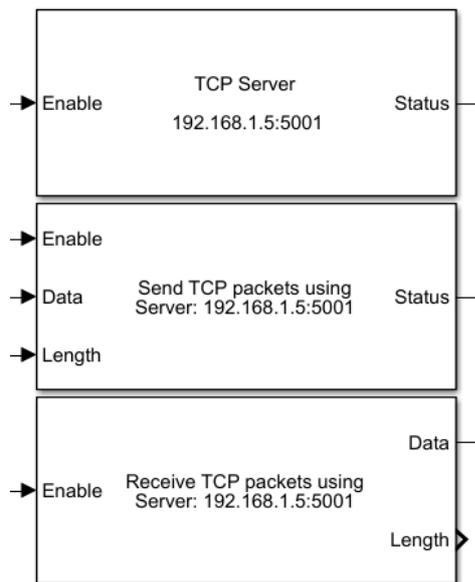


Рисунок 18 — Блоки для работы с TCP/IP

Блок TCP Server обеспечивает создание сокета с применением соответствующих технологий и его связь с сокетом клиента. Для его настройки определяется ip-адрес и порт, которые в дальнейшем используют клиенты для подключения.

Send TCP packets using дает возможность отправлять данные в виде пакетов на соответствующий подключенный клиент. На его входы поступают данные в виде массива ASCII символов и их количество, после этого он выполняет отправку пакета по входу на порт Enable.

Receive TCP packets using обеспечивает принятие входящего пакета и его дальнейшую передачу на следующие блоки по сигналу с входа Enable.

Важным свойством выбранных блоков является их возможность работы в реальном времени, такой тип работы обеспечивает блок Real-Time Sync (рисунок 19).



Рисунок 19 — Блок для работы в реальном времени

6.2 Формирование и распаковка посылок

Данные для отправки, приходящие на сервера, должны иметь вид согласно интерфейсным правилам, разработанным ранее. Для этого в среде реализована следующая схема (рисунок 20).

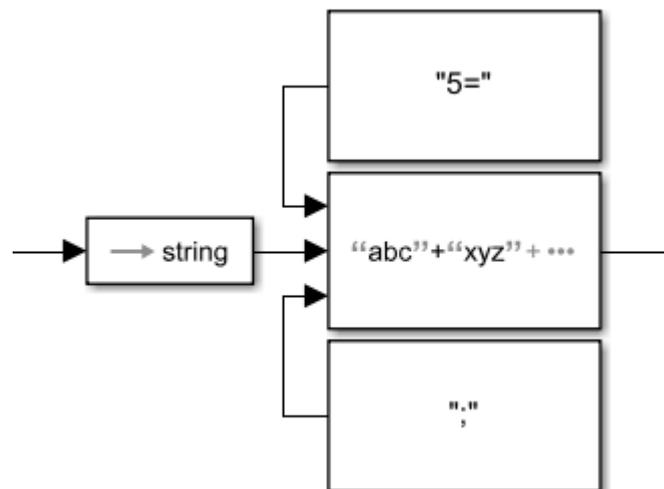


Рисунок 20 — Схема формирования части посылки

Далее, складывая части посылки получается полная строка пакета, которая перед отправкой переводится в массив ASCII символов соответствующим блоком (рисунок 21).

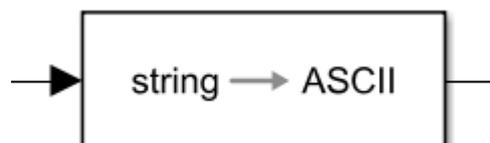


Рисунок 21 — Блок перевода строки в массив ASCII символов

Для превращения полученных данных, необходимо, руководствуясь правилами интерфейса разбить посылку на данные, для этого была разработана следующая схема, отображенная на рисунке 22.

7 Библиотека Codesys

Библиотека в среде для программирования контроллеров необходима для предоставления пользователю, выполняющему конфигурацию ПЛК Элсима М01, возможности получать и передавать значения для работы VR-модели. Это позволит создавать разнообразные алгоритмы управления и проводить их тестирование на реальном ПЛК, который будет автоматически обмениваться данными с остальными элементами проекта. Данная библиотека будет содержать один функциональный блок (рисунок 24) с определенным количеством входов и выходов (таблица 3).

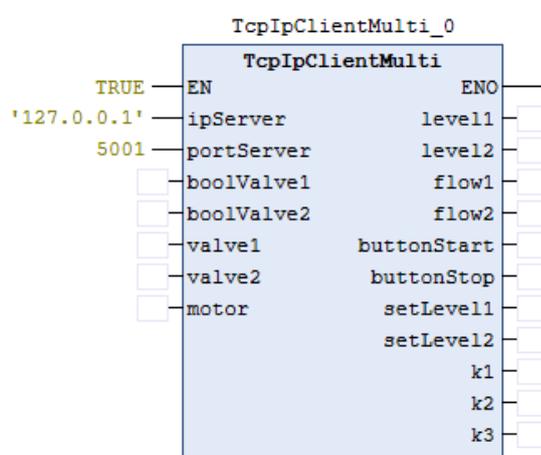


Рисунок 24 — Экземпляр функционального блока библиотеки

Таблица 3 — Список входов и выходов функционального блока TcpIpClientMulti

№	Наименование	Тип данных	Описание
1	ipServer	STRING	Ожидает IP-адрес сервера математической модели
2	portServer	UINT	Ожидает порт сервера математической модели
3	boolValve1	BOOL	Вход управления клапаном №1 (TRUE – открыт)
4	boolValve2	BOOL	Вход управления клапаном №2 (TRUE – открыт)
5	valve1	REAL	Вход управления регулирующим клапаном №1
6	valve2	REAL	Вход управления регулирующим клапаном №2
7	motor	REAL	Вход управления питанием насоса
8	level1	REAL	Уровень резервуара №1
9	level2	REAL	Уровень резервуара №2
10	flow1	REAL	Расход жидкости между резервуарами

Продолжение таблицы 3 — Список входов и выходов функционального блока
TcpIpClientMulti

11	flow2	REAL	Расход на выходе насоса
12	buttonStart	BOOL	Обратная связь с кнопки старт
13	buttonStop	BOOL	Обратная связь с кнопки стоп
14	serLevel1	REAL	Значение уставки №1 с виртуальной панели оператора
15	serLevel2	REAL	Значение уставки №2 с виртуальной панели оператора
16	k1	REAL	Значение коэффициента №1 с виртуальной панели оператора
17	k2	REAL	Значение коэффициента №2 с виртуальной панели оператора
18	k3	REAL	Значение коэффициента №3 с виртуальной панели оператора

Значения входов и выходов разработанного функционального блока будут динамически обновляться в процессе работы ПЛК при наличии связи с соответствующим сервером математической модели. Листинги кода представленного функционального блока находится в приложении Г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Т92	Акулов Игорь Романович

Школа		Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, информационных и человеческих</i>	Выполнение НИ включают в себя затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для экспериментальных работ, основную и дополнительную заработную плату исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы. В реализации проекта задействованы два человека: научный руководитель, студент.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов», ГОСТ 31532-2012 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общеположения».
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	УСН, страховые взносы – 30,2% от ФОТ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение заинтересованных сторон и их ожиданий. Определение целей и ожиданий, требований проекта.
<i>3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Расчет показателей финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Матрица SWOT 5. График проведения и бюджет НТИ 6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 7. Потенциальные риски 	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Гасанов М.А.	Д. Э. Н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Акулов Игорь Романович		

8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

8.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В экономическом разделе необходимо провести анализ проекта по критериям конкурентоспособности и ресурсоэффективности. VR-модель стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов необходима для изучения теории автоматического управления и программного обеспечения автоматических систем управления. Проект является одним из наилучших путей для обучения в высших учебных заведениях. Его основными плюсами является мобильность, дешевизна и неограниченный срок эксплуатации.

8.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

При выполнении ВКР была проведена оценка потребности рынка в VR-модели стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов. Целевой рынок: государственные и частные образовательные учреждения. Конечный потребитель: студенты образовательных учреждений.

Основными потребностями этих организаций являются эффективность, простота и быстрота в использовании модели, а также высокое понимание студентами материала в сочетании с более низкими затратами и меньшей необходимостью в площади для установок.

Созданная модель сочетает в себе новейшие технологии и понятность в применении и использовании, разработка поможет эффективно удовлетворить вышеупомянутые потребности потенциальных потребителей.

8.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений позволяет качественно оценить эффективность разрабатываемого стенда по сравнению с конкурирующими производителями.

Основным отличием разрабатываемого стенда от конкурентных является длительная эксплуатация, дешевизна по сравнению с аналогами, удалённый доступ к системе.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum G_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

G_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В таблице 1 приведена оценочная карта, которая включает конкурентные технические устройства.

B_1 – продукт проведенной работы;

B_2 – COMOS Walkinside;

B_3 – Fusion VR.

Анализ показывает, что разрабатываемое устройство может конкурировать и быть востребованным на рынке аналогичных дорогостоящих аналогов.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_0	B_1	B_2	B_0	B_1	B_2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии обогащаемого материала							
Простота	0,2	5	1	3	1	0,3	0,7
Функционал	0,1	5	4	2	0,6	0,5	0,3
Габаритные показатели	0,05	5	2	3	0,25	0,2	0,2
Длительность работы	0,05	1	2	4	0,05	0,2	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,2	5	3	1	1	0,7	0,3
Конкурентоспособность продукта	0,2	4	3	5	0,9	0,7	1
Финансирование научной разработки	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Итого:	1				5	3,8	3,4

8.1.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ проводится, чтобы исследовать внешнюю и внутреннюю среду проекта. Он проводится в несколько этапов.

Таблица 5 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Компактное хранение; 2. Длительная эксплуатация; 3. Дешевизна по сравнению с реальными стендами; 4. Удалённый доступ к системе. 	<p>Слабые стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность поломки или неисправности; 2. Потребность в специальном оборудовании; 3. Зависимость от производительности компьютера.
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность развития проекта более высокого уровня; 2. Потенциальный спрос; 3. Отсутствие прямых конкурентов на Российском рынке. 	<p>В дальнейшем возможно расширение функционала VR приложения. Разрабатываемое устройство отвечает современным потребностям людей и компаний. По закону эластичности, при увеличении спроса, цена будет снижаться. Поэтому если продажи увеличатся, то цену можно будет снизить.</p>	<p>Возможность диагностики приложения позволит выявить проблему на ранней стадии и не допустить сбоя в системе. Повышенная сложность производства устройства, позволяет создать концептуально новую автоматизированную систему на отечественном рынке автоматизированных средств управления. Использование современных компонентов позволит улучшить работоспособность устройства.</p>

Продолжение таблицы 5 – SWOT-анализ

<p>Угрозы: 1. Недостаточная осведомленность потребителей о рынке подобных систем; 2. Рост конкуренции на рынке: снижение цен, разработка новой конструкции; 3. Повышение цен на материалы;</p>	<p>Продвижение устройства с акцентированием на достоинствах, доработка конструкции и снижение стоимости за счет увеличения объемов способствует уменьшению цен на материалы и противодействия со стороны конкурентов.</p>	<p>Высокое количество уязвимостей в приложении могут либо затянуть разработку, либо не позволить реализовать намеченные цели. Возможные решения: - дальнейшая проработка; - закрытие проекта;</p>
---	---	--

8.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход представляет собой систематическое исследование всех возможных вариантов, которые вытекают из закономерностей объекта исследования. Анализ охватывает все возможные варианты. При комбинации разных вариантов можно получить большое количество решений, которые могут представить практический интерес. Составим таблицу, в которой будут отражены возможные варианты исполнения по различным проблемам разработки.

В таблице 6 представлена морфологическая матрица для схемотехнических решений создания стенда. Ячейки, обозначенные цветом, указывают на выбор наиболее удачных функциональных и технических решений, именно они содержатся в разрабатываемом устройстве.

Таблица 6 – Морфологическая матрица

Принцип создания VR-модели	Программирование на C++	Программирование на C#	Программирование на C
Среда разработки	Unity	Unreal engine	Godot engine
Платформа для создания 3D модели	Solidworks	3ds Max	Blender
Платформа для создания математической модели	REPEAT	FEDOT	MatLab

8.3 Планирование научно-исследовательских работ

8.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Порядок планирования предполагаемых работ:

- создание структуры работы научного исследования;
- назначение участников всех работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Чтобы выполнить научное исследование необходимо сформировать рабочую группу. В ее состав входят: научный руководитель, консультанты по части социальной ответственности (СО) и по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы, бакалавр. Приведем список этапов работы научного исследования и распределим участников (таблица 7).

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Описание	Исполнитель
Выбор темы ВКР	1	Постановление целей и задач	Научный руководитель, бакалавр
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, консультанты по ЭЧ, СО, бакалавр
	3	Составление календарного плана	Научный руководитель, бакалавр
Рассмотрение материалов по теме ВКР	4	Изучение принципов работы физических двигателей	Бакалавр
	5	Обзор существующих моделей	Бакалавр
	6	Выбор физического двигателя для модели	Бакалавр
	7	Изучение MatLAB	Бакалавр
Проектирование и разработка устройства	8	Разработка структурной схемы	Научный руководитель, бакалавр
	9	Разработка аппаратных комплексов для обмена данными	Научный руководитель, бакалавр
	10	Создание 3D-модели устройства	Бакалавр
	11	Создание математической модели	Бакалавр

Продолжение таблицы 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Оценка результатов и оформление ВКР	12	Оценка эффективности производства и применения разработки	Консультант по ЭЧ, бакалавр
	13	Написания части по социальной ответственности ВКР	Консультант по СО, бакалавр
	14	Составление пояснительной записки	Бакалавр

8.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основную часть стоимости разработки образуют трудовые затраты, поэтому важно определить трудоемкость работ для каждого участника научного исследования.

Для того, чтобы определить ожидаемое значение трудоемкости $t_{ож\ i}$ нужно воспользоваться следующей формулой:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (2)$$

где $t_{ож\ i}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Из результатов ожидаемой трудоемкости работ можем определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_i = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где T_i - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

8.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 96 - 14} = 1,48. \quad (6)$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу А.1 и построить диаграмму Ганта (таблица Б.1).

8.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Для формирования бюджета НТИ нужно использовать следующие группировки затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;

- затраты на основное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

8.3.5 Расчет материальных затрат НТИ

При разработке устройства требуются материальные затраты на:

- покупные комплектующие изделия;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия, используемые в качестве объектов исследований и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний.

Для того, чтобы спроектировать VR-модель, в отделении автоматизации и робототехники ТПУ есть все необходимые программы и приспособления, поэтому нет необходимости рассчитывать затраты на их покупку.

В таблице 10 представлены материальные затраты данного НТИ.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Количество, шт	Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (Зм), руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
VR-шлем	1	4999	4999	4999	4999
Шнур	2	599	700	1198	1400
Итого				6197	6399

8.3.6 Основная заработная плата исполнителей темы

Глава включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия,

выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

где $Z_{осн}$ –основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) научного руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (8)$$

где $Z_{осн}$ –основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

где Z_m –месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

В таблице 11 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней:				
Выходные дни	91	91	91	91
Праздничные дни	14	14	14	14
Потери рабочего времени:				
Отпуск	28	28	28	28
Невыходы по болезни	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	232	232	232	232

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = (Z_{тс} + (1 + k_{пр} + k_d)) \cdot k_p, \quad (10)$$

где $Z_{тс}$ – зарплатная плата по тарифной ставке, руб.

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

В таблице 12 приведен расчет основной заработной платы.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{тс}$, руб.	k_d	$k_{пр}$	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб
Научный руководитель								
ППС3	12067,25	0,35	3620	1,3	25884,25	1206,725	16	19307,6
Бакалавр								
ППС1	2600,0	0,35	780	1,3	5578,3	260,0	71	18460
Консультант ЭЧ								
ППС3	20080,9	0,35	6024,27	1,3	43073,5	2008,09	7	14056,63
Консультант СО								
ППС3	20080,9	0,35	6024,27	1,3	43073,5	2008,09	7	14056,63

В таблице 13 представлена общая заработная исполнителей работы.

Таблица 13 - Общая заработная плата

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб	$Z_{доп}$, руб	$Z_{зп}$, руб
Научный руководитель	19307,6	2509,988	21817,59
Бакалавр	18460	2399,8	20859,8
Консультант ЭЧ	14056,63	1827,362	15883,99
Консультант СО	14056,63	1827,362	15883,99
Итого	65880,86	8564,512	74445,37

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (11)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

8.3.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам

государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2021 г. в соответствии с Федеральным законом от 05.08.2000 N 117-ФЗ (ред. от 20.04.2021) установлен размер страховых взносов равный 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 14.
Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	19307,6	2509,988
Бакалавр	18460	2399,8
Консультант ЭЧ	14056,63	1827,362
Консультант СО	14056,63	1827,362
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого:	22333,6	

8.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15. По результатам, представленным в таблице видно, что основные затраты НТИ приходятся на выплату заработной платы исполнителям проекта.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	
1. Материальные затраты НТИ	6197	6399	таблица 7
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	65880,86		таблица 9
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8564,512		таблица 10
4. Отчисления во внебюджетные фонды	22333,6		Таблица 11
5. Бюджет затрат НТИ	102975,972	103177,972	Сумма ст. 1-4

8.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (13)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } 1} = \frac{102975,972}{103177,972} = 0,998042,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } 2} = \frac{103177,972}{103177,972} = 1.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (14)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

В таблице 16 представлена сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
Простота ПО	0,2	4	2
Компактность	0,1	5	5
Надежность	0,4	4	4
Время автономной работы	0,2	3	5
Материалоемкость	0,1	5	4
ИТОГО	1	21	20

Показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,4 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 = 4;$$

$$I_2 = 0,2 \cdot 2 + 0,1 \cdot 5 + 0,4 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 3,9.$$

Сравнивая значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация модели в первом исполнении является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} = \frac{4}{0,998042} = 4,00785, \quad (15)$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{3,9}{1} = 3,9.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (табл. 14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}}, \quad (16)$$

Тогда для 1 и 2 исполнений сравнительная эффективность равна:

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{4,00785}{3,9} = 1,02765;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{3,9}{4,00785} = 0,97309.$$

Сравнение эффективности разработок представлено в таблице 17.

Таблица 17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,998042	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,00785	3,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,02765	0,97309

На основании всех расчетов видно, что исполнение в первом варианте наиболее эффективно с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности. Поэтому для создания модели выбирается именно оно. В ходе выполнения данного раздела ВКР был составлен план работ в графическом отображении (диаграмма Ганта), произведена оценка конкурентоспособности проекта, а также выполнен расчет затрат на выполнение НИТ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 8Т92		ФИО Акулов Игорь Романович	
Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Создание VR-модели стенда физического подобия по исследованию гидравлических процессов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> виртуальный стенд физического подобия по исследованию гидравлических процессов <i>Область применения:</i> обучение <i>Рабочая зона:</i> офис <i>Размеры помещения:</i> 30 м² <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> Персональный компьютер, VR-шлем <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> программирование</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</p>	<p>1. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. 2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p>	<p>Опасные факторы:</p> <p>1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.</p> <p>Вредные факторы:</p> <p>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 2. Монотонность труда; 3. Длительное сосредоточенное наблюдение; 4. Отклонение показателей микроклимата.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: компьютерные очки, вентиляция.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на литосферу: происходит из-за отходов при выходе из строя компонентов устройства, люминесцентных ламп, макулатуры. Воздействие на гидросферу: происходит из-за смыва отходов жизнедеятельности.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</p>	<p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.);</p>

	Техногенные аварии (пожар при неправильном обращении с электрооборудованием). Наиболее типичная ЧС: пожар вследствие короткого замыкания.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна			26.02.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Акулов Игорь Романович		26.02.2023

9 Социальная ответственность

Объектом ВКР является создание VR-модели физического подобия по исследованию гидравлических процессов. Данная модель найдет применение в учебных заведениях для изучения теории автоматического управления и программного обеспечения автоматических систем управления.

Для создания VR-модели физического подобия по исследованию гидравлических процессов рабочей зоной является офис, размер которого составляет 30м², размеры рабочего места приблизительно 2м²; оно предполагает стол с установленной на нем ПК, VR-шлем, а также настольную лампу. Рабочим процессом, осуществляющимся в рабочей зоне, является программирование.

При создании модели основным видом работ является программирование. Для данного процесса применяется персональный компьютер (далее: ПК) и VR-шлем. Все процессы и мероприятия при разработке, изготовлении, эксплуатации и утилизации используемых устройств должны соответствовать стандартам.

9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ст. 91 ТК РФ нормальная продолжительность рабочего времени – это 40 часов в неделю [15].

При планировании рабочего места должно быть обеспечено наилучшее размещение предметов труда, которое позволяет не допускать общего дискомфорта, уменьшать утомляемость работника, повышать его продуктивность труда. На основании ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего [15]. В нашем случае работа выполняется в положении сидя – это легкая работа, выполняемая за ПК. Площадь рабочего места должна быть такой, чтобы работник не делал лишних движений. Согласно требованиям, ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ выполнение

трудовых операций "часто" и "очень часто" должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда». Рабочее место при выполнении работ сидя» рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы.

На рабочем месте стоит рабочий стул, который обеспечивает функции регулировки по высоте и углу наклона спинки стула, что соответствует требованиям нормативных актов по организации рабочего места

9.2 Производственная безопасность

Основная работа при создании VR-модели физического подобия по исследованию гидравлических процессов проводилась за ПК. Данный вид работ связан с воздействием на человека вредных и опасных факторов труда.

Таблица 18 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте: офис

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
Недостаточная освещенность рабочей зоны;	СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение.
Монотонность труда, вызывающая монотонию; Длительное сосредоточенное наблюдение;	ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
Отклонение показателей микроклимата;	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

9.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

В помещениях с персональной электронно-вычислительной машиной (далее: ПЭВМ) искусственное освещение должно быть равномерным. В производственных помещениях, где производится работа с документами, допускается комбинированная система освещения.

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию и сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождаются снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его реактивности. К таким последствиям приводит длительное пребывание в световой среде с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

В офисе предусмотрено естественное освещение через оконные проемы, расположенные перпендикулярно к плоскости монитора компьютера, таким образом свет падает на рабочую зону, не создавая бликов на экране. Искусственный свет обеспечен газоразрядными лампами типа ЛБ40.

Освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения составляет (350-400) лк, что, согласно СНиП 23-05-95, является нормой [18]. Освещение на поверхности экрана – 200 лк и не создает бликов на поверхности.

9.2.2 Монотонность труда, длительное сосредоточенное наблюдение

Длительная работа с ПК монотонна, требует высокой концентрации, вызывает напряжение. При работе за ПК оператор находится в сидячем положении, что негативно сказывается на состоянии здоровья человека.

Первые симптомы наступления психофизического утомления: усталость, сонливость, потеря концентрации, головная боль, гипертония, боли в животе, звон в ушах.

При первых симптомах нервного перенапряжения необходимо:

- сделать длительный перерыв со сменой деятельности;
- в процессе работы рационально чередовать периоды отдыха, работы и приема пищи, использовать регламентированные перерывы.

При длительных и повторяющихся состояниях переутомления необходимо начать заниматься спортом, ложиться спать и вставать в одно и то же время, произвести коррекцию рациона питания, в тяжелых случаях обратиться к врачу.

9.2.3 Отклонение показателей микроклимата

В летнее время при превышении температурных норм рекомендуется выполнять проветривание помещения каждый час. В зимнее время года в помещении предусмотрена система отопления для обеспечения равномерного и постоянного нагрева воздуха.

Микроклимат оказывает существенное влияние на организм человека. Понижение температуры и повышение скорости движения воздуха способствуют усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма. При повышении температуры воздуха, исследователями установлено, что работоспособность человека падает. Недостаточная влажность воздуха также может оказаться неблагоприятной для человека вследствие интенсивного испарения влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнение болезнетворными микроорганизмами.

Для соблюдения требований по скорости воздушного потока и влажности в помещении на рабочих местах с ПЭВМ необходимо применять увлажнители воздуха, ежедневно заправляемые прокипяченной питьевой или дистиллированной водой, либо установить кондиционер для поддержания параметров на оптимальном уровне. В офисе установлен кондиционер.

Микроклимат лаборатории соответствует нормам, установленным согласно СанПиН 1.2.3685-21 пункт V таблица 5.2[17]:

- Температура воздуха: (22 – 25)°С;
- Температура поверхностей: (19 – 26)°С;
- Относительная влажность воздуха: (15 – 75) %;
- Скорость движения воздуха: 0,1 м/с.

9.2.4 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

При создании модели все работы выполняются с электрическими приборами, которые питаются от сети: источник питания +220 В, VR-шлем, ПК. Это может привести к поражению электрическим током по следующим причинам [18]:

- контакт с металлическими конструктивными частями электрооборудования, находящимися под напряжением в результате повреждения изоляции;
- прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением в результате повреждения изоляции;
- шаговое напряжение в результате протекания тока по поверхности стола, пола.

Основные неблагоприятные последствия, которые могут наступить вследствие поражения электрическим током: Протекание электрического тока через органы человека может вызвать остановку сердца, дыхания; разрывы мышц, поражение мозга, ожоги.

В офисе имеется защитное заземление на рабочих местах, все розетки питающей сети заземлены, корпусные материалы и пол сделаны из токонепроводящих материалов, влажность воздуха составляет не более 75 %, температура воздуха не выше 35 °С. Поэтому, согласно ПУЭ, офис можно отнести к помещению без повышенной опасности.

Перед работами в помещении проводятся инструктажи по технике безопасности, на рабочих местах висят плакаты, все действия работающего производится под контролем преподавателей. Согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал относится к I группе по электробезопасности, которая распространяется на неэлектротехнический персонал.

9.3 Экологическая безопасность

В данном разделе необходимо выбрать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения и прогнозировать последствия своей профессиональной деятельности с точки зрения биосферных процессов.

Также необходимо выбрать рациональный способ снижения воздействия на окружающую среду в профессиональной деятельности

9.3.1 Влияние на литосферу

VR-модель физического подобия по исследованию гидравлических процессов не имеет отрицательного воздействия на окружающую среду в процессе эксплуатации. Однако после истечения срока службы отдельных компонентов используемого оборудования необходимо правильно утилизировать их, чтобы избежать вредного влияния и загрязнения литосферы.

Утилизация корпусных частей устройства, представляющих собой пластиковый корпус, должно осуществляться совместно с компаниями, занимающимися вторичной переработкой пластика.

Утилизация электроники также должна проходить на специализированных заводах с соблюдением всех требований технологического процесса и правил техники безопасности.

Технологии переработки отходов электроники делятся на несколько категорий. Все категории отличаются содержанием и стоимостью элементов, получаемых в результате переработки отходов.

Используемые в VR-шлеме и в ПК компоненты относятся ко 2 и 3 классу – с высоким содержанием драгоценных металлов. Эти компоненты, а также печатные платы должны быть утилизированы путем сдачи в специальные приемные пункты компаний, занимающихся утилизацией данного типа отходов.

Утилизация макулатуры происходит регламентировано, согласно графику, посредством сдачи в специализированные организации для дальнейшей переработки.

Утилизацией люминесцентных ламп имеют право заниматься только специализированные организации, имеющие лицензию на проведение подобного вида работ. Организации должны соблюдать все требования по хранению и передаче в специализированные организации.

9.3.3 Влияние на гидросферу

В процессе работы с ПК и VR-шлемом необходимо делать перерывы для обеда и отдыха, чтобы удовлетворять базовые потребности. Мусор и отходы жизнедеятельности оператора попадают в сточные воды через канализацию.

Согласно ГОСТ 17.1.3.13-86 сточные воды, подлежащие сбросу в канализационную сеть населенных пунктов, содержат вредные вещества в концентрациях, превышающих установленные нормы, то их следует подвергать предварительной очистке [20].

Качественные и количественные показатели состояния поверхностных (степень загрязненности) и сточных вод следует контролировать с помощью надежной системы наблюдений, контроля и оценки. Они подлежат государственному учету.

9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в рабочей лаборатории является пожар вследствие короткого замыкания. По степени пожароопасности помещение относится к классу П-Па. Согласно Федеральному закону №123

«Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», наиболее вероятным классом пожара для данного помещения является пожар класса Е.

Данный класс пожаров определяется как пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением.

В случае возникновения пожара или его признаков, оператор, выполняющий работы в офисе, обязан выполнить следующие действия.

1. Немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную часть.
2. Задействовать систему оповещения людей о пожаре.
3. Принять по возможности меры по тушению пожара.
4. Известить о пожаре руководителя или другого работника.

Средствами обеспечения пожаробезопасности являются:

- огнетушитель, которым обеспечен офис, а также пожарный кран, находящийся в здании;
- системы автоматической пожарной сигнализации.;
- средства организации эвакуации, в том числе технические.

Мероприятия, обеспечивающие пожаробезопасность:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении;
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки.

Перед началом работы необходимо пройти инструктаж и оставить свою роспись в журнале о прохождении инструктажа по пожарной безопасности.

9.5 Выводы по разделу

В данном разделе были изучены нормативные документы и стандарты, касающиеся правовых вопросов обеспечения безопасности.

Согласно ПУЭ, офис можно отнести к помещению без повышенной опасности. Согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал относится к I группе по электробезопасности. Выполнение работ за ПК относятся к легкому классу 1а, так как проводятся сидя и не требуют физического напряжения в соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21. Помещение по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 относится к категории В. Исходя из критериев отнесения объектов, оказывающих незначительное воздействие на окружающую среду, модель относится к III категории.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был и выполнены следующие задачи:

- обзор сферы и существующих аналогов;
- разработаны концепция и структура проекта;
- реализован протокол для передачи данных посредством стека протоколов TCP/IP;
- разработано VR-приложение с необходимыми 3D-моделями и виртуальной панелью оператора;
- доработана математическая модель для взаимодействия с другими компонентами проекта;
- разработана библиотека для ПЛК.

Также был проведен анализ финансовой эффективности и социальной ответственности.

Список литературы

1. Иванов А.Ф. Об онтологическом статусе виртуальной реальности // *Anthropology*. - 2000. - №3. - С. 14-16.
2. COMOS Walkinside Product Information // siemens URL: http://www.oneclicksolutions.com.sg/assets/pdf/COMOS_Walkinside.pdf (дата обращения: 13.11.2020).
3. AR, VR and MR Company in India // Fusion VR URL: <https://www.fusionvr.in> (дата обращения: 13.11.2020).
4. Подковыров Илья Андреевич Разработка и реализация стенда физического подобия по изучению алгоритмов автоматического управления в гидродинамических системах: дис. бакалавр Инженерная школа информационных технологий и робототехники наук: 15.03.06. - Томск, 2020. - 117 с.
5. Программируемый логический контроллер Элсима-M01 // elesy URL: <https://elesy.ru/products/products/elsyma/elsyma-m01/ti.aspx> (дата обращения: 18.01.2021).
6. Паркер Т., Сиян К. TCP/IP для профессионалов. - 3-е изд. - СПб.: Питер, 2004. - 859 с.
7. Хокинг Д. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#. - 2-е изд. - СПб.: Питер, 2016. - 362 с.
8. The Freedom to Create // blender URL: <https://www.blender.org/about/> (дата обращения: 24.04.2021).
9. Центробежный насос из нержавеющей стали горизонтальный многоступенчатый // made-in-china URL: https://ru.made-in-china.com/co_lxpumpcn/product_Stainless-Steel-Centrifugal-Pump-Horizontal-Multistage-CMF2-20-CMF2-30-CMF2-40-CMF2-50-CMF2-60-CMF4-20-CMF4-30-CMF4-40-CMF8-10B-CMF8-20B-CMF8-30B-CMF8-40B-_hhuhoiusu.html (дата обращения: 21.05.2021).

10. Клапан электромагнитный SMART SG55335 DN20 G3/4" с ручным дублером // ООО "ТД Ватервальве" URL: <https://shop-watervalve.ru/59189/> (дата обращения: 21.05.2022).
11. Кран шаровой латунный с электроприводом DN20 G3/4" SMART QT730623 // ООО "ТД Ватервальве" URL: <https://shop-watervalve.ru/59777/> (дата обращения: 21.05.2022).
12. Механические расходомеры жидкости // RusAutomation URL: https://rusautomation.ru/catalog/s/mekhanicheskie_raskhodomery_zhidkosti/ (дата обращения: 26.09.2022).
13. Датчик уровня ёмкостный // RusAutomation URL: https://rusautomation.ru/catalog/emkostnyy_datchik_urovnya_dinel_dlm_35n_21_ci34_i_c_e0600_k6/ (дата обращения: 26.09.2022).
14. Khronos Releases OpenXR 0.90 Provisional Specification for High-performance Access to AR and VR Platforms and Devices // Khronos URL: <https://www.khronos.org/news/press/khronos-releases-openxr-0.90-provisional-specification-for-high-performance-access-ar-vr-platforms-and-devices> (дата обращения: 08.03.2023).
15. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
16. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
17. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
18. СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение.
19. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
20. ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения

**Приложение А
(Обязательное)**

Временные показатели проведения научного исследования

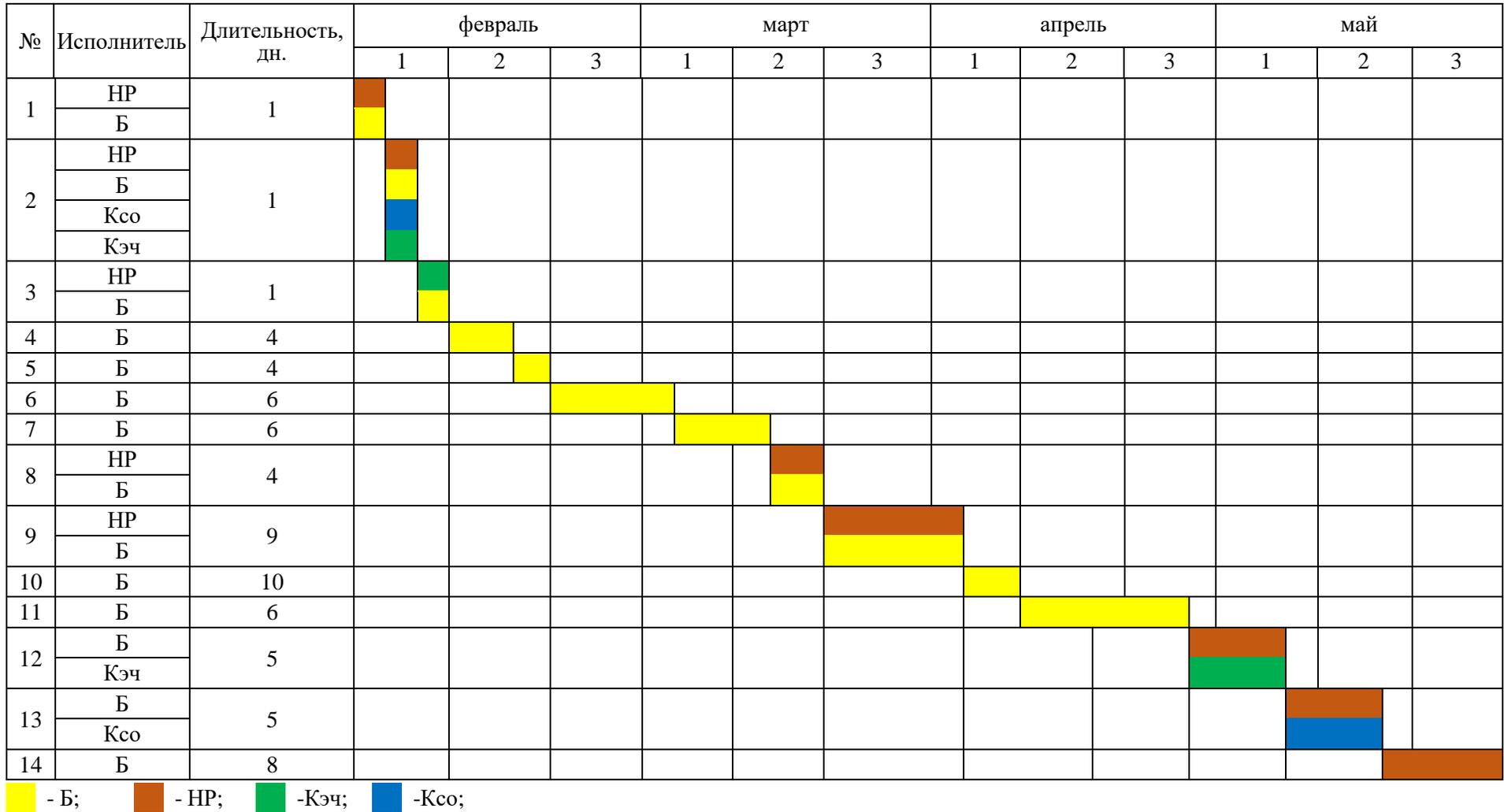
Таблица А.1 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Трудоемкость работ												Исполнители				Т _р , раб. дн.				Т _к , кал. дн.			
	t _{min} , чел-дн.				t _{max} , чел-дн.				t _{ож} , чел-дн.															
	НР	Б	Ксо	Кэч	НР	Б	Ксо	Кэч	НР	Б	Ксо	Кэч	НР	Б	Ксо	Кэч	НР	Б	Ксо	Кэч	НР	Б	Ксо	Кэч
1	2	2	0	0	3	3	0	0	2,4	2,4	0	0	+	+			1,2	1,2	0	0	1,68	1,68	0	0
2	4	4	4	4	7	7	7	7	5,2	5,2	5,2	5,2	+	+	+	+	1,3	1,3	1,3	1,3	1,82	1,82	1,82	1,82
3	1	1	0	0	2	2	0	0	1,4	1,4	0	0	+	+			0,7	0,7	0	0	0,98	0,98	0	0
4	0	3	0	0	0	5	0	0	0	3,8	0	0		+			0	3,8	0	0	0	5,62	0	0
5	0	4	0	0	0	5	0	0	0	4,4	0	0		+			0	4,4	0	0	0	6,51	0	0
6	0	5	0	0	0	7	0	0	0	5,8	0	0		+			0	5,8	0	0	0	8,58	0	0
7	0	5	0	0	0	7	0	0	0	5,8	0	0		+			0	5,8	0	0	0	8,58	0	0
8	7	7	0	0	10	10	0	0	8,2	8,2	0	0	+	+			4,1	4,1	0	0	5,74	5,74	0	0
9	15	15	0	0	20	20	0	0	17	17	0	0	+	+			8,5	8,5	0	0	11,9	11,9	0	0
10	0	9	0	0	0	12	0	0	0	10,2	0	0		+			0	10,2	0	0	0	15	0	0
11	0	5	0	0	0	7	0	0	0	5,8	0	0		+			0	5,8	0	0	0	8,58	0	0
12	0	10	0	10	0	12	0	12	0	10,8	0	10,8		+		+	0	5,4	0	5,4	0	7,99	0	7,99
13	0	10	10	0	0	12	12	0	0	10,8	10,8	0		+	+		0	5,4	5,4	0	0	7,99	7,99	0
14	0	7	0	0	0	10	0	0	0	8,2	0	0		+			0	8,2	0	0	0	12,14	0	0
Итого	29	87	14	14	42	119	19	19	34,2	99,8	16	16					15,8	70,6	6,7	6,7	22,12	103,11	9,81	9,81

НР –руководитель; Б – бакалавр; Кэч – консультант по экономической части; Ксо – консультант по социальной ответственности

**Приложение Б
(Обязательное)
Диаграмма Ганта**

Таблица Б.1 – Диаграмма Ганта



Приложение В (Рекомендуемое)

Листинг кода клиентской части VR-приложения

Листинг А.1 — Код клиентской части VR-приложения

```
1. using System.Collections;
2. using System.Collections.Generic;
3. using UnityEngine;
4. using System.Net.Sockets;
5. using System.Threading;
6. using System.Text;
7. public class DataBase : MonoBehaviour
8. {
9.     [SerializeField] string ip;
10.    [SerializeField] int port;
11.    public TcpClientDataBase client;
12.    void Start()
13.    {
14.        client = new TcpClientDataBase(ip,port);
15.        client.start();
16.    }
17. }
18. public class TcpClientDataBase
19. {
20.     //поля подключения
21.     string ip; int port;
22.     //хранилище принятых данных
23.     public float[] receiveData;
24.     //хранилище данных для отправки
25.     public float[] transmitData;
26.     //переменные для связи
27.     TcpClient tcpClient; NetworkStream stream;
28.     //переменные потоков
29.     Thread ReaderT; Thread ListenerServerT;
30.     //системные переменные
```

```

31.  bool isConnected;
32.  public TcpClientDataBase(string ip, int port)
33.  {
34.  this.ip = ip;
35.  this.port = port;
36.  isConnected = false;
37.  reveiceData = new float[10];
38.  transmitData = new float[10];
39.  }
40.  ~TcpClientDataBase()
41.  {
42.  ReaderT.Abort();
43.  ListenerServerT.Abort();
44.  }
45.  public void start()
46.  {
47.  ListenerServerT = new Thread(ListenerServer);
48.  ReaderT = new Thread(Reader);
49.  ListenerServerT.Start();
50.  ReaderT.Start();
51.  }
52.  void ListenerServer()
53.  {
54.  while (true)
55.  {
56.  while (!isConnected)
57.  {
58.  try
59.  {
60.  tcpClient = new TcpClient();
61.  tcpClient.Connect(this.ip, this.port);
62.  this.stream = tcpClient.GetStream();
63.  isConnected = true;
64.  }
65.  catch (SocketException e)

```

```
66.  {
67.  Debug.LogWarning("Ошибка при подключении: " + e.Message);
68.  tcpClient.Close();
69.  tcpClient = null;
70.  }
71.  Thread.Sleep(100);
72.  }
73.  }
74.  }
75.  void Reader()
76.  {
77.  while (true)
78.  {
79.  if (isConnected)
80.  {
81.  try
82.  {
83.  string message = "";
84.  int i = 0;
85.  foreach(float data in transmitData)
86.  {
87.  message = message + (i + 10).ToString() + "=" + data.ToString() + ";";
88.  i++;
89.  }
90.  byte[] Tdata = new byte[256];
91.  Tdata = Encoding.UTF8.GetBytes(message.Replace(",","."));
92.  Try
93.  {
94.  stream.Write(Tdata, 0, Tdata.Length);
95.  }
96.  catch(SocketException r)
97.  {
98.  Debug.LogWarning("Ошибка отправки данных: " + r);
99.  }
100. byte[] Rdata = new byte[1024];
```

```
101. int bytes;
102. try
103. {
104. bytes = stream.Read(Rdata, 0, Rdata.Length);
105. }
106. Catch
107. {
108. Debug.LogWarning("Ошибка получения данных");
109. bytes = 0;
110. }
111. string Text = Encoding.Default.GetString(Rdata, 0, bytes);
112. Text = Text.Replace(".", ",");
113. string[] bits = Text.Split(';');
114. try
115. {
116. foreach (string bit in bits )
117. {
118. string[] b = bit.Split('=');
119. reveiceData[int.Parse(b[0])] = float.Parse(b[1]);
120. }
121. } catch {}
122. if (Text == "")
123. {
124. throw new SocketException(1);
125. }
126. }
127. catch (SocketException d)
128. {
129. Debug.LogWarning("Ошибка при получении сообщения: " + d.Message);
130. this.stream.Close();
131. tcpClient.Close();
132. tcpClient = null;
133. isConnected = false;
134. }
135. }
```

136. }

137. }

138. }

Приложение Г (Рекомендуемое)

Листинг кода функционального блока TcpIpClientMulti

Листинг Б.1 — Код функционального блока TcpIpClientMulti

```
1. FUNCTION_BLOCK TcpIpClientMulti
2. VAR_INPUT
3. ipServer: STRING(80);
4. portServer: UINT;
5. //Входа влияющие на цифровой двойник
6. boolValve1: BOOL;
7. boolValve2: BOOL;
8. valve1: REAL;
9. valve2: REAL;
10. motor: REAL;
11. END_VAR
12. VAR_OUTPUT
13. //Выходы с датчиков
14. level1: REAL;
15. level2: REAL;
16. flow1: REAL;
17. flow2: REAL;
18. //Выходы с мнемосхемы
19. buttonStart: BOOL;
20. buttonStop: BOOL;
21. setLevel1: REAL;
22. setLevel2: REAL;
23. k1: REAL;
24. k2: REAL;
25. k3: REAL;
26. END_VAR
27. VAR
28. client: TcpIpClient;
29. dataW: STRING(256);
30. RdataStr: ARRAY[0..13] OF STRING;
```

```

31. numSymbol: INT;
32. numArray: INT;
33. i: INT;
34. rData: STRING(255);
35. rDataReal: ARRAY[0..20] OF REAL;
36. END_VAR
37. client(enable:= TRUE, ipServer:= ipServer, portServer:= portServer, wData:= dataW);
38. rData := client.rData;
39. FOR i := 0 TO 13 DO
40. numSymbol:= FIND(rData, ',');
41. IF numSymbol <> 0 THEN
42. RdataStr[i] := LEFT(rData, numSymbol - 1);
43. rData := DELETE(rData, numSymbol + 1, 0);
44. ELSE
45. i:= 20;
46. END_IF
47. END_FOR
48. FOR i := 0 TO 13 DO
49. numSymbol:= FIND(RdataStr[i], '=');
50. IF numSymbol <> 0 THEN
51. numArray:= STRING_TO_INT(LEFT(RdataStr[i], numSymbol - 1));
52. rDataReal[numArray] := STRING_TO_REAL(DELETE(RdataStr[i], numSymbol + 1, 0));
53. END_IF
54. END_FOR
55. level1:= rDataReal[5];
56. flow1:= rDataReal[6];
57. level2:= rDataReal[7];
58. flow2:= rDataReal[8];
59. k1:= rDataReal[10];
60. k2:= rDataReal[11];
61. k3:= rDataReal[12];
62. setLevel1:= rDataReal[13];
63. setLevel2:= rDataReal[14];
64. buttonStart:= REAL_TO_BOOL(rDataReal[15]);
65. buttonStop:= REAL_TO_BOOL(rDataReal[16]);

```

```
66. dataW:= CONCAT('0=',TO_STRING(motor));
67. dataW:= CONCAT(dataW,';1=');
68. dataW:= CONCAT(dataW, TO_STRING(BOOL_TO_REAL(boolValve2)));
69. dataW:= CONCAT(dataW,';2=');
70. dataW:= CONCAT(dataW, TO_STRING(Valve1));
71. dataW:= CONCAT(dataW,';3=');
72. dataW:= CONCAT(dataW, TO_STRING(BOOL_TO_REAL(boolValve1)));
73. dataW:= CONCAT(dataW,';4=');
74. dataW:= CONCAT(dataW, TO_STRING(Valve2));
75. dataW:= CONCAT(dataW,';');
```