

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
 Специальность 09.04.02 Информационные системы и технологии
 ООП Мобильные приложения и виртуальная реальность
 Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

Тема работы
РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА «ПОДСТАНЦИЯ 220 КВ» ПОД МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

УДК 004.946:004.85:621.311.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Шерстнев В. С.	к. т. н., доцент		

Консультант отделения ОИТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Видман В. В	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН, ШБИП	Былкова Т. В.	канд.экон.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко О.Ю.	д-р мед. наук, профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
09.04.02 «Информационные системы и технологии»	Савельев А.О.	к. т. н., доцент ОИТ		

Томск 2022 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
по направлению 09.04.02 Информационные системы и технологии

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(-ых) языке(-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественно-научные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать оригинальные алгоритмы и программные средства, в том числе с использованием современных интеллектуальных технологий, для решения профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ОПК(У)-4	Способен применять на практике новые научные принципы и методы исследований

ОПК(У)-5	Способен разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем
ОПК(У)-6	Способен использовать методы и средства системной инженерии в области получения, передачи, хранения, переработки и представления информации посредством информационных технологий
ОПК(У)-7	Способен разрабатывать и применять математические модели процессов и объектов при решении задач анализа и синтеза распределенных информационных систем и систем поддержки принятия решений
ОПК(У)-8	Способен осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен управлять программно-техническими, технологическими и человеческими ресурсами
ПК(У)-2	Способен управлять развитием баз данных
ПК(У)-3	Способен управлять работами по сопровождению и проектами создания (модификации) информационных систем, автоматизирующих задачи организационного управления и бизнес-процессы.
ПК(У)-4	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий.
ПК(У)-5	Способен осуществлять руководство разработкой комплексных проектов на всех стадиях и этапах выполнения работ.

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 (специальность) 09.04.02 Информационные системы и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП
_____ Савельев А.О.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

ВКР магистра
(ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)

Студенту:

Группа	ФИО
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович

Тема работы:

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА «ПОДСТАНЦИЯ 220 КВ» ПОД МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 45-48/с от 14.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
------------------------------------------	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом проектирования и разработки является виртуальный симулятор по выводу и вводу автотрансформатора в работу;
---------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	Особые требования к продукту: платформа Windows, гарнитура виртуальной реальности Oculus Rift S.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ технологии виртуальной реальности; 2. Описание основных систем тренажера «Подстанция 220 кВ»; 3. Проектирование систем тренажера; 4. Разработка систем тренажера; 5. Финансовый менеджмент; 6. Социальная ответственность; 7. Раздел на английском языке.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рисунки, для исследования предметной области; 2. Рисунки, демонстрирующие результаты; 3. Диаграмма Ганта; 4. UML-диаграмма классов системы интерактивных объектов; 5. UML-диаграмма классов системы передвижения; 6. UML-диаграмма архитектуры приложения.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН, ШБИП, к.э.н., Былкова Т.В.
Социальная ответственность	Профессор ООД ШБИП, д.м.н., Федоренко О.Ю.
Английский язык	Доцент ОИЯ ШБИП, к.п.н., Сидоренко Т.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Описание основных систем тренажера «Подстанция 220 кВ»	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР ТПУ	Шерстнев В. С.	к. т. н., доцент		

Консультант ОИТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Видман В. В	—		

Задание принял к исполнению:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович		

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 (специальность) 09.04.02 Информационные системы и технологии
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

ВКР магистра

(ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающегося:

Группа	ФИО
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович

Тема работы:

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА «ПОДСТАНЦИЯ 220 КВ» ПОД МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021
------------------------------------------	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	70
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
	Социальная ответственность	10
	Приложение на английском языке	10

СОСТАВИЛ РУКОВОДИТЕЛЬ ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР ТПУ	Шерстнев В. С.	к. т. н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТ ОИТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Видман В. В	—		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
09.04.02 «Информационные системы и технологии»	Савельев А.О.	к. т. н., доцент ОИТ		

ОБУЧАЮЩИЙСЯ:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	09.04.02 Информационные системы и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней рыночной стоимости. Оклады в соответствии с окладами сотрудников организации.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	30,2 % отчисления во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Провести предпроектный анализ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Представить Устав научного проекта магистерской работы
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработать план управления НТИ
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Рассчитать сравнительную эффективность исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
-------------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН, ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	09.04.02 Информационные системы и технологии

Тема ВКР:

Проектирование и разработка тренажера "Подстанция 220 кВ" под мобильное устройство VR.

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>Объект исследования: VR тренажер для обучения операторов правильному вводу и выводу автотрансформатора в эксплуатацию</p> <p>Область применения: образование</p> <p>Все работы проводились в офисном помещении с помощью персонального компьютера. Площадь помещения – 25,2 м². Помещение освещалось посредством трех светильников с люминесцентными лампами.</p> <p>Рабочее место: рабочий стол с персональным компьютером.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: разработка программного обеспечения с использованием персонального компьютера</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021). – ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. – СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – СП 52.133330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – ГОСТ 22269-76 Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования – ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. – ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление – ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов – ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных факторов – Обоснование мероприятий по снижению воздействия 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – отсутствие или недостаток естественного света; недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – повышенная напряженность электрического поля; <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – поражение электрическим током; <p>Требуемые средства для коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: наушники, устройства для вентиляции и очистки воздуха, источники света.</p> <p>Расчет: расчет системы искусственного освещения.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:</p>	<p>Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу, селитебную зону не происходит.</p> <p>В работе проведен анализ негативного воздействия на литосферу: утилизация отходов.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Техногенные аварии (пожар); – Геологические воздействия (землетрясение, обвалы, оползни и т.п.). <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
П старший преподаватель	Федоренко Ольга Юрьевна	Доктор медицинских наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 121 страниц, 31 рисунка, 25 таблиц, 53 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: виртуальная реальность, Unity, симулятор, система передвижения VR, система интерактивных объектов, Virtual Reality, VR.

Объектом исследования является – проектирование и разработка тренажера "Подстанция 220 кВ" под мобильное устройство VR. Целью тренажера является обучение операторов правильному вводу и выводу автотрансформатора в эксплуатацию.

При исследовании был произведен аналитический обзор виртуальной реальности. Был произведен анализ рынка в России. Были рассмотрены методы обучения в виртуальной реальности. Был произведен анализ VR тренажеров в сфере электроэнергетики. Была спроектирована и разработана система передвижения и система интерактивных объектов в виртуальной реальности.

Список терминов и сокращений

VR (виртуальная реальность) – созданный с помощью технических средств мир, передаваемый человеку через его ощущения, а именно: зрение, слух, обоняние и другие. Виртуальная реальность может имитировать как воздействие, так и реакции на воздействие;

Скрипт – это программный файл-сценарий, который автоматизируют некоторую задачу, которую пользователь делал бы вручную, используя интерфейс программы. В среде Unity 3D скрипты прикрепляются к какому-либо объекту на сцене;

Сцена в Unity – виртуальное пространство, в которое разработчик может добавлять различные объекты. Между сценами можно переключаться в любой необходимый момент;

Фреймворк (англицизм от framework) – программное обеспечение, которое объединяет компоненты программного проекта и облегчает процесс разработки, предоставляя готовые программные решения;

Компонент — в программировании, множество классов и языковых конструкций, объединенных по общему признаку;

Игровой ассет или Игровой ресурс — цифровой объект, преимущественно состоящий из однотипных данных, неделимая сущность, которая представляет часть игрового контента и обладает некими свойствами;

Префабы — это особый тип ассетов, позволяющий хранить игровой объект со всеми компонентами и значениями свойств;

API (от англ. Application Programming Interface – «программный интерфейс приложения») — описание способов (набор классов, процедур, функций, структур или констант), которыми одна компьютерная программа может взаимодействовать с другой программой;

REST API – это способ взаимодействия сайтов и приложений с сервером;

Графический конвейер – это последовательность операций, которые преобразуют вершины и текстуры мешей в пиксели;

Класс – в объектно-ориентированном программировании, представляет собой шаблон для создания объектов, обеспечивающий начальные значения состояний: инициализация полей-переменных и реализация поведения функций или методов;

Интерфейс – программная/синтаксическая структура, определяющая отношение между объектами, которые разделяют определённое поведенческое множество и не связаны никак иначе;

Метод в объектно-ориентированном программировании – это функция или процедура, принадлежащая какому-то классу или объекту;

Игровой движок — это рабочая среда, в которой создают игры;

Актор в агентно-ориентированном программировании и модели акторов – программная сущность заданной структуры и механизмов взаимодействия.

Оглавление

Введение.....	17
1. Анализ технологии виртуальной реальности	19
1.1 Определение виртуальной реальности	19
1.1.1 Бинауральный звук	20
1.1.2 Биноккулярное зрение	21
1.1.3 Свободная камера.....	22
1.2 Анализ рынка VR/AR в современной России	22
1.3 Виртуальная реальность как способ обучения	24
1.4 Иммерсивная виртуальная реальность	26
1.4.1 Передвижение в виртуальной реальности.....	28
1.5 Обзор интерактивных систем в существующих тренажёрах	31
1.5.1 DE&M - Electrical Substation Training Platform	32
1.5.2 DreamPort - VR simulator for power engineers	33
1.5.3 Сравнение системы обучения у различных тренажеров.....	34
2 Описание основных систем тренажера «Подстанция 220 кВ»	36
2.1 Архитектура тренажера «Подстанция 220 кВ».....	36
2.2 Системные компоненты	37
2.2.1 Системный менеджер	37
2.2.2 Система управления сценами	37
2.2.3 Система локализации.....	37
2.2.4 Система сетевых взаимодействий	38
2.2.5 БД приложения.....	39
2.2.6 Система загрузки компонентов	39
2.2.6 Система переходов пользователя	39
2.3 Компоненты работы с пользователем.....	39
2.3.1 Актор пользователя.....	39
2.3.2 Обработка пользовательского ввода.....	40
2.3.3 Система пользовательского интерфейса	40
2.3.4 Система перемещения	41
2.3.5 Система интерактивных взаимодействий.....	42
2.3.6 Система инвентаря.....	43
2.4 Компоненты VR-тренажёра	44
2.4.1 Логика и задачи VR-тренажёра	44
2.4.2 Обучение работе в тренажёре	44
3 Проектирование систем тренажера.....	46
3.1 Система интерактивных взаимодействий.....	46
3.2 Интерактивные объекты.....	48
3.3 Система передвижения	50
4 Разработка систем тренажера	54
4.1 Инструменты разработки	54
4.1 Unity 3D.....	54
4.1.2 OpenXR.....	55

4.2 Состав и параметры технических средств, под которые совершается разработка	57
4.3 Разработка системы интерактивных объектов.....	57
4.4 Разработка системы передвижения	60
4.5 Результаты разработки системы интерактивных объектов	62
4.6 Результаты разработки системы передвижения	63
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	66
5.1 Предпроектный анализ	66
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	66
5.1.2 Анализ конкурентных решений.....	67
5.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	68
5.1.4. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	70
5.2 SWOT-анализ.....	71
5.2.1 Инициация проекта	72
5.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	73
5.4 Определение сравнительной эффективности исследования	83
6 Социальная ответственность	86
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	87
6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	87
6.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей среды	87
6.2 Производственная безопасность.....	89
6.3 Экологическая безопасность.....	95
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
Заключение	99
Conclusion.....	102
Список источников	104
Приложение (А).....	111
Приложение (Б)	120
Приложение (В).....	121

ВВЕДЕНИЕ

Виртуальная реальность (VR) — это компьютерная технология, которая создает имитируемую среду. VR создает искусственный компьютерный мир, с которым пользователь может взаимодействовать.

Виртуальная реальность повлияла на предприятия, начиная от медицины и заканчивая туризмом. VR является краеугольным камнем многих корпоративных стратегий цифровой трансформации [1]. Такие компании как «Росатом», «РусГидро», «Газпром нефть», в рамках стратегий цифровизации технологических процессов внедряют технологии виртуальной и дополненной реальности [2]. Большое количество таких внедрений связаны с обучением персонала и навигацией по технологическим процессам.

В рамках данной работы планируется создать тренажер в виртуальной реальности – тренажер «Подстанция 220 кВ». Данный тренажер предназначен для обучения операторов правильному вводу и выводу автотрансформатора в эксплуатацию.

Данная работа имеет следующие разделы:

Анализ предметной области. В рамках анализа будет рассмотрена технология виртуальной реальности в целом, преимущества, которые дает виртуальная реальность, будет проанализирован рынок VR в России, будет рассмотрено как виртуальная реальность используется в процессе обучения, будут проанализированы тренажеры в сфере электроэнергетики, которые представлены на рынке.

Архитектура тренажера. Данный раздел будет посвящён всем основным системам тренажера «Подстанция 220 кВ»

Проектирование систем тренажера. В рамках данного раздела будет проведено описание двух систем тренажера: системы интерактивных

объектов, которая позволяет взаимодействовать пользователю с окружением и система передвижения, которая позволяет осуществлять перемещение пользователя в виртуальном пространстве

Разработка проекта. В данном разделе речь пойдет о разработке спроектированных систем, также в данном разделе будет описание средств разработки.

1. Анализ технологии виртуальной реальности

1.1 Определение виртуальной реальности

Виртуальная реальность (VR) — это созданная компьютером среда со сценами и объектами, которые кажутся реальными, заставляя пользователя чувствовать, что он погружен в свое окружение. Этот контекст формируется внутри машины, известной как гарнитура виртуальной реальности. VR позволяет нам участвовать в видеоиграх или фильмах, как если бы мы были одним из персонажей [3].

Мы познаем мир через наши органы чувств и системы восприятия. В школе мы все узнали, что у нас есть пять чувств: вкус, осязание, обоняние, зрение и слух. Это только наши самые очевидные органы чувств. Правда в том, что у людей гораздо больше чувств, чем это, например, чувство равновесия. Эти другие сенсорные входы, а также некоторая специальная обработка сенсорной информации нашим мозгом гарантируют, что у нас есть богатый поток информации из окружающей среды в наш разум.

Все, что мы знаем о нашей реальности, приходит через наши чувства. Другими словами, весь наш опыт реальности — это просто комбинация сенсорной информации и наших мозговых механизмов восприятия этой информации [4]. Само собой разумеется, что, если вы можете представить своим чувствам выдуманную информацию, ваше восприятие реальности также изменится в ответ на нее. Вам будет представлена версия реальности, которой на самом деле нет, но с вашей точки зрения она будет восприниматься как реальная. Что-то, что мы бы назвали виртуальной реальностью.

Свойства VR:

- Правдоподобная — поддерживает у пользователя ощущение реальности происходящего;
- Интерактивная — обеспечивает взаимодействие со средой;

- Машинно-генерируемая — базируется на мощном аппаратном обеспечении;
- Доступная для изучения — предоставляет возможность исследовать большой детализированный мир;
- Создающая эффект присутствия — вовлекает в процесс как мозг, так и тело пользователя, воздействуя на максимально возможное число органов чувств [5].

Далее рассмотрим преимущества VR перед персональным компьютером.

1.1.1 Бинауральный звук

Бинауральный звук — это тип 3D-аудио, создающий захватывающий звук. Он создается путем записи звуков с двух разных точек зрения, а затем воспроизведения их через наушники [6]. Это создает слуховую иллюзию того, что вы находитесь в одной комнате с источником звука, что делает его идеальным для игр, фильмов и музыки. Бинауральное аудио дарит настоящему незабываемый опыт: звук движется за вами и ведёт себя точно так же, как он ведёт себя в реальном мире. В своём нынешнем виде технология стала очень точной. Можно крутить головой, садиться и вставать, наклоняться и делать миллион других действий — бинауральное аудио в наушниках будет всегда звучать подобно тому, как бы звучали сигналы в настоящем мире. Благодаря этому можно буквально оказаться в другом месте и оставаться в нём вне зависимости от своего положения (рисунок 1).



Рисунок 1 – Эволюция 3D-аудио

1.1.2 Биноклярное зрение

Биноклярное зрение — это то, что делает нашу жизнь действительно трехмерной, позволяет оценивать глубину и дальность объектов, то есть воспроизводить объемную картину мира [7]. Обеспечивается этот феномен сопоставлением зрительной информации, получаемой от двух глаз, но с «разного угла». На рисунке 2 изображена схема биноклярного зрения. При фиксации двумя глазами объекта «А» его изображение падает на соответствующие точки сетчаток глаза обоих глаз. В это время изображение объекта «Б» (более близкого) и объекта «В» (более далекого) будут падать на несоответствующие точки сетчаток. Объединение этой информации в головном мозге является ключевым этапом для реализации трёхмерного зрения. Разница с монитором ПК – это способность распознавать предметы и выстраивать визуальную картинку, задействуя оба глаза одновременно. При этом мы видим трехмерное изображение: распознают размеры, формы, расположение предметов в пространстве.

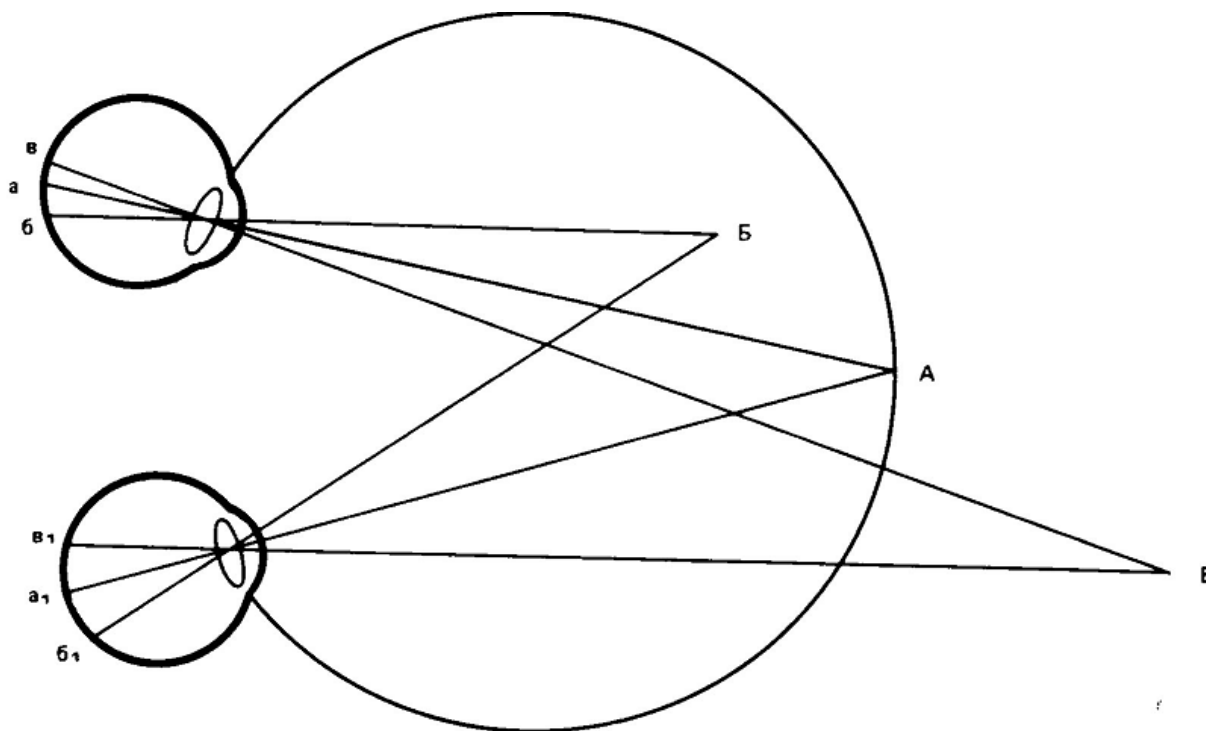


Рисунок 2 – Схема биноклярного зрения

1.1.3 Свободная камера

Свободная камера - камера VR, которая предлагает незабываемый опыт просмотра, захватывая 360-градусный обзор фотографий и видео. Мы можем двигать головой или указателем вверх, вниз, влево или вправо, и видео перемещается вместе с вами [8].

Совместно с отображением отдельных изображений для каждого глаза можно отслеживать ориентацию устройства и, следовательно, головы пользователя. Затем ориентацию головы пользователя можно использовать в качестве элемента управления вводом для приложения VR, позволяя пользователю поворачивать камеру, поворачивая голову. Это позволяет пользователю осматривать виртуальную среду, просто поворачивая голову. Такое отслеживание ориентации обычно осуществляется с помощью инерциального измерительного блока (IMU), который обычно состоит из трехосного акселерометра и трехосного гироскопа.

Недостатки свободной камеры могут включать: несовместимость с корректирующими очками (хотя некоторые устройства обеспечивают коррекцию, помогающую смягчить эту проблему), размытые изображения из-за низкой частоты обновления экрана и сохранения изображения, задержку между пользователем движением и перерисовки экрана, тот факт, что пользователь, как правило, должен быть привязан к компьютеру, что может уменьшить иммерсивность симуляции [9].

1.2 Анализ рынка VR/AR в современной России

Большинство экспертов в области данных технологий предсказывают проникновение дополненной и виртуальной реальности в образ жизни простого человека в течение ближайших пяти лет. По результатам исследований в 2019 году 70 % компаний, занимающихся AR / VR технологиями и смежными с ними, расположены в Москве. Однако они реализуют проекты на территории всей страны и выходят на рынок стран

СНГ (Казахстан) [10]. По мнению некоторых экспертов «дополненная и смешанная реальность в глазах разработчиков станут более важными, чем виртуальная реальность. По опросам бизнес-лидеров в 2019 году, 67 % рассматривают использование дополненной реальности и только 47 % — виртуальной. Среди первых — глава Apple Тим Кук, который однозначно заявляет, что дополненная реальность интереснее для его компании» [11].

Единогласно, по мнению исследователей [12] в 2020 году произошел резкий всплеск образования компаний, занимающихся интерактивными технологиями (40 % компаний появилось в этом году). Рост числа компаний в сфере AR&VR в России (рисунок 3). В основном рост в России обусловлен тремя факторами:

- на рынке рекламы и выставок AR&VR остается дифференцирующим «wow» фактором;
- игровой сегмент рынка в AR&VR демонстрирует рост вместе с появлением новых шлемов виртуальной реальности Sony Morpheus, HTC-Valve Vive, Microsoft Hololens, Fove, и другие.

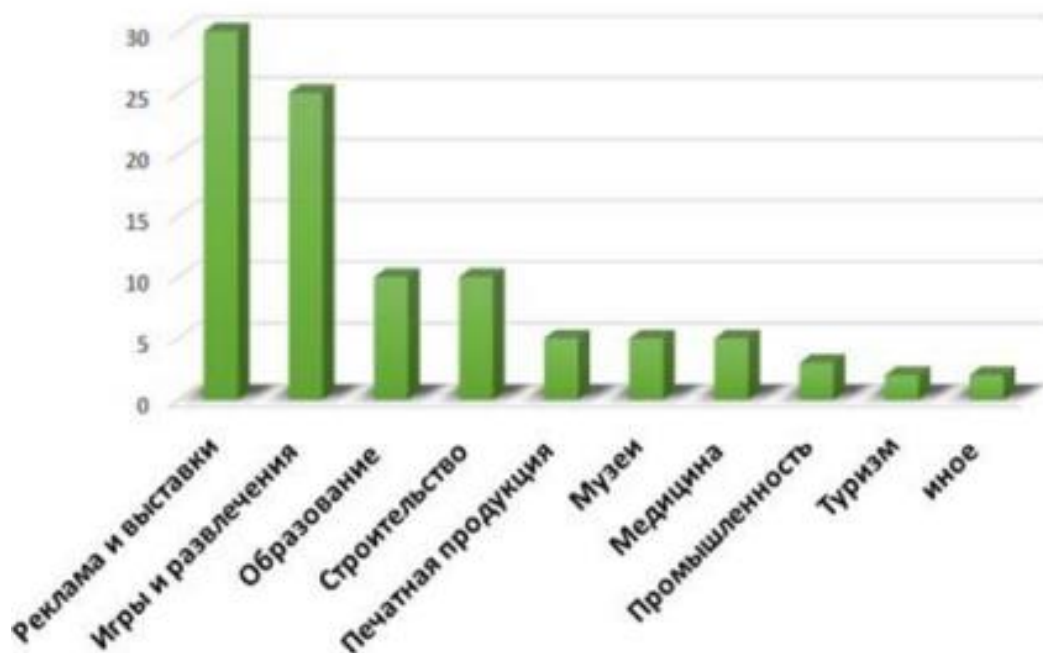


Рисунок 3 – Сегменты и структура рынка VR/AR в России в 2018 году

Основными выводами Аналитического отчета о рынке дополненной и виртуальной реальности в России в 2020 г. стали [13]:

- В промышленном, образовательном и других секторах рынка требуется четкое понимание экономического эффекта от внедрения технологий.
- Развитие проприетарных технологий в России возможно при налаживании профессиональных связей между разными игроками рынка, а также профильными институтами и научными учреждениями.
- Отрасль также нуждается в новых специалистах, информационном обмене.

Также в результате данного исследования был выделен ряд экономических проблем. Низкий спрос со стороны основных производящих и движущих секторов экономики России на технологии AR&VR. Это сильно ограничивает развитие рынка. Не очевиден экономический эффект от внедрения технологий AR&VR для конечного заказчика.

Плохая осведомленность заказчиков и потребителей о применяемых технологиях, технологический консерватизм. Рыночное проникновение составляет от 1 до 5 % от целевой аудитории. Рынок ограничен по объему и цикл сделки может достигать 6–9 мес. в «тяжелых» сегментах, что сдерживает развитие бизнеса российских разработчиков.

Технологические и организационные проблемы:

- Отсутствуют центры компетенции по созданию технологий мирового уровня.
- Высокий риск срыва поставок комплектующих и таможенные проблемы (аппаратный бизнес).
- Плохая осведомленность компаний о собственном рынке [14].

1.3 Виртуальная реальность как способ обучения

Обучение в виртуальной реальности — это цифровое моделирование реалистичных сценариев в учебных целях. Учащиеся попадают в активную обучающую среду, знакомясь с образами и звуками [15]. Используя гарнитуру и контроллеры, учащиеся могут свободно смотреть, говорить и перемещаться в виртуальной 3D-среде, взаимодействуя с смоделированными реальными инструментами, механизмами и другими учащимися, и инструкторами (Рисунок 4).



Рисунок 4 – VR-тренажер

Важно отметить, что с виртуальной реальностью сценарии на рабочем месте, которые когда-то были слишком сложными, дорогими или опасными для обучения, становятся значительно более практичными, экономичными, эффективными и безопасными в иммерсивной симуляции.

В сочетании с повествованием историй и учебной программой, разработанной экспертами в предметной области, в результате стажеры учатся наилучшим образом — на личном опыте — что значительно улучшает удержание внимания, производительность труда, работу в команде, безопасность на рабочем месте и стоимость обучения.

Преимущества VR-обучения:

- Повышение производительности труда на 70+%;

- Сокращение человеческих ошибок на рабочем месте;
- Сокращение времени на тренировку на 40-60% по сравнению с традиционными методами обучения;
- Сокращение затрат и риска на ненужные поездки;
- Безопасность на рабочем месте и совместная работа;
- Включает все четыре основных стиля обучения (визуальный, слуховой, чтение/письмо и кинестетический) [16].

1.4 Иммерсивная виртуальная реальность

Иммерсивная виртуальная реальность (иммерсивная виртуальная реальность) — это представление искусственной среды, которая достаточно убедительно заменяет пользователям реальное окружение, чтобы они могли приостановить недоверие и полностью погрузиться в созданную среду [17]. Иммерсивность — важный элемент приложений виртуальной реальности, таких как VR-игры и VR-тренажеры.

Иммерсивность обычно рассматривается по шкале, от минимального до полного погружения. Как правило, вовлеченность пользователей будет соответственно варьироваться, хотя в некоторой степени зависит от индивидуальных различий. Неестественно иммерсивная среда не будет вовлекать пользователя, а среда, полностью воспроизводящая реальный мир, может иметь непредсказуемые психологические эффекты. На сегодняшний день последний сценарий не является проблемой, поскольку такой уровень иммерсивности не был достигнут.

Элементы виртуальной среды, повышающие эффект погружения [18]:

- Непрерывность окружения: пользователь должен иметь возможность смотреть во всех направлениях и иметь непрерывность окружения.
- Соответствие человеческому зрению: визуальный контент должен соответствовать элементам, которые позволяют людям понимать

свое окружение, чтобы, например, размеры объектов на расстоянии соответствовали нашему пониманию их размера и расстояния от нас. Параллакс движения гарантирует, что наше представление об объектах изменяется соответствующим образом при изменении нашей точки зрения.

- Свобода передвижения: важно, чтобы пользователь мог нормально передвигаться в пределах окружающей среды. Эта производительность может быть достигнута в виртуальной реальности в масштабе комнаты и в специальных комнатах виртуальной реальности, но требует сложного оборудования для стационарной виртуальной реальности и невозможна для сидячей виртуальной реальности.

- Физическое взаимодействие: пользователь должен иметь возможность взаимодействовать с объектами в виртуальной среде так же, как и с реальными. Перчатки с датчиками, например, могут позволить пользователю совершать такие движения, как толкание или поворот, чтобы взаимодействовать с объектами естественным образом — поворачивая дверную ручку или беря книгу.

- Обратная связь: пользователь должен получать тактильную обратную связь, чтобы воспроизвести ощущение реального взаимодействия. Так, например, когда пользователь поворачивает дверную ручку, он не только повторяет движение, но и испытывает ощущение того, что этот предмет находится в его руке.

- Повествование: пользователь должен иметь возможность определять ход повествования. Среда должна включать подсказки, побуждающие пользователя к созданию интересных разработок.

- 3D-звук: для обеспечения эффекта погружения виртуальная среда должна воспроизводить естественное расположение звуков относительно людей и объектов в окружающей среде, а также положение головы пользователя.

1.4.1 Передвижение в виртуальной реальности

Есть много способов, которыми можно реализовать передвижение в приложениях. В зависимости от используемой перспективы камеры и механики движения пользователи могут по-разному перемещать свою точку обзора в виртуальном пространстве. Очевидно, что существуют фундаментальные различия в возможностях передвижения при сравнении двухмерного и трехмерного опыта. Даже в категории 3D-опыта передвижение может принимать самые разные формы [19].

Передвижение в 2D-играх ограничено рамками 2D-пространства (оси X и Y). Камера, используемая в 2D-играх, использует ортогональную проекцию. Поэтому игровое пространство видится «плоским». В этих приложениях пользователи могут перемещать персонажа с помощью такой механики, как «наведи и щелкни» (как в большинстве 2D-стратегий в реальном времени) или с помощью клавиш на клавиатуре или других типов контроллеров. Движения ортогональной камеры в этом опыте также ограничены рамками 2D-пространства. После этого у пользователей не будет иллюзии восприятия игры глазами персонажа (например, Cuphead [20], Super Mario Bros [21] и т. д.). Очевидно, что такой же тип передвижения можно использовать и в трехмерном пространстве. Например, в игре City Builder [22] камера использует перспективную проекцию. Однако передвижение пользователя ограничено двумя осями X и Z. Однако трехмерная перспектива камеры (точка зрения пользователя) создает иллюзию глубины и ощущение существования «в небе». В более сложных 3D-играх, таких как шутеры от первого лица (FPS), где желательно, чтобы игроки смотрели на игру глазами своего персонажа, ощущение движения совершенно другое. Мы подчеркиваем слово «чувство», поскольку логика перевода (перемещения) объекта в двухмерном пространстве по сравнению с трехмерным пространством из одной точки в другую не сильно отличается. Однако

различия в результирующем ощущении движения камеры огромны (непривязанная дальняя ортогональная и перспективная проекция глазами персонажа). Во многих современных играх (не обязательно шутерах) с видом от первого лица игрокам может быть предоставлено шесть степеней свободы для движения и вращения.

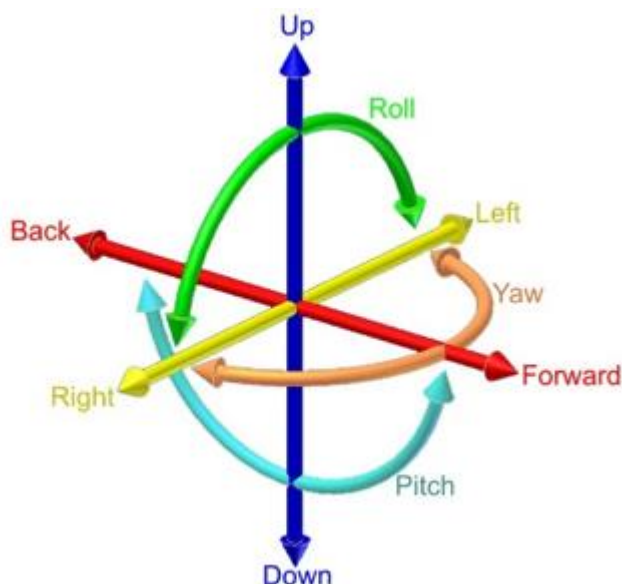


Рисунок 5 – Шесть степеней свободы

Опыт виртуальной реальности очень похож на вид от первого лица. Это наиболее эффективный способ использования виртуальной реальности для создания иммерсивного ощущения восприятия виртуального мира с естественной для нас точки зрения [23]. Неудивительно, что на заре массового развития виртуальной реальности многие использовали те же методы передвижения, что и в обычных настольных играх от первого лица в виртуальной реальности. Хотя мы определенно можем использовать механику передвижения, такую как «плавный переход» в VR, конечный пользовательский опыт будет другим. На самом деле это вызовет хорошо известный негативный эффект, связанный с такими чувствами, как дезориентация, напряжение глаз, головокружение и даже тошнота, обычно называемая болезнью симулятора.

Согласно Винриху «Укачивание обычно возникает, когда человек чувствует движение, но не обязательно его видит. Напротив, симуляционная болезнь может возникнуть без какого-либо фактического движения субъекта» [24]. Один из способов интерпретации этого заключается в том, что симуляционная болезнь — это форма физико-психологического парадокса, который люди испытывают, когда видят, как они движутся в виртуальной среде (в данном случае через шлемы виртуальной реальности), но физически не чувствуют этого. Наиболее распространенной теорией того, почему это происходит, является «сенсорная теория конфликта» [25]. Однако существует несколько других теорий, пытающихся смоделировать или предсказать симуляционную болезнь (например, теория отравления [26], модель отрицательного подкрепления [26], теория движения глаз [27] и теория постуральной неустойчивости [28]). Симуляторная болезнь в виртуальной реальности более серьезна в тех случаях, когда пользователи должны перемещаться, особенно используя плавный переход, на большое расстояние. Таким образом, были исследованы различные подходы, чтобы уменьшить этот негативный опыт. Один из подходов, предложенный [29], состоит в том, чтобы включить в процесс виртуальный нос, чтобы у пользователей была «кадр отдыха» (статическая точка, которая не движется), когда они надевают HMD.

Далее перечислим некоторые из самых популярных реализаций движения в VR.

- Физическое движение. В более ранней версии VR HMD не использовались внешние датчики для отслеживания положения пользователей. Таким образом, физически перемещаться по комнате и испытывать перевод (движение) внутри виртуальной среды было нелегко (в нескольких примерах для этой цели в некоторой степени использовались другие формы датчиков, такие как Microsoft Kinect)[30]. Однако в более

новых моделях HMD были добавлены внешние датчики, чтобы устранить этот недостаток, обеспечивая отслеживание в масштабе комнаты. Например, Oculus Rift [31] и HTC Vive [32] имеют датчики, которые могут отслеживать положение пользователя в пределах определенной границы в физическом пространстве. Это позволяет пользователям свободно и естественно ходить (а также вращаться, сидеть и прыгать) в пределах этой границы и ощущать движение своей точки зрения в виртуальной реальности. Последние поколения HMD, такие как Oculus Quest, используют технологию отслеживания наизнанку, которая устраняет необходимость во внешних датчиках. Используя эти HMD, пользователи не привязаны к определенным физическим границам и могут свободно перемещаться в гораздо большем физическом пространстве. Этот метод передвижения является наиболее естественным, который мы можем использовать в виртуальной реальности.

- Телепортация. Телепортация по-прежнему считается самой популярной системой передвижения в виртуальной реальности (хотя это может скоро измениться из-за появления технологии отслеживания наизнанку). Это позволяет пользователям прыгать (телепортироваться) из одного места в другое внутри виртуальной среды. Существуют также различные виды телепортации. Самой простой формой является мгновенная телепортация, при которой точка зрения пользователя мгновенно перемещается из одного места в другое, когда он указывает на место и нажимает на свой контроллер.

1.5 Обзор интерактивных систем в существующих тренажёрах

Рассмотрим системы интерактивных объектов, которые реализованы в популярных тренажерах, связанных с электроэнергетикой. Также разберем их плюсы и минусы по признаку иммерсивности.

1.5.1 DE&M - Electrical Substation Training Platform

На рисунке 6 представлен тренажер, разработанный компанией Digital Engineering and Magic [33]. Как только пользователь надевает гарнитуру, он попадает на виртуальную подстанцию, которая является точной копией реальной подстанции, используемой для тренировок. Пользователи изучают все тонкости того, как электричество передается при очень высоких напряжениях, а также при малых токах, чтобы уменьшить нагрев, вихревые токи и другие потери при передаче. Они также могут пройти полный осмотр подстанций, чтобы изучить различные методы распределения электроэнергии и изучить напряжения, трансформаторы, а также узлы передачи. Все это очень специализировано, но имеет огромную ценность, поскольку полностью устраняет риск и дает студентам возможность учиться в любой точке мира.



Рисунок 6 – Electrical Engineering & Substation

Плюсы «Electrical Substation Training»:

- Система обучения;
- Высокодетализированное окружение.

Минусы «Electrical Substation Training»:

- Отсутствует обратная связь;

- Отсутствует звуковое сопровождение при взаимодействии с интерактивными объектами.

1.5.2 DreamPort - VR simulator for power engineers

Обучающий виртуальный тренажер «Выполнение организационных и технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках классом 110/10 кВ со снятием напряжения» [34]. Разработан для обучения работников предприятий электрических сетей безопасным методам и приемам выполнения работ с непосредственным выполнением технологических операций, обеспечивающих безопасность проведения работ в электроустановках (Рисунок 7).



Рисунок 7 – VR simulator for power engineers

Обучение реализовано в формате виртуальной реальности и дает полный эффект погружения в обстановку производственной деятельности с ощущением присутствия обучаемого в каждом эпизоде технологического процесса подготовки и выполнения рабочего задания.

Плюсы «VR simulator for power engineers»:

- Высокодетализированное окружение;

Минусы «VR simulator for power engineers»:

- Отсутствует обратная связь;

- Отсутствует звуковое сопровождение при взаимодействии с интерактивными объектами.

- Система обучения;

1.5.3 Сравнение системы обучения у различных тренажеров

В таблице 1 — приведено сравнение описанных выше тренажеров.

Таблица 1 – Сравнение системы обучения в тренажере

Характеристика	Electrical Substation Training Platform	VR simulator for power engineers
Система обучения	+	-
Высокодетализированное окружение	+	+
Обратная связь	-	-
Звуковое сопровождение	-	-

1.6 Вывод по главе 1

На сегодняшний день компании-разработчики предлагают готовые VR-тренажеры для обучения в области электроэнергетики, медицины. Чем больше возможностей виртуальной реальности объединено, тем более мощным становится опыт и тем труднее его воспроизвести без виртуальной реальности. В то время как 2D-компьютеры обеспечивают гибкость, а в реальном мире есть отличное 3D-взаимодействие, только в виртуальной реальности возможно иметь и то, и другое.

В ходе исследования было выявлено, что ключевыми элементами виртуальной среды, повышающие эффект погружения:

- Физическое взаимодействие;
- Наличие звукового сопровождения;

- Присутствие системы обучения;
- Обратная связь;
- Система анимаций.

Был проанализирован ряд тренажеров, которые предназначены для обучения операторов на различных электроэнергетических объектах. Были выявлены сильные и слабые стороны данных решений. В разрабатываемом проекте все выявленные недостатки будут устранены.

2 Описание основных систем тренажера «Подстанция 220 кВ»

В данной главе пойдёт речь о основных системах тренажёра «Подстанция 220 кВ». Часть из этих компонентов является комплексными, однако в данной главе рассмотрим их упрощенно.

2.1 Архитектура тренажера «Подстанция 220 кВ»

На рисунке 8 представлена архитектура тренажёра «Подстанция 220 кВ».

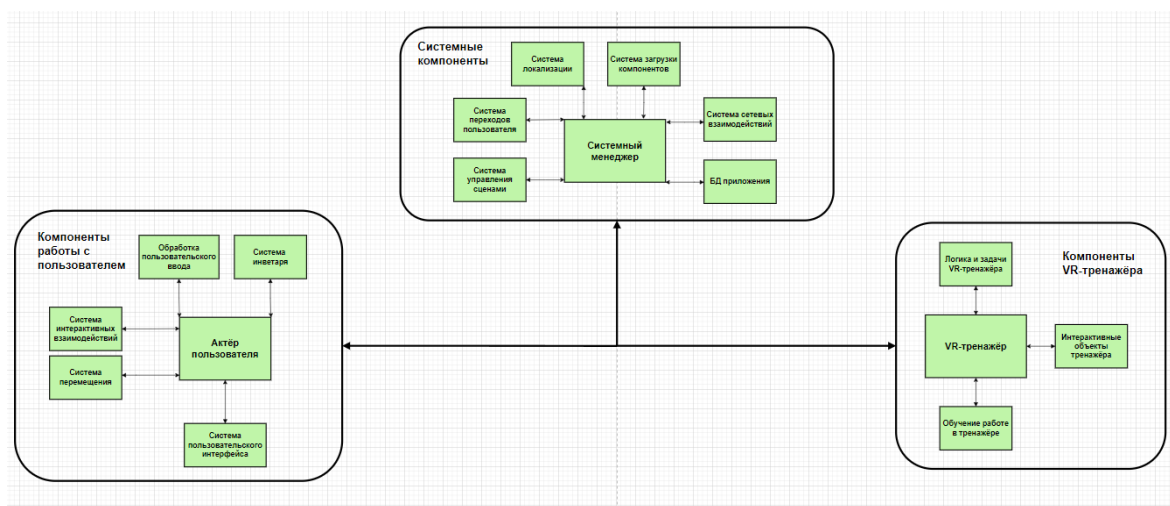


Рисунок 8 – Структурная схема тренажера

В приложении можно выделить три основных системы:

- Системные компоненты. отвечают за взаимосвязь пользователя, интерактивного окружения и веб сервера.
- Компоненты работы с пользователем. Данные компоненты содержат логику управления персонажем, обработку пользовательского ввода, системой перемещения и системой интерактивных взаимодействий.
- Компоненты VR-тренажера. Отвечает за последовательность действий, которые необходимо выполнить в рамках тренажёра систему обучения и систему интерактивных объектов, принадлежащих к данному тренажеру.

Далее будет рассмотрена функциональность каждого из составляющих компонентов.

2.2 Системные компоненты

Системные компоненты отвечают за функционирование приложения. Рассмотрим подробнее список компонентов которые входят в данную систему. Подробней рассмотрим все основные компоненты этой системы.

2.2.1 Системный менеджер

Основная роль системного менеджера заключается в том, чтобы корректно инициализировать остальные системные компоненты системный менеджер реализует паттерн «Singleton». Данный менеджер обеспечивает функционирование всего приложения. системный менеджер загружается самым первым при запуске тренажёра и контролирует время жизни остальных системных объектов.

2.2.2 Система управления сценами

При разработке тренажёра было принято решение разделить приложение на три активной сцены. Первая сцена представляет из себя контрольную сцену. Данная сцена содержит все системные компоненты, которые необходимы для корректного функционирования приложения. Вторая сцена — это сцена с логикой. Данная сцена содержит все предметы, с которыми может взаимодействовать пользователь. Помимо этого, данная сцена содержит компоненты, отвечающие за пользовательский интерфейс и систему обучения. Третья сцена — это сцена, на которой содержится статические объекты, присутствующие в тренажере. Система управления сценами была создана для того, чтобы в правильном порядке загружать перечисленные выше сцены, контролировать время их жизни и при необходимости выгружать.

2.2.3 Система локализации

Система локализация отвечает за перевод всех текстов, которые присутствуют в приложении. Система локализации представляет из себя таблицы, которые содержат переводы текстов на разные языки. В данный

момент было реализовано два варианта перевода: на русский и английский языки. К системе локализации по большей части обращается система, которая отвечает за пользовательский интерфейс. Системы локализации поддерживает выгрузку текста в виде .csv-файлов, которые могут редактировать люди, ответственные за локализацию. На рисунке 9 переведен пример таблицы с локализованными текстами.

Key	Russian (ru)	English (en)
TEXT_LAB_1_GAMEOVER_SHOCK	Необходимо соблюдать технику безопасности!	Safety precautions must be followed!
TEXT_LAB_1_GAMEOVER_FRIED	Произошло короткое замыкание и обмотки электромотора пришли в непригодное состояние.	A short circuit has occurred and the motor windings have become unusable.
TEXT_MEASUREMENT_MOHM	МОм	MOhm
LAB_DESC_DURATION	Примерное время выполнения: (0) минут	Approximate completion time: {0} minutes
GAMEOVER_BTN_RETRY	Начать заново	Restart
GAMEOVER_BTN_TO_MAIN_MENU	В главное меню	To main menu

Рисунок 9 – Пример таблицы с локализованными текстами

2.2.4 Система сетевых взаимодействий

Система сетевых взаимодействий отвечает за запросы и их обработку к REST API серверу. Данная система предназначена для авторизации пользователя, Авторизация производится через клиентское приложение - тренажёр. Помимо этого, системы сетевых взаимодействий отвечает за

сохранение сохранения данных о прогрессе выполнения тренажёра. Все сетевые запросы выполняются асинхронно в отдельном потоке.

2.2.5 БД приложения

Данный компонент отвечает за взаимодействие с локальной базой данных. Локальная база данных хранит в себе промежуточную информацию, которая синхронизируется с сервером. Помимо этого, данный компонент имеет интерфейсы для взаимодействия с логикой VR-тренажёров.

2.2.6 Система загрузки компонентов

Система загрузки компонентов отвечает за корректную инициализацию всех основных компонентов системы. Данная система составляет очередь, в которую входят все основные компоненты системы. Также последовательно загружает все необходимые компоненты и оповещает другие системы о завершении инициализации.

2.2.6 Система переходов пользователя

Система переходов пользователя реализует эффект под названием Fade. Данный эффект плавно затемняет экран(камеру) при длительных операциях, которые требуют некоторого ожидания. Данная система используется, когда выполняется длительная операция, например, такая как загрузка всех основных компонентов системы. Система переходов пользователя связана с системой загрузки компонентов.

2.3 Компоненты работы с пользователем

Компоненты работы с пользователями — это блок различных компонентов, которые в основном отвечают за взаимодействие пользователя в виртуальном пространстве. Подробнее рассмотрим все основные компоненты этой системы.

2.3.1 Актор пользователя

Актор пользователя включает в себя ряд компонентов, которые описывают пользователя в виртуальном пространстве. Актер является

физическим объектом, на которое действует различные силы, например, сила гравитации. Также он отвечает за обработка столкновений с окружающими объектами. Актёр имеет физическое расположение в пространстве и имеет возможность перемещаться в нём. Также данный компонент- обрабатывает информацию, поступающую со шлема из контроллеров. Помимо этого, актер отвечает за взаимодействие пользователя с UI. На рисунке 10 представлен ассет актёра пользователя.

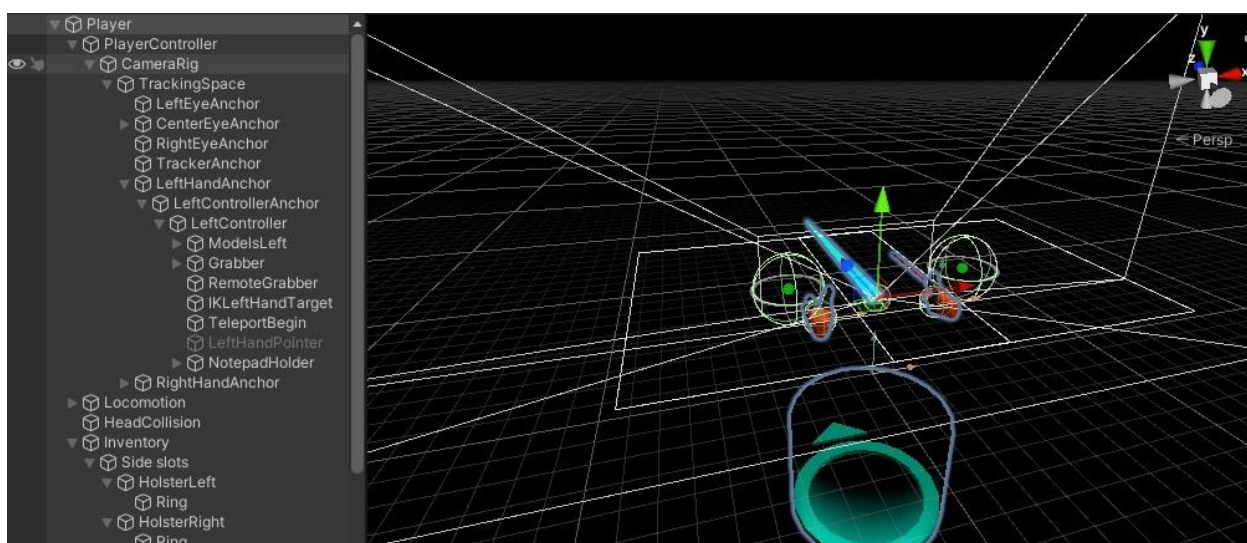


Рисунок 10 – Актёр пользователя

2.3.2 Обработка пользовательского ввода

Компонент обработки пользовательского ввода реализует паттерн под названием «Bridge». Данный компонент считывает нажатия на клавиши, при этом абстрагируясь от конкретной модели контроллера, и предоставляет единый интерфейс.

2.3.3 Система пользовательского интерфейса

Система пользовательского интерфейса — это блок компонент, который обеспечивает взаимодействие пользователя с VR-тренажёром. В тренажёре реализовано 2 вида. Взаимодействие через луч - из руки пользователя появляется луч, когда он наводит на элементы пользовательского интерфейса. Физическое взаимодействие - пользователь

может физически нажать на элементы пользовательского интерфейса виртуальными пальцами.

2.3.4 Система перемещения

Система перемещения включает в себя три основных вида передвижения пользователя в виртуальном пространстве:

- Модуль поворота. Данный модуль отвечает за мгновенный поворот пользователя на указанное количество градусов (по умолчанию 30 °). Поворот осуществляется с помощью смещение правого стика контролера. Данная механика поворота была добавлена чтобы избежать Motion sequence;
- Модуль перемещения. Модуль перемещения плавно двигает пользователя в виртуальном пространстве. Перемещение осуществляется с помощью отклонения левого стика;
- Модуль телепорта. Модуль телепорта позволяет осуществлять движение в виртуальном пространстве с помощью телепорта. При нажатии и отклонении левого стика рисуется траектория в некоторую точку. При отпускании стика происходит перемещение игрока в выбранную точку. Перемещение с помощью телепорта позволяет достичь труднодоступных мест и передвигаться значительно быстрее, чем при плавном передвижении.

На рисунках 11-12 переведен пример передвижения с помощью телепортации.



Рисунок 11 – Пример перемещения с помощью телепорта. Начало телепортации



Рисунок 12 – Пример перемещения с помощью телепорта. Конец телепортации

2.3.5 Система интерактивных взаимодействий

Данная система состоит из двух ключевых компонентов: Grabber (хватаящий) и Grabbable (объект, который можно схватить). Компонент Grabber привязан к виртуальным рукам. Компонент Grabbable привязан к

интерактивном объектам на сцене. После того, как осуществляется захват того или иного предмета, захваченный предмет привязывается к текущему Grabber. Таким образом, появляется возможность совершать различные манипуляции над интерактивными объектами, например, перемещать, бросать, нажимать и т.д.

2.3.6 Система инвентаря

В ходе выполнения работ пользователя зачастую возникают ситуации, когда ему необходимо для прохождения тренажёра использовать несколько интерактивных предметов. Именно поэтому была разработана система инвентаря. Система инвентаря включает в себя слоты, в которые возможно прикрепить определённые интерактивные объекты. На рисунках 13-14 переведен пример использования инвентаря.

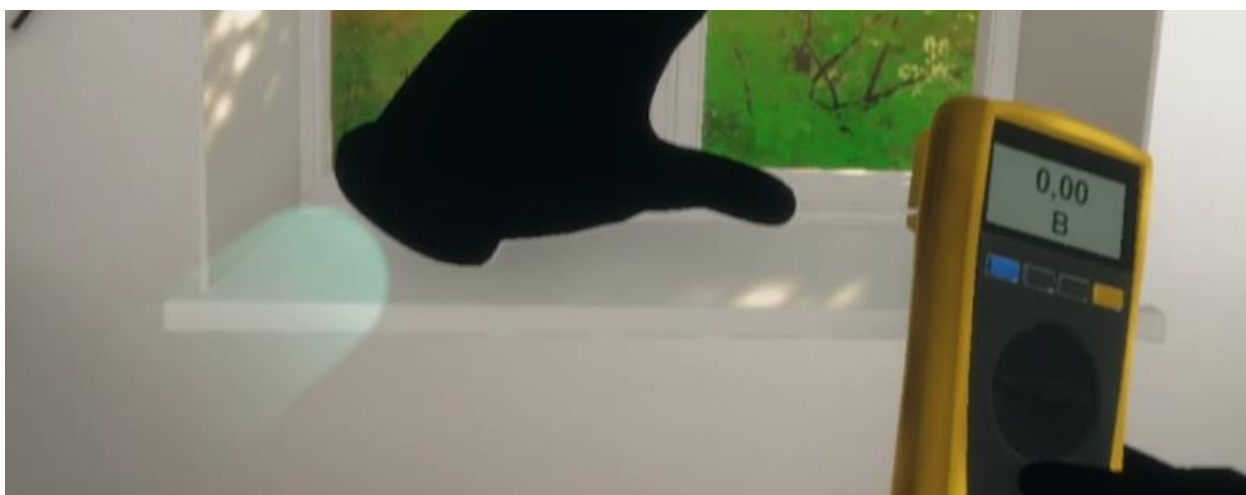


Рисунок 13 – Пример слота инвентаря на левой руке

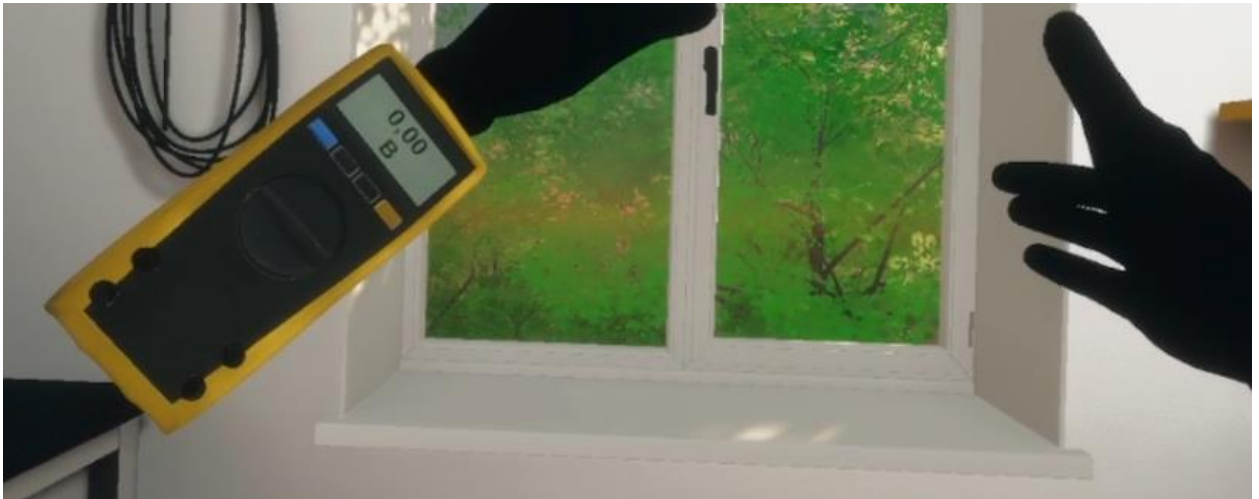


Рисунок 14 – Пример прикрепления предмета

2.4 Компоненты VR-тренажёра

Компоненты VR-тренажёра включает в себя такие системы, как логика и задачи тренажёра, интерактивные объекты тренажёра, система обучения в тренажёре. Подробней рассмотрим все основные компоненты этой системы.

2.4.1 Логика и задачи VR-тренажёра

Логика и задач VR-тренажера — это блок компонентов, который отвечает за последовательность действий, необходимые совершить пользователю для выполнения поставленной задачи, а конкретно - ввод и вывод автотрансформатора в эксплуатацию.

2.4.2 Обучение работе в тренажёре

Для обучения работы пользователя в тренажёре была разработана система обучения. Система обучения включает в себя различные виды подсказок, такие как интерактивные всплывающую окна, подсветку объекта целиком или его составных частей, звуковые подсказки, подсветка клавиш на контроллере. Подсказки могут объединяться в группы. в рамках одной группы.

2.5 Вывод по главе 2

В рамках данной главы была описана архитектура симулятора виртуальной реальности «Подстанция 220 кВ». Были описаны основные компоненты системы, входящие в состав тренажера, а именно:

- Компоненты системы;
- Компоненты работы с пользователем;
- Компоненты VR-тренажера.

3 Проектирование систем тренажера

В данной главе пойдёт речь проектировании двух ключевых системах тренажера – система, интерактивного взаимодействия и система передвижения.

3.1 Система интерактивных взаимодействий

Основным отличием приложения в виртуальной реальности от других приложений заключается в том, что пользователь может взаимодействовать с окружающим миром. Например, игрок может взять тот или иной предмет в руки, перенести его бросить и т. п. Также взаимодействие пользователя с объектами является физическим, то есть для того, чтобы нажать на кнопку пользователя надо поднести виртуальную руку и физически нажать на нее или для того, чтобы опустить рычаг пользователю необходимо взяться за подвижную часть рычага и опустить руку. Поэтому в основе любого приложения в виртуальной реальности стоит система интерактивных взаимодействий.

Система интерактивных взаимодействия состоит из:

- Виртуальной руки – это некоторый объект, который моделирует реальную руку в виртуальном пространстве. Виртуальная рука привязана к контроллеру, с помощью которого пользователь может осуществлять управление. Положение контроллера отслеживается в пространстве и соответствует положению виртуальной руки в пространстве приложения.
- Интерактивные объекты – это некоторые объект с которыми может взаимодействовать пользователь. Причем взаимодействие может быть разное – пользователь может просто ухватиться за объект рукой или взять его в руку. Во втором случаи объект должен прикрепится к виртуальной руке и менять свое положение в зависимости от положения виртуальной руки.
- Тактильная обратная связь. Для большего погружения пользователя необходимо чтобы виртуальная среда передавала максимальное

количество сенсорных сигналов, которые постоянно поступаю в наш мозг в реальности. Например, когда человек берет предмет в руку он чувствуем его вес, температуру, шершавость и т. д. Симулировать подобные сигналы можно с помощью вибрации контроллеров. Меняя частоту, амплитуду и продолжительность вибрации, можно передавать пользователю информацию об объекте. Например, если объект имеет большую массу или высокую температуру, можно выключить сильную вибрацию на контроллере, чтобы пользователю было не комфортно взаимодействовать с этим предметом, другой пример, когда пользователь совершает какое-то действие с предметом, скажем закручивает болт, степень прогресса закручивания можно передать через вибрацию.

На основе выше сказанного была спроектирована следующая система интерактивных взаимодействий – рисунок 15

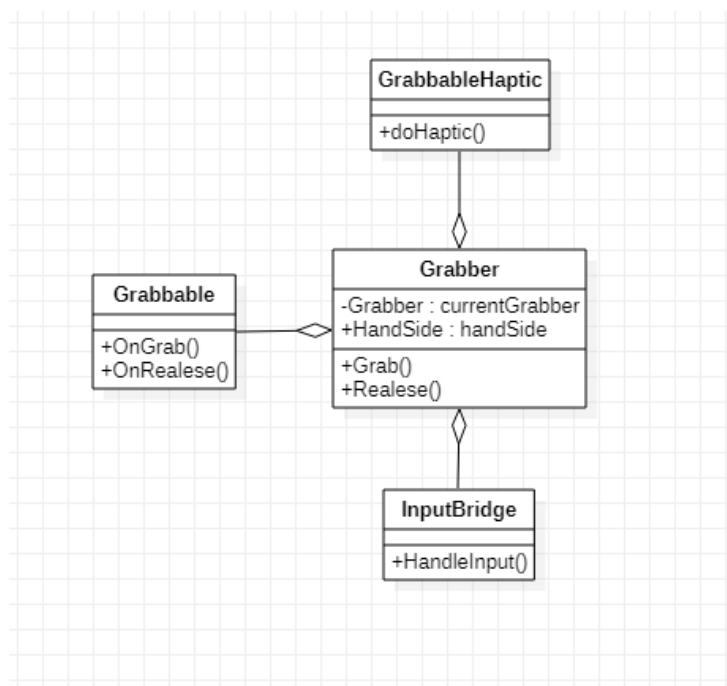


Рисунок 15 – UML диаграмма системы интерактивного взаимодействия

В данной системе:

- Grabbable – это абстрактный интерактивный предмет;
- Grabber – это абстракция над виртуальной рукой;

- Grabbable haptic – управляет вибрацией контроллера;
- Input bridge – реализует паттерн проектирования «мост».

Обработывает нажатия на кнопки контроллера и уведомляет остальные системы о нажатии тех или иных клавиш.

3.2 Интерактивные объекты

Под интерактивными объектами понимается ряд конкретных объектов, с которыми может взаимодействовать пользователь. Примерами интерактивных объектов являются тумблеры, рычаги, кнопки и т.п.

В таблице 2 приведены все объекты, с которыми может взаимодействовать пользователь в тренажере «Подстанция 220 кВ».

Таблица 2 – Интерактивные объекты

Наименование	Описание	Использование
Накладка	Устройство, которое представляет из себя рубильник с 2 положениями «Введено» и «выведено»	Переключение рубильника с помощью использования руки
Предохранители	Аппарат, предназначенный для отключения защищаемой цепи размыканием или разрушением специально предусмотренных для этого токоведущих частей под действием тока, превышающего определённое значение.	Возможность вставить предохранитель в определённый слот или вытащить его из этого слота с помощью движения рук
Рубильник	Аппарат с ручным приводом и металлическими ножевыми контактами, входящими в неподвижные пружинящие контакты, применяемый в электротехнических цепях для включения/отключения нагрузки с большой силой тока	Перемещение положения с помощью движения рук

Крышка блока	Электрический коммутационный аппарат или устройство, применяется для замыкания и/или размыкания электрической цепи или группы электрических цепей.	Возможность вставить предохранитель в определенны слот или вытащить его из этого слота с помощью движения рук
Ключ	Электрический коммутационный аппарат или устройство, применяется для замыкания и/или размыкания электрической цепи или группы электрических цепей.	Изменения положения ключа с помощью поворота руки
Автомат	Прямоугольное устройство с двумя кнопками, при нажатии одной из которых первая включается, и другая выключается	Переключение состояния автомата путем нажатия кнопок на нем
Привод	Управляемая электромеханическая система, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую и обратно и управления этим процессом.	Поворот элемента объекта с помощью рук разъединяет два контакта

Все интерактивные объекты можно разделить на 3 типа: рычаг, ручка и кнопка (Рисунок 16).

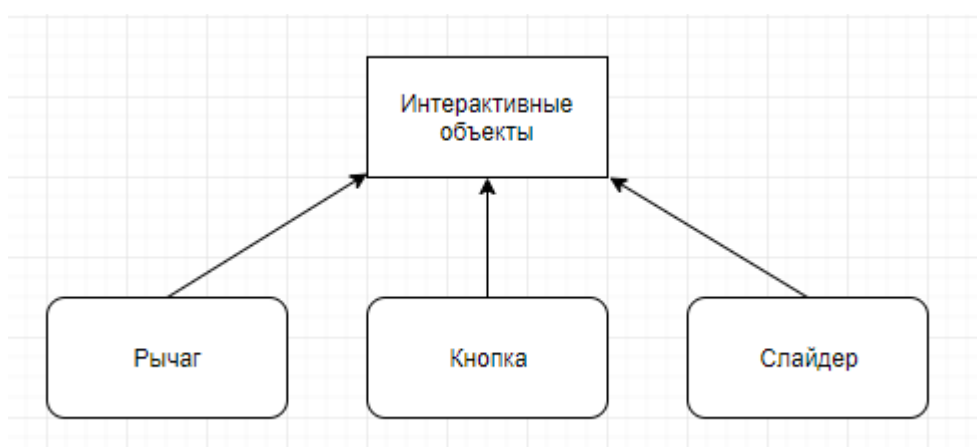


Рисунок 16 – Диаграмма интерактивных объектов в тренажере

Таким образом система интерактивных объектов будет выглядеть следующим образом – рисунок 17

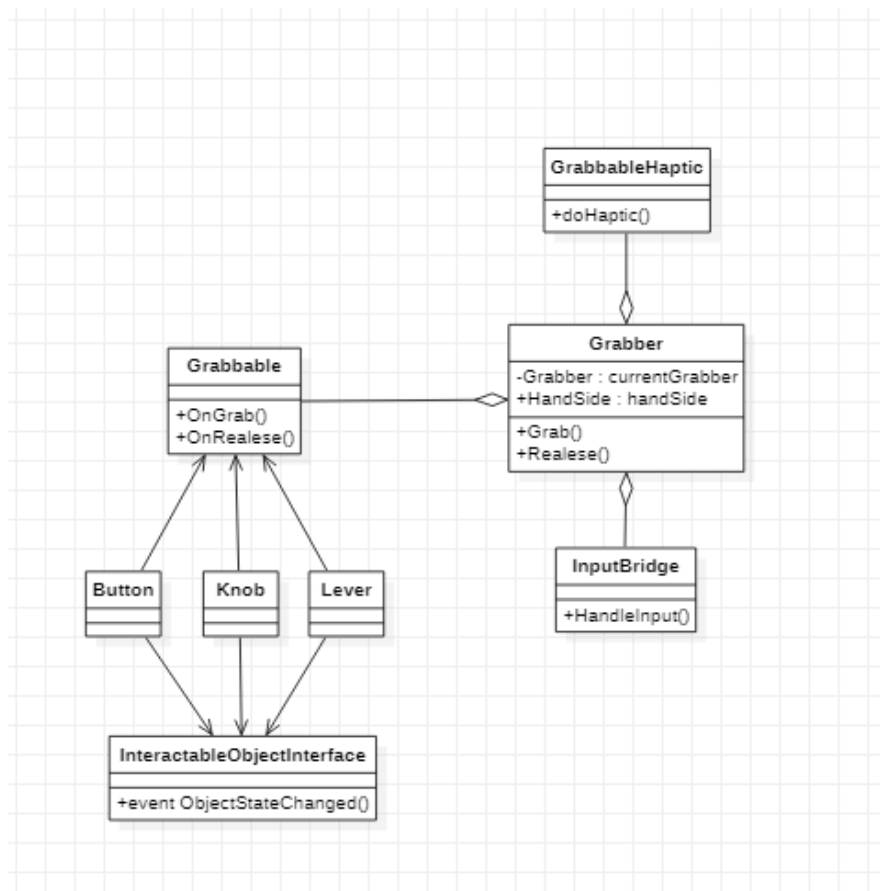


Рисунок 17 – UML диаграмма системы интерактивного взаимодействия

Все интерактивные объекты реализуют интерфейс «InteractableObjectInterface». Данный интерфейс содержит событие, которое должно испускаться, когда состояние интерактивного объекта изменилось – например, пользователь нажал кнопку, опустил рычаг и т. п.

3.3 Система передвижения

Передвижение пользователя в виртуальной реальности можно реализовать двумя способами:

- Плавное передвижение. При таком способе передвижение происходит небольшое смещение модели игрока каждый кадр в зависимости от положения стика на контроллере.

- Телепортация. При данном типе передвижения, когда пользователь отклоняет стик обрисовывается маркер на некотором расстоянии, как правило максимальное расстояние может достигать пары метров, при отпускании стика пользователь переносится в ту точку, в которой обрисовывался маркер. Таким образом пользователь может преодолевать большие расстояния и забирается в труднодоступные места.

Поворот пользователя в виртуальном пространстве может осуществляться также двумя способами:

- Плавный поворот. Поворот осуществляется с помощью стика, при отклонении стика каждый кадр модель игрока поворачивается на небольшое расстояние. Подобная разновидность поворота используется редко так как при таком повороте у пользователя могут возникнуть симптомы морской болезни. Симптомы обычно включают тошноту, рвоту, холодный пот, головную боль, головокружение, усталость, потерю аппетита и повышенное слюноотделение. Поэтому в разрабатываемом тренажере данный вид поворота не будет реализован.

- Поворот на фиксированный угол. При отклонении стика пользователем, происходит мгновенный поворот на определенный, заранее заданный угол.

Помимо этого, на модель пользователя должна действовать сила гравитации, как в реальном мире.

На основе всего вышеизложенного была спроектирована следующая система передвижения – рисунок 18

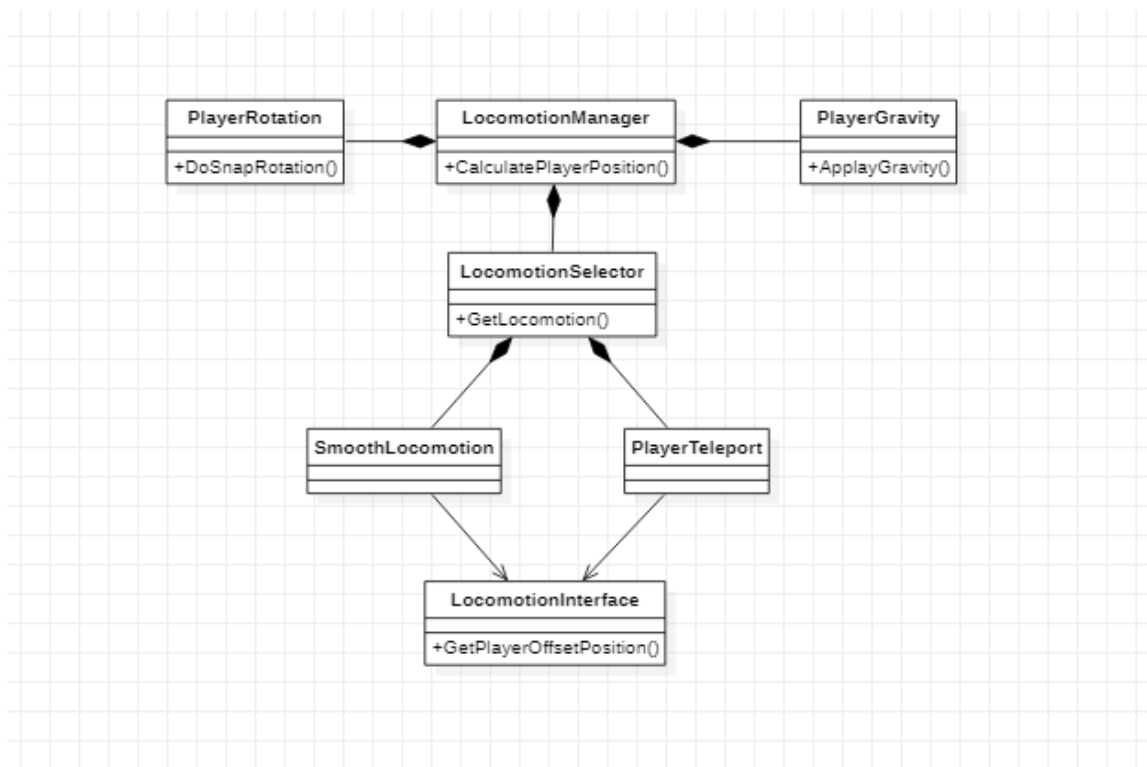


Рисунок 18 – UML диаграмма систем передвижения

В основе системы передвижения лежит компонент, который представляет из себя менеджер передвижения, задача данного менеджера рассчитать финальное смещение модели игрока в виртуальном пространстве в текущем кадре. Для этого менеджер опрашивает компоненты, которые отвечают за поворот, перемещение и применение силы гравитации.

Так как система предполагает два типа перемещения – плавное перемещение и телепорт, был добавлен интерфейс, который реализуют компоненты, отвечающие за тот или иной тип перемещения игрока. Для упрощения взаимодействия менеджера передвижения и конкретных реализаций перемещения игрока, был добавлен вспомогательный класс, который предоставляет менеджеру ссылку на интерфейс перемещения в зависимости от того, которое сейчас используется игроком.

3.4 Вывод по главе 3

В данной главе были спроектированы две ключевые системы тренажера:

- Система интерактивных взаимодействий;
- Система передвижения.

В системе интерактивных объектов ключевую роль играют три компонента:

- Grabber. Предоставляет из себя виртуальную руку, с помощью которой пользователь может взаимодействовать с окружением.
- Grabbable. Предоставляет из себя интерактивный объект, который пользователь может взять в руку или ухватиться за него.
- Grabbable haptic. Управляет вибрациями на контроллере. Вибрации позволяет увеличить уровень погружения, а следовательно, и вовлеченность пользователя в игровой процесс.

Были рассмотрены все объекты, с которыми пользователь взаимодействует в реальности на подстанции 220 кВ. Данные объект были обобщены по принципу действия и на основании этого было предложены разделить все интерактивные объекты на три типа – кнопка, рычаг, слайдер.

Были приведены основные способы передвижения в виртуальном пространстве:

- Плавное передвижение. Перемещение модели игрока на небольшое расстояние каждый кадр;
- Передвижение с помощью телепортов. Пользователь мгновенно перемещается в указанную точку в пространстве;
- Поворот на фиксированный угол. Осуществляется мгновенный поворот на фиксированное количество градусов.

На основе рассмотренных способов была спроектирована система, которая отвечает за передвижения пользователя.

4 Разработка систем тренажера

В данном разделе речь об разработке системы интерактивных объектов и системы передвижения.

4.1 Инструменты разработки

Далее будут рассмотрены основные инструменты разработки, а именно игровой движок и фреймворк для VR.

Выбор инструментов разработки обусловлен тем, что в дальнейшем планируется интегрировать данный тренажер в приложение, которое содержит в себе ряд тренажеров, объединённых общей тематикой. В данном приложении основными используемыми технологиями являются Unity и OpenXR, соответственно для интеграции разрабатываемого тренажера необходимо использовать именно эти технологии.

4.1 Unity 3D

Игровой движок Unity 3D, созданная компанией Unity Technologies в 2005 году, является одним из наиболее широко используемых систем для разработки игр [35].

Из основных преимуществ Unity 3D можно выделить:

- Unity является кроссплатформенным. Проект, созданный с помощью Unity, может быть собран на огромное количество платформ как мобильных, так и настольных
- Unity имеет собственный магазин с различными ассетами - «Unity Asset Store». В магазине представлено огромное количество различных ассетов на различные тематики.
- Unity – популярны движок для разработки приложений, поэтому существует огромное количество обучающих матерьялцов и книг на различные тематики.

Из основных минусов движка Unity 3D можно выделить:

- Закрытый исходный код;

- В приоритете разработки обновлений движка - мобильные платформы;

4.1.2 OpenXR

«OpenXR стремится упростить разработку программного обеспечения AR/VR, позволяя приложениям работать с более широким спектром аппаратных платформ без необходимости портировать или переписывать их код [36]. С помощью OpenXR у разработчиков появляется возможность создавать кроссплатформенные AR/VR приложения

Без межплатформенного стандарта приложения должны использовать API каждой отдельной платформы. Такой подход усложняет процесс разработки, потому что приходится разрабатывать и поддерживать код для каждой отдельной платформы (рисунок 19).

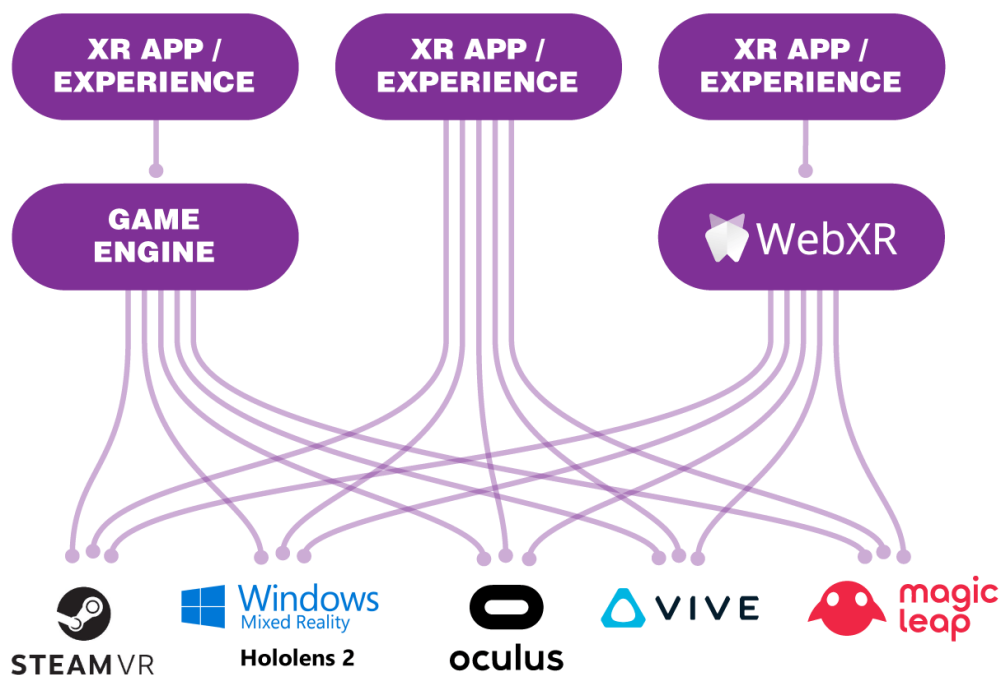


Рисунок 19 – Проект без использования OpenXR

OpenXR решает данную проблему, предоставляя единый интерфейс взаимодействия в независимости от целевой платформы (рисунок 20).

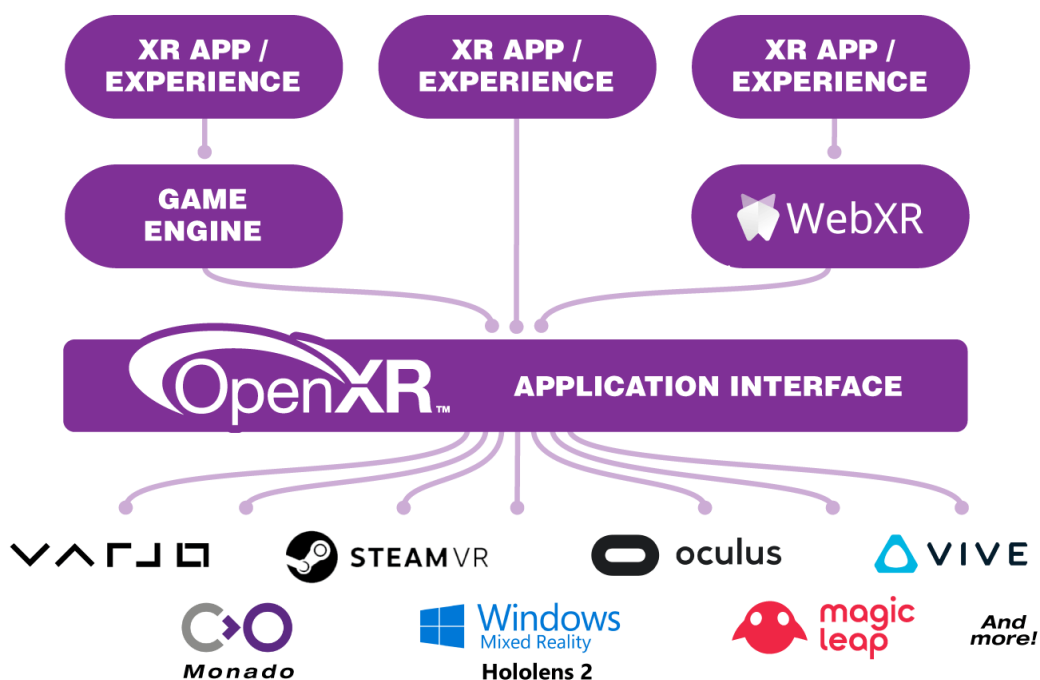


Рисунок 20 – Проект с использованием OpenXR

4.1.3 High Definition Render Pipeline (HDRP)

High Definition Render Pipeline (HDRP) – это графический конвейер, доступный в Unity, который основан на физически точном расчете освещения в сцене [37].

HDRP позволяет воспроизводить широкий спектр реалистичных непрозрачных и прозрачных поверхностей — от сочетания сложных диэлектрических и металлических поверхностей до более сложных с вычислительной точки зрения материалов, таких как волосы, ткань, глаза.

4.2 Состав и параметры технических средств, под которые совершается разработка

Тренажер разрабатывается под мобильную систему виртуальной реальности «Oculus quest 2» [38]. Данная система обладает следующими техническими характеристиками:

- Экран: LCD, разрешение 1832×1920px на один глаз;
- Угол обзора: 90 градусов;
- Частота обновления экрана: нативная — 90Гц, рабочая — 72Гц;
- Межзрачковое расстояние: 3 режима 58мм, 63мм и 68 мм;
- Трекинг: Внутренний трекинг, 6 степеней свободы;
- Процессор: Qualcomm® Snapdragon XR2, Adreno 650;
- Оперативная память: 6Гб LPDDR5;
- Встроенная память: опции 64/256Гб;
- Платформа: Oculus Mobile (на базе Android 10);
- Батарея: 3640 мАч с 10 Вт зарядкой;
- Вес шлема: 503 г;
- Подключение: 1x USB-C;
- Минимальное игровое пространство: 2 x 2 м.

Для передвижения пользователей и взаимодействия с окружением в системе виртуальной реальности «Oculus quest 2», используются контроллеры «Oculus Touch» Это два вытянутых пластиковых контроллера с кольцом сверху. Они выполнены из пластика. На каждом контроллере есть кнопки хвата, триггер, кнопки АВ/ХУ и аналоговый стик.

4.3 Разработка системы интерактивных объектов

Основываясь на результат проектирования, которые были предоставлены в предыдущей глава, была разработана следующая система интерактивных объектов – рисунок 21 (приложение Б).

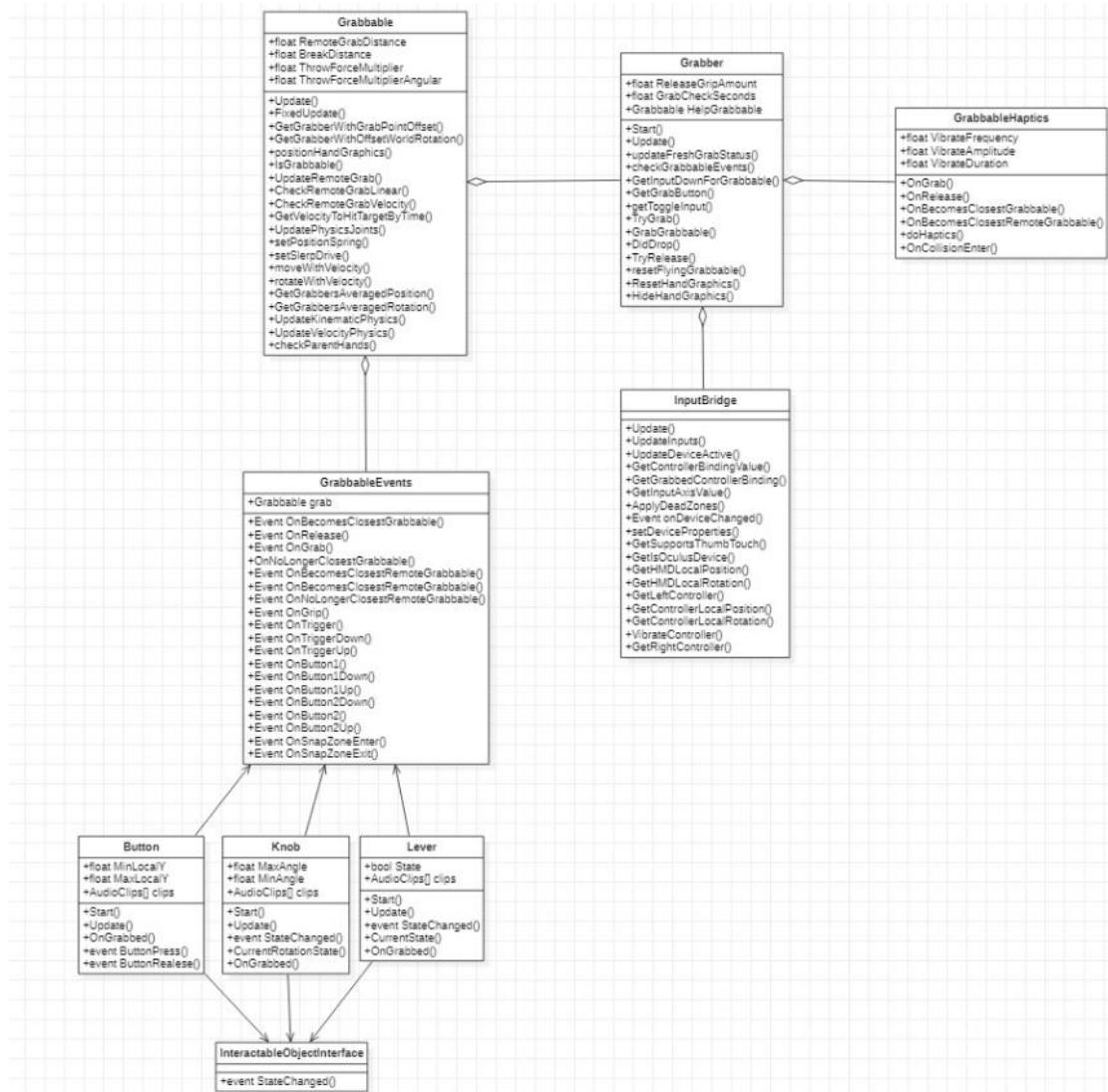


Рисунок 21 - UML диаграмма классов интерактивных объектов

В таблице 3 представлено краткое описание скриптов, которые входят в данную систему

Таблица 3 – Краткое описание скриптов системы интерактивных объектов

Наименование	Описание
Grabber	Скрипт, отвечает за захват предметов, которые являются Grabbale в руку
InputBridge	Скрипт, который контролирует

	<p>доступ к нажатиям Oculus, перехватывает все вызовы, обрабатывает их, и уведомляет своих подписчиков что было совершено нажатие на ту или иную кнопку на контроллере</p>
Grabbable	<p>Данный скрипт прикрепляется к объектам, которые являются интерактивными и которые можно взять в руку</p>
GrabbableEvents	<p>Скрипт, который перехватывает все события, связанные с взаимодействием с интерактивным объектом, и предоставляет удобный интерфейс к данным событиям</p>
Button	<p>Скрипт, который представляет из себя интерактивный объект — кнопку</p>
Knob	<p>Скрипт, который представляет из себя интерактивный объект — ручку</p>
Lever	<p>Скрипт, который представляет из себя интерактивный объект - рычаг</p>
InteractableObjectInterface	<p>Интерфейс, который реализуют все интерактивные объекты, содержит в себе событие, которое сигнализирует о изменении состояния объекта</p>

4.4 Разработка системы передвижения

Основываясь на результат проектирования, которые были предоставлены в предыдущей глава, была разработана следующая система передвижения – рисунок 22 (приложение В).

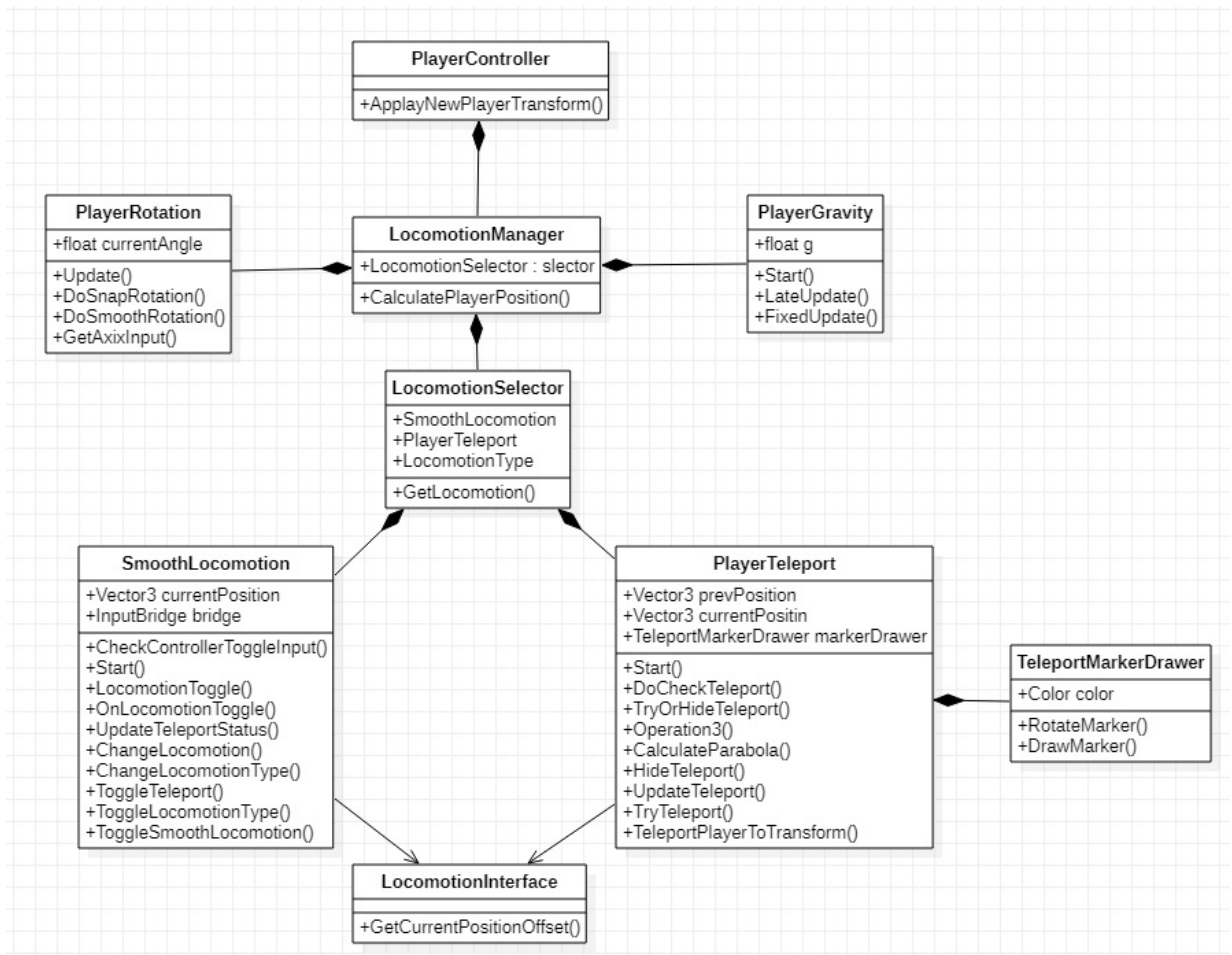


Рисунок 22 - UML диаграмма классов передвижения

В таблица 4 представлено краткое описание скриптов системы передвижения

Таблица 4 – Краткое описание скриптов системы передвижения

Наименование	Описание
LocomotionInreface	Интерфейс, который реализуют скрипты, отвечающие за

	передвижение игрока в игровом мире
SmoothLocomotion	Реализует интерфейс — LocomotionInreface. Отвечает за плавное передвижения игрока с помощью стика на контроллере
PlayerTeleport	Реализует интерфейс — LocomotionInreface. Отвечает за передвижение игрока с помощью телепортов
TeleportMarkerDrawer	Вспомогательный скрипт, отвечающий за отрисовку маркера, который указывает куда будет совершен телепорт
Locomotion Selector	Отвечает за создание конкретных экземпляров передвижения (SmoothLocomotion и PlayerTeleport) Возвращает интерфейс (LocomotionInreface) в зависимости от выбранного типа передвижения
PlayerRotation	Отвечает за поворот игрока с помощью стика на контроллере
PlayerGravity	Применяет к игроку гравитацию
LocomotionManager	Менеджер управляющий передвижением игрока. Каждый кадр опрашивает вспомогательные классы

	(LocomotionInreface,PlayerRotation, PlayerGravity) и составляет финальное значение смещения игрока в кадре
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4.5 Результаты разработки системы интерактивных объектов

На рисунке 23 изображён пример того, как пользователь берет интерактивный объект в руку.



Рисунок 23 – Пример хватание предмета

На рисунке 24 изображен пример взаимодействия пользователя с кнопкой.



Рисунок 24 – Взаимодействия пользователя с кнопкой

На рисунке 25 изображен пример взаимодействия пользователя с рычагом.

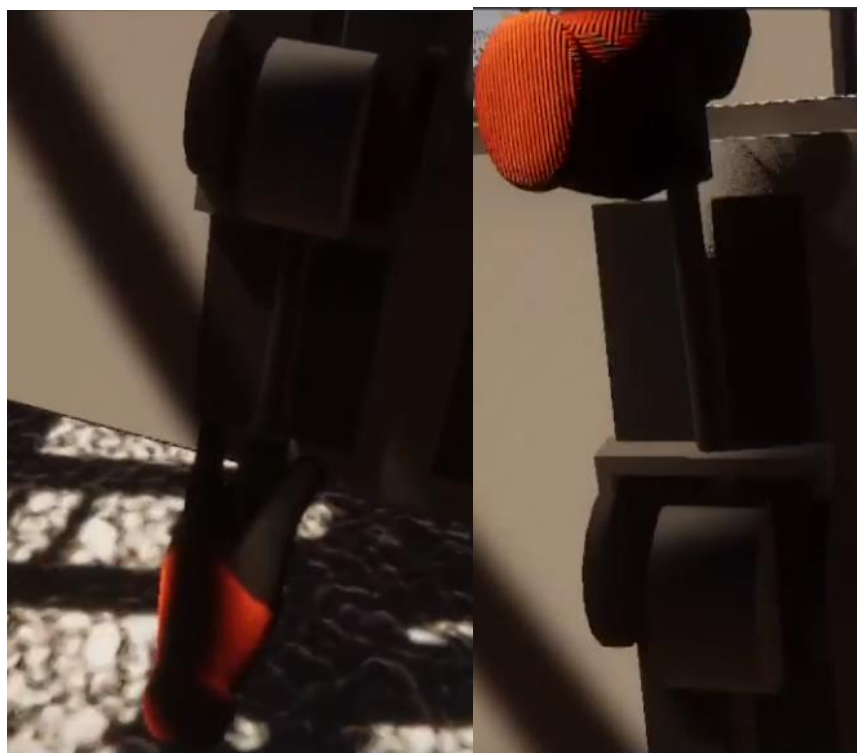


Рисунок 25 – Взаимодействия пользователя с рычагом

На рисунке 26 изображен пример взаимодействия пользователя со слайдером.



Рисунок 26 – Взаимодействия пользователя со слайдером

4.6 Результаты разработки системы передвижения

На рисунке 27 изображён пример перемещения модели пользователя с помощью плавного перемещения.



Рисунок 27 – Плавное передвижение

На рисунке 28 изображён пример перемещения модели пользователя с помощью телепорта.

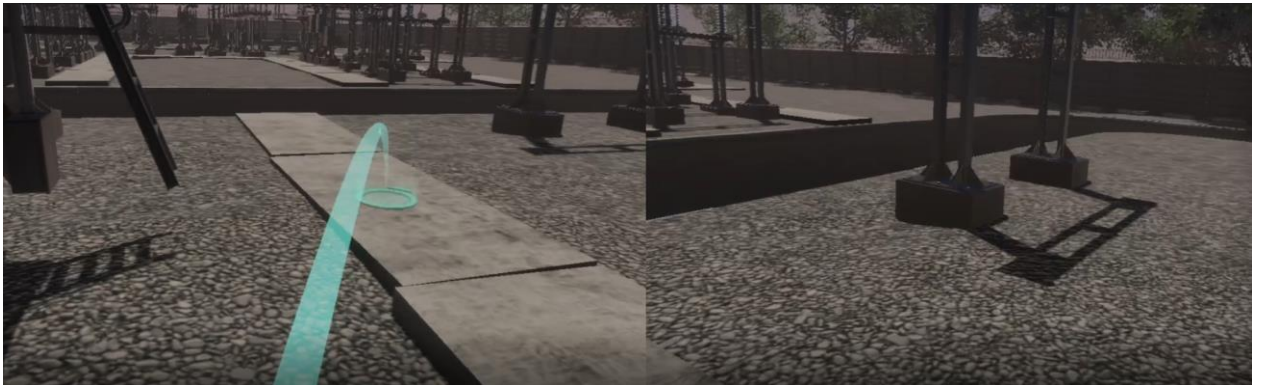


Рисунок 28 – Передвижение с помощью телепорта

На рисунке 29 изображён пример поворот модели пользователя на фиксированный угол.

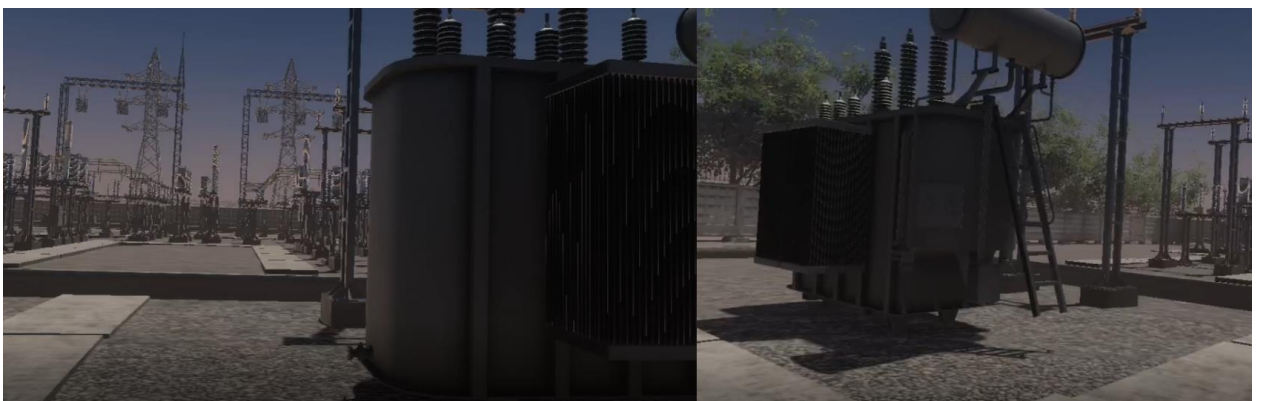


Рисунок 29 – Поворот модели пользователя

4.7 Вывод по главе 4

В данной главе был описан процесс разработки двух основных систем тренажера – системы интерактивных объектов и системы передвижения. Разработка велась, основываясь на результатах предыдущей главы, в которой было описан процесс проектирования.

Были описаны инструменты, которые были использованы в процессе разработки

Были приведены диаграммы классов для каждой из разработанных систем, а также было приведено краткое описание каждого компонента, который входит в систему.

Были предоставлены результаты разработки.

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Целью данной главы ВКР является оценка эффективности разработки тренажера "Подстанция 220 кВ" под мобильное устройство VR. Тренажер создан для обучения операторов правильному вводу и выводу автотрансформатора в эксплуатацию.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Обучение виртуальной реальности — это цифровое моделирование реалистичных сценариев в учебных целях. Учащиеся попадают в активную обучающую среду на 360°, знакомясь с образами и звуками, растворяющими барьер между виртуальной и реальной реальностью. Используя гарнитуру и контроллеры, учащиеся могут свободно смотреть, говорить и перемещаться в виртуальной 3D-среде, взаимодействуя с смоделированными реальными инструментами, механизмами и другими учащимися, и инструкторами. Таким образом, средства виртуальности реальности являются эффективным инструментом для обучения новым специальностям на производстве. Основной задачей выпускной квалификационной работы является проектирование и разработка тренажера виртуальной реальности «Подстанция 220кВ», которой симулирует работу операторов на электростанцию. Таким образом, основным потенциальным потребителем являются компании, чей профиль – энергетика. Например, такие компании как ЗАО «НПФ «ЭНЕРГОСОЮЗ» или ООО «Риттал». Помимо компаний, занимающихся электроэнергетикой, в результатах исследования могут быть заинтересованы учебные заведения, которые с помощью разрабатываемого продукта могут обучать студентов соответствующих специальностей.

5.1.2 Анализ конкурентных решений

При разработке приложения очень важно уделить внимание изучению ее конкурентоспособности. Для того, чтобы проект был конкурентоспособным, необходимо провести детальный анализ наиболее популярных VR тренажеров, связанных с электроэнергетикой: PromVR (к1), Knauf (к2), DreamPort (к3).

В качестве факторов конкурентоспособности были выбраны простота использования системы, удобный интерфейс пользователя, функциональные возможности, наличие системы обучения, потребность в ресурсах памяти. Детальный анализ целесообразно проводить с помощью оценочной карты, которая представлена в Таблице 5.

Таблица 5 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
Простота использования системы	0,10	5	4	5	5	0,50	0,40	0,50	0,50
Удобный интерфейс пользователя	0,10	4	4	3	3	0,40	0,40	0,30	0,30
Система передвижения	0,30	4	5	3	2	1,20	1,50	0,90	0,60
Система интерактивных объектов	0,08	5	5	4	3	0,40	0,40	0,32	0,24
Потребность в ресурсах памяти	0,08	5	5	4	4	0,40	0,40	0,32	0,32

Экономические критерии оценки эффективности									
Цена	0,20	5	2	4	5	1,00	0,40	0,80	1,00
Послепродажное обслуживание	0,05	5	3	5	5	0,25	0,15	0,25	0,25
Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	5	5	5	0,45	0,45	0,45	0,45
Итого	1					4,6	4,1	3,84	3,66

Анализ конкурентных решений определяется по Формуле 1:

$$K = \sum_{i=1}^N V_i + B_i \quad (1),$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурентного решения;

V_i – вес i -го критерия (в долях единицы);

B_i – балл i -го критерия (от 1 до 5);

N – количество критериев;

Исходя из полученных результатов, оценка основных технических и экономических характеристик конкурентных программных решений показывает, что разрабатываемое приложение является конкурентоспособным по сравнению с рассмотренными аналогами.

Основным недостатками конкурентных программных продуктов являются ограниченность функционала или сложность использования из-за перегруженности интерфейса.

5.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Степень готовности научного проекта к коммерциализации можно оценить с помощью нескольких критериев. Для оценивания есть специальный бланк оценки, представленный в таблице 6.

Таблица 6 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	3

12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	52	54

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) равна

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (2),$$

Значение $B_{\text{сум}}$ получилось 52 и 54, это свидетельствует о том, что перспективность разработки, с точки зрения инвестирования, является выше средней. Данная разработка перспективная и практически готова к коммерциализации. Необходимо ещё дополнительно проработать стратегию внедрения данной технологии на широкий рынок.

5.1.4. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Наиболее приемлемым методом коммерциализации приложения может стать организация совместного предприятия. Совместное предприятие позволит объединить команду разработчиков приложения, а также проводить автономное совершенствование продукта. Безусловно, помимо команды разработчиков в такое предприятие следует привлечь специалистов по маркетингу и правовым вопросам организации деятельности.

Очевидное достоинство организации такого предприятия состоит в том, что все его ресурсы направлены на развитие одного продукта, таким образом увеличивается эффективность развития и продвижения разрабатываемого приложения.

5.2 SWOT-анализ

SWOT представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, он позволяет выявить его сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут проявиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Эти соответствия помогают выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT-анализа. Матрица SWOT-анализа представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отсутствие полных аналогов на рынке; – современная графика; – высококачественные и точные модели реальных приборов – простота в настройке и использовании; – использование современных технологий в процессе разработки 	<p>Слабые стороны проекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – необходимость специального оборудования – шлема виртуальной реальности; – отсутствие технической поддержки после реализации.
<p>Возможности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – обучение операторов без угрозы их жизням 	<p>Удобный интуитивно понятный графический интерфейс</p>	<p>Техническая поддержка продукта позволит контролировать и</p>

– интуитивно понятный интерфейс; – простота настройки; – возможность сэкономить на обучении операторов, так как поездка и проживание на реальном объекте гораздо дороже	эффективность использования.	исправлять неполадки системы.
Угрозы: – высокие системные требования	Низкоуровневые оптимизации требовательных к ресурсам.	

5.2.1 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы:

1. Цели и результат проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта предоставлена в таблице 8.

Таблица 8 – Информация по заинтересованным сторонам проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ТПУ	Предоставление результатов на конференциях, научных выставках. Внедрение разрабатываемого тренажера, как элемент обучения студентов некоторых специальностей
Компании чей профиль электроэнергетика	Обучение сотрудников

2. Организационная структура проекта. Информация предоставлена в табличной форме (таблица 9)

Таблица 9 – Организационная структура проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.

1	Кочков Н. В., ТПУ, магистр	Инженер- программист	Основной разработчик проекта	600
2	Шерстнев В. С. ТПУ, доцент	Консультации по основным вопросам темы	Руководитель проекта	104
ИТОГО:				704

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

Для организации и систематизации работы сформирован перечень этапов, работ и распределения исполнителей представленный в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределения исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
	2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Аналитический обзор	3	Подбор и изучение литературы по теме	Инженер
	4	Выбор инструментов разработки	Инженер
Проектирование системы	5	Проектирования базовых систем тренажера	Инженер
	6	Проектирование дополнительных и вспомогательных систем для тренажера	Инженер
Реализация и тестирование	7	Разработка скриптов, создание моделей	Инженер
	8	Разработка графического конвейера	Инженер
	9	Тестирование функции	Инженер
Оценка результатов и оформление отчетности	10	Согласование выполненной работы	Руководитель, инженер
	11	Оценка результатов	Руководитель, инженер
	12	Оформление пояснительной записки и необходимой документации	Инженер

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

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

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы на чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

По формуле 4 исходя из ожидаемой трудоемкости работ определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (4)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

Наиболее удобным и наглядным графиком проведения научных работ является горизонтальный ленточный график в форме диаграммы Ганта.

Перевод длительности каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни ведется по формуле 5:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6)$$

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.

Согласно производственному календарю (для 6-дневной рабочей недели) в 2020 году 366 календарных дней, из них 66 дней – выходные и праздничные дни. Таким образом, согласно формуле 6 коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 66} = 1,22.$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 11.

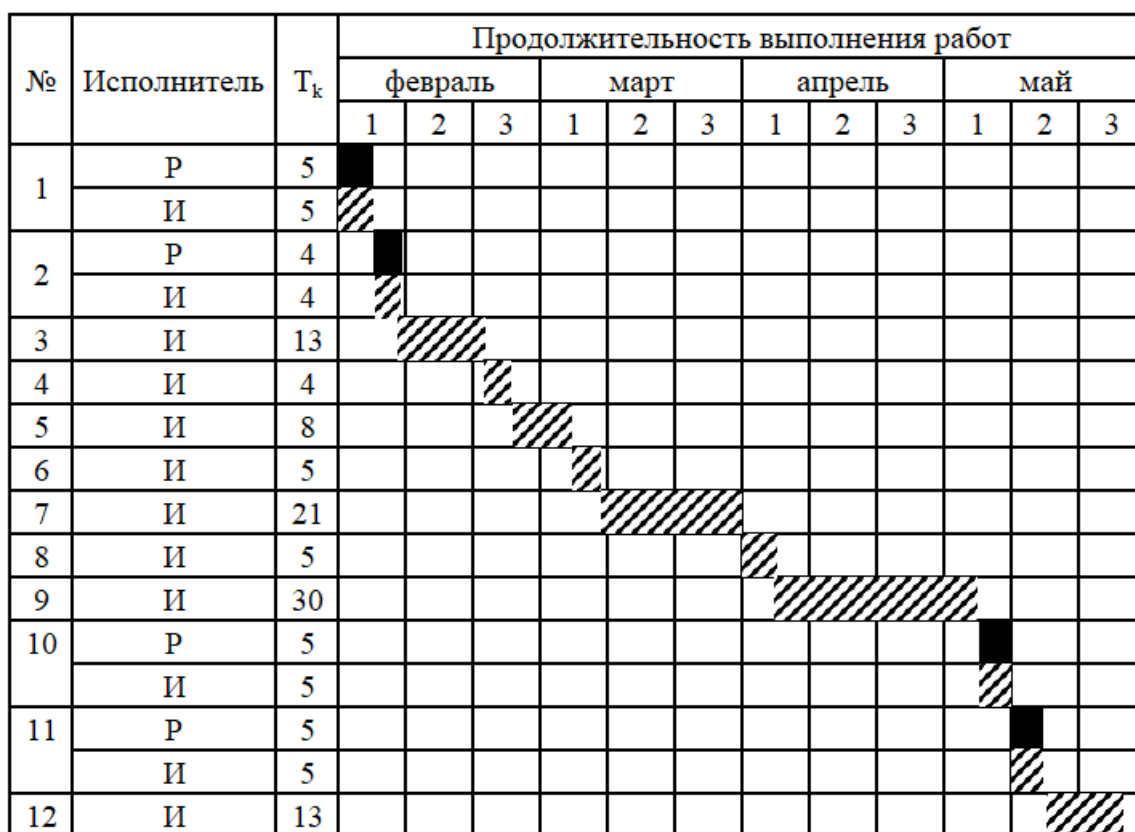
Таблица 11 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Исполнители	Трудоемкость работ, чел.-дн			Длительность работ, дни	
			t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	$T_{\text{р}}$	$T_{\text{к}}$
1	Составление и утверждение технического задания	Р	2	5	3,2	4	5
		И	2	5	3,2	4	5
2	Календарное планирование работ по теме	Р	2	3	2,4	3	4
		И	2	3	2,4	3	4
3	Подбор и изучение литературы по теме	И	7	14	9,8	10	13
4	Выбор инструментов разработки	И	2	3	2,4	3	4
5	Проектирования базовых систем тренажера	И	4	7	5,2	6	8
6	Проектирование дополнительных и вспомогательных систем для тренажера	И	2	5	3,2	4	5
7	Разработка скриптов, создание моделей	И	14	21	16,8	17	21
8	Разработка графического конвейера	И	3	5	3,8	4	5
9	Тестирование функции	И	21	28	23,8	24	30

10	Согласование выполненной работы	Р	3	5	3,8	4	5
		И	3	5	3,8	4	5
11	Оценка результатов	Р	2	5	3,2	4	5
		И	2	5	3,2	4	5
12	Оформление пояснительной записки и необходимой документации	И	7	14	9,8	10	13
Итого		Руководитель				15	19
		Инженер				93	118

Р – научный руководитель; И – инженер-программист

На основе таблицы 11 построен календарный план-график исследования (диаграмма Ганта), представленный на рисунке 30.



■ – руководитель ▨ – инженер

Рисунок 30 – Календарный план-график проведения исследования

При формировании бюджета используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на материалы

- затраты на специальное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Таблица 12 – Затраты на материалы

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $\text{Э}_{\text{ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	744*0,6	0,3	468,72
Итого:	468,72		

Статья затрат «Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) целей» включает в себя затраты на приобретение специального оборудования. При создании информационной системы были использованы два персональных компьютера (руководителя и студента), стоимость 40000 и 60000 рублей, суммарная стоимость 100000 рублей.

Согласно постановлению Правительства РФ №1 от 01.01.2002 (ред. от 27.12.2021) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы», персональные компьютеры относятся к группе 330.28.23.23 «Машины офисные прочие», срок полезного использования которых составляет 2-3 года [39].

Норма амортизации рассчитывается по Формуле 1:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% \quad (1),$$

где A_n – норма амортизации в процентах;

n – срок полезного использования в годах.

Подставив срок полезного использования ПК в Формулу 1, получим $A_H \approx 33,33\%$.

Годовые амортизационные отчисления вычисляются по Формуле 2:

$$A_{\Gamma} = \frac{(C * A_H)}{100\%} \quad (2),$$

где A_{Γ} – годовые амортизационные отчисления в рублях;

C – первоначальная стоимость оборудования;

A_H – норма амортизации в процентах.

В течение отчетного года амортизационные отчисления по объектам основных средств начисляются ежемесячно независимо от применяемого способа начисления в размере 1/12 годовой суммы [40]. Ежемесячные амортизационные отчисления находят по Формуле 7:

$$A_M = \frac{A_{\Gamma}}{12} \quad (7),$$

где A_M – ежемесячные амортизационные отчисления в рублях;

A_{Γ} – годовые амортизационные отчисления в рублях.

Итоговая сумма амортизационных отчислений определяется по Формуле 8:

$$A = A_M * n \quad (8),$$

где A – годовая сумма амортизационных отчислений в рублях;

A_M – ежемесячные амортизационные отчисления в рублях;

n – срок полезного использования ПК для исследования в месяцах.

Срок использования ПК для написания ВКР – 6 месяцев.

Подставив известные значения в формулы 1–4, найдем годовые, ежемесячные и итоговые амортизационные отчисления соответственно:

$$A_{\Gamma} = \frac{100000 * 33,33\%}{100\%} = 33333 \text{ руб.}$$

$$A_M = \frac{33333}{12} = 3030 \text{ руб.}$$

$$A = 3030 * 6 = 18180 \text{руб.}$$

Исследование выполнялось с использованием программного обеспечения с бесплатной студенческой лицензией, поэтому амортизация на ПО не рассчитывается, а значит, итоговая сумма амортизации основных фондов равна сумме амортизации двух ПК, то есть 18180 рублей. Это действительно для всех вариантов проведения научно-исследовательской работы.

Статья затрат «Основная заработная плата исполнителей» включает основную заработную плату, премии и доплаты всех исполнителей проекта. В качестве исполнителей проекта выступают магистрант и научный руководитель.

Заработная плата рассчитывается по Формуле 9:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (9),$$

где $Z_{зп}$ – заработная плата исполнителя;

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата исполнителя (12%-15% от размера основной заработной платы).

Основную заработную плату можно получить по Формуле 10:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p * (1 + K_{пр} + K_d) * K_p \quad (10),$$

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

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником в днях;

$K_{пр}$ – премиальный коэффициент (0,3);

K_d – коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

K_p – районный коэффициент (для Томска 1,3);

Среднедневную заработную плату можно получить по Формуле 11

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d} \quad (11),$$

где Z_m – месячный должностной оклад исполнителя;

M – Количество месяцев работы, равное:

При отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

При отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d - действительный годовой фонд рабочего времени персонала по разработке.

Должностные оклады исполнителей проекта представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Месячные должностные оклады исполнителей

Исполнитель	Районный коэффициент	Размер месячного оклада без учета районного коэффициента, рубли.
Научный руководитель (должность - доцент)	1,3	33664
Магистрант (ассистент)		21760

Баланс рабочего времени для 6-дневной рабочей недели представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	365
Нерабочие дни (выходные и праздничные)	66
Потери рабочего времени (отпуска и невыходы по болезни)	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	243

На основе Таблиц 13-14 и Формулы 11 была рассчитана среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн}}(\text{магистрант}) = \frac{21760 * 10,4}{243} = 931,3 \text{ рубля}$$

$$Z_{\text{дн}}(\text{руководитель}) = \frac{33664 * 10,4}{243} = 1440,8 \text{ рубля}$$

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Здн, руб.	Кпр	Кд	Кр	Тр, раб. дн.	Зосн, руб.
НР	1440,8	0,3	0,2	1,3	8	22476,48
ИМ	931,3	0,3	0,2	1,3	110	199763,85

Расчет затрат на дополнительную заработную плату приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Затраты на дополнительную заработную плату исполнителям

Исполнитель	З _{осн} , руб	k _{доп}	З _{доп} , руб
НР	22476,48	0,12	2697,18
ИМ	199763,85	0,12	23971,66

Расчет затрат на отчисления во внебюджетные фонды приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет затрат на отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	З _{осн} , руб	З _{доп} , руб	k _{внеб}	З _{внеб}
НР	22476,48	2697,18	0,302	7602,45
ИМ	199763,85	23971,66		67568,12

Накладные расходы (Таблица 18) учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: бумагу, канцелярию, печать документов, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. Их величина определяется согласно следующей Формуле 14:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) * k_{\text{нр}} \quad (14),$$

где $k_{нр}$ – коэффициент накладных расходов, принятый за 16%.

Расчет затрат на накладные расходы представлен в Таблице 18.

Таблица 18 – Накладные расходы

Статья	Сумма, руб.
Затраты на амортизацию основных средств	18180
Затраты на основную заработную плату	222240,33
Затраты на дополнительную заработную плату	26668,84
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	75170,57
Накладные расходы	54761,56

После того, как была подсчитана каждая из статей расходов, можно приступить к формированию общего бюджета затрат проекта. Итоговый бюджет затрат и для каждого из вариантов исполнения разработки представлен в Таблице 19.

Таблица 19 – Бюджет затрат научно-исследовательского проекта

Статья	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Затраты на материалы	-	468,72	468,72
Затраты на амортизацию основных средств	-	18180	18180
Затраты на основную заработную плату	222240,33	222240,33	222240,33
Затраты на дополнительную заработную плату	26668,84	26668,84	-

Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	75170,57	74672,75	66672,09
Накладные расходы	54761,56	54681,91	35558,45
Всего	397021,30	397542,55	343119,59

5.4 Определение сравнительной 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 по Формуле 15:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (15),$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется Формулой 16:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i \quad (16),$$

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.

Критерии, их весовые коэффициенты и оценки вариантов исполнения разработки, необходимые для расчета, представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Простота использования системы	0,1	4	4	5
2. Скорость разработки	0,1	3	4	5
3. Функциональные возможности	0,5	5	3	1
4. Надежность	0,3	5	3	1
5. Производительность	0,1	4	4	5
Итого	1			

$$I_{p-исп1} = 4 * 0,1 + 3 * 0,1 + 5 * 0,5 + 5 * 0,3 + 4 * 0,1 = 5,1$$

$$I_{p-исп2} = 4 * 0,1 + 4 * 0,1 + 3 * 0,5 + 3 * 0,3 + 4 * 0,1 = 3,6$$

$$I_{p-исп3} = 5 * 0,1 + 5 * 0,1 + 1 * 0,5 + 1 * 0,3 + 5 * 0,1 = 2,3$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{исп.i}$ определяется по Формуле 17:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}} \quad (17),$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволяет определить сравнительную эффективность проекта, представленную в таблице 21, и выбрать лучший вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта рассчитывается по следующей формуле 18:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}} \quad (18)$$

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	1	0,86

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5,15	3,60	2,30
3	Интегральный показатель эффективности	5,2	3,6	2,67
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,44		1,95

Итак, согласно значениям интегрального показателя эффективности, наиболее эффективным является вариант исполнения 1.

Первый вариант разработки имеет высокое значение интегрального показателя ресурсоэффективности и интегральный финансовый показатель. Данный вариант является самым дорогим, и обеспечивает максимальное удобство разработки и использования, производительности и скорость разработки.

5.5 Вывод по главе 5

Итак, в ходе выполнения части работы по финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережению был проведен анализ разрабатываемого исследования.

Во-первых, оценен коммерческий потенциал и перспективность проведения исследования. Результаты, полученные в ходе исследования, говорят о потенциале и перспективности на уровне выше среднего.

Во-вторых, проведено планирование НИР, а именно: определена структура и календарный план работы, трудоемкость и бюджет НИИ. Результаты соответствуют требованиям к ВКР по срокам и иным параметрам.

В-третьих, определена сравнительная эффективность исследования, что показывает, что выбранная реализация проекта является наиболее эффективной.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Исследовательская работа заключается в проектировании и разработке тренажера "Подстанция 220 кВ" под мобильное устройство VR. Целью тренажера является обучение операторов правильному вводу и выводу автотрансформатора в эксплуатацию.

Работа выполнялась в городе Томске в лаборатории университета и в домашних условиях в холодном и теплом периодах года. Так как приложение будет использоваться на рабочем месте оператора персонального компьютера, то в данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при использовании средств вычислительной техники. Также раздел включает в себя выявление возможных вредных воздействий на окружающую среду, программ по их снижению и экономии невозполнимых ресурсов и способах защиты в чрезвычайных ситуациях, которые могут возникнуть на рабочем месте.

Режим и особенности работы программиста-разработчика могут быть охарактеризованы значительным умственным напряжением, напряженностью и неподвижностью в шейно-грудном и поясничном отделах позвоночника, нагрузкой на зрительный аппарат, что в свою очередь приводит к появлению болезненным ощущениям в глазах, в запястьях, локтевых суставах, спине и пальцев рук, головным болям, к появлению усталости и к изменению состояния центральной нервной системы.

В процессе работы специалиста с разрабатываемой архитектурой при использовании персональной электронно-вычислительной машины (ПВЭМ) возможно образование твердых отходов, таких как отходы от продуктов питания, бумага, лампочки, батарейки, использованные картриджи от принтера, отходы личной гигиены, отходы от различных канцелярских принадлежностей и т.д.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Организация рабочего места с Персональным Компьютером обязательно должна учитывать требования безопасности, эргономики, технической эстетики и промышленных санитарных норм.

6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

В соответствии с Трудовым кодексом РФ [42] предусмотрена рациональная организация труда в течение смены, согласно которой:

- Длительность рабочей смены не должна превышать 8 часов;
- Установка двух регламентируемых перерывов – не менее 20 минут после 1-2 часов работы, а также не менее 30 минут после более, чем 2-х часов работы;
- Обеденный перерыв длится не менее 40 минут, может быть установлен в любое удобное сотруднику время рабочей смены.

Каждому сотруднику, поступающему на рабочее место, необходимо провести первичный и вводный инструктажи по технике безопасности, кроме того, в дальнейшем сотрудником должен быть пройден инструктаж по электробезопасности и охране труда.

При выполнении Выпускной Квалификационной Работы на представленном рабочем месте разрабатываемого веб-сервиса нарушения правовых и организационных норм выявлено не было.

6.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей среды

Деятельность при выполнении магистерской диссертации также связана с работой за компьютером (или ПК). Основным документом, регулирующим условия и организацию работы с ПК, является ГОСТ 22269-76. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное

расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования [6] и ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [41], которые включают ряд требований к ПК и организации рабочего места, а также к факторам, оказывающим на пользователя ПК опасное и вредное влияние.».

Основными эргономическими требованиями к помещению, в котором выполняется работа с использованием компьютерной техники являются [41]:

1. Помещение должно иметь естественное и искусственное освещение (согласно СП 52.13330.2016 [45]);

2. Рабочие места по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева;

3. Площадь на одно рабочее место пользователя персонального компьютера на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) должна составлять 4,5 м²;

4. При размещении рабочих мест с компьютерами расстояние между рабочими столами с мониторами должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м;

5. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы (учитывая расположение оборудования, документации и пр.);

6. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм;

7. В помещениях с компьютерами ежедневно должна проводиться влажная уборка.

Рабочее помещение представлено комнатой площадью 52,2 м², где на одно рабочее место приходится площадь 10 м². В помещении имеется естественное и искусственное освещение. Окно с естественным освещением расположено справа от рабочего места. Фактические значения эргономических параметров рабочего стола соответствуют нормирующим требованиям. Так высота рабочего нерегулируемого по высоте составляла 700 мм, мониторы расположены от глаз на расстоянии 600 мм.

6.2 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» все производственные факторы классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические и психофизические. Для данной работы целесообразно рассмотреть физические и психофизические вредные и опасные факторы производства, характерные как для рабочей зоны инженера-программиста, как разработчика рассматриваемой в данной работе системы. [43]

Таблица 22 – Классификация вредных и опасных факторов [43]

Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Проектирование	Разработка	Формирование отчетности	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [44].
Отсутствие или недостаток естественного	+	+	+	СП 52.133330.2016 Естественное и искусственное освещение [45].

света				
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.133330.2016 Естественное и искусственное освещение [45].
Повышенная напряженность электрического поля	+	+	+	ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [48].
Повышенный уровень шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [47].
Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [49]. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление [51]. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [52].

1 Микроклимат

Параметрами, характеризующими микроклимат, являются: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха [44].

Таблица 23 – Параметры микроклимата [44]

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м\с
-------------	-------------------------	------------------------------------	--------------------------------

	Мин.	Макс.	Макс.	Мин.	Макс.
Холодный	20-22	24-25	15-75	0,1	0,1
Теплый	21-23	25-28	15-75	0,1	0,2

В данном случае температура воздуха и температура поверхностей составляют 22 °С и 21 °С при относительной влажности 45% в холодный период года; 24 °С и 23 °С при относительной влажности воздуха 50% в теплый период года, что соответствует нормам [44].

2 Освещенность

Работа с компьютером подразумевает постоянный зрительный контакт с монитором. Низкий уровень освещенности рабочей зоны может привести к быстрому утомлению, головным болям, снижению остроты зрения и концентрации внимания, что может привести к ухудшению производительности труда.

Помещения, в которых проводится эксплуатация ПЭВМ, должны иметь совмещенное освещение. Это значит, что одновременно должны применяться естественное и искусственное типы освещений в течение полного рабочего дня. В случае, если в помещении не хватает естественного света по нормам, то оно должно дополняться искусственным [45].

В процессе разработки программисту приходится различать объекты на мониторе. Данный вид работ относится к подразряду «Г» 3-го разряда зрительных работ (работы высокой точности). В таблице 3 представлены требования к освещению для данного вида работ.

Таблица 24 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий для операторов ЭВМ [45]

Характеристика зрительной	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение	
			Освещенность, лк	
			При системе комбинированно го	При системе

работы			освещения		общего освещения
			Всего	В том числе от общего	
Высокой точности	Средний и большой	Светлый и средний	400	200	200

Работа над текущей работой велась в помещении прямоугольной формы с параметрами: длина помещения $A = 6$ м, ширина помещения $B = 4,2$ м, высота помещения $H = 3$ м, Площадь помещения $S = 25,2$ м². Коэффициент отражения стен $R_c = 30\%$, потолка $R_n = 50\%$. Коэффициент запаса $k = 1,5$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$. Выбираем светильники типа ШОД, $\lambda = 1,2$. Приняв $h_c = 0,5$ м, определяем расчетную высоту: $h = H - h_c - h_{pn} = 3 - 0,5 - 0,7 = 1,8$ м

Расстояние между светильниками:

$$L = \lambda * h = 1,2 * 1,8 = 2,16 \text{ м}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L/3 = 0,72 \text{ м}$$

Определяем количество рядов светильников и количество светильников в ряду:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B - \frac{2}{3} * L}{L} + 1 = \frac{4,2 - \frac{2}{3} * 2,16}{2,16} + 1 = 2,28 \approx 2$$

$$n_{\text{св}} = \frac{A - \frac{2}{3} * L}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{6 - \frac{2}{3} * 2,16}{1,2 + 0,5} = 2,68 \approx 3$$

Размещаем светильники в два ряда. В ряду устанавливается 3 светильника типа ШОД 2-40, расстояние в ряду между светильниками составило 0,4 м.

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h * (A + B)} = \frac{25,2}{1,8 * (6 + 4,2)} = 1.37$$

Определяем коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,38$.

$$\Phi = \frac{E_H * S * K_s * Z}{N_l * \eta} = \frac{300 * 25,2 * 1,5 * 1,1}{12 * 0,38} = 2735 \text{ лм}$$

По таблице выбираем ближайшую стандартную лампу ЛТБ 2850 лм 40 Вт.

Определяем электрическую мощность осветительной установки $P = 12 * 40 = 480 \text{ Вт}$.

3 Шум

При выполнении работ, описанных выше, специалист может оказаться под шумовым воздействием со стороны оборудования, находящегося в рабочем помещении: система вентиляции, кулеры ПК, серверов и пр. Работы, выполняемые специалистом, оцениваются как научная деятельность, следовательно, работа программиста может классифицироваться как труд средней степени напряженности с лёгкими физическими нагрузками. Для данной категории трудящихся, в помещении с установками вентиляции, эквивалентный уровень шума в рабочем помещении не должен превышать 65 дБА [47].

При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочих местах должен не превышать 50 дБА. Шумящее оборудование, те, у которых уровни шума могут превышать нормированные, должны находиться вне помещения с ПЭВМ.

Снизить уровень шума в помещениях можно с помощью звукопоглощающих материалов с коэффициентами звукопоглощения в частотах 63 – 8000 Гц для отделки помещений.

4 Электробезопасность

Работа с ЭВМ может представлять опасность поражения электричеством. Взаимодействие организма человека с проходящим через него электрическим током оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие. Последствия могут привести к ожогам, изменению свойств органических жидкостей.

Рабочие помещения должны быть оборудованы защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации вычислительной техники и электроустановок [51]. Их не следует размещать вблизи силовых кабелей, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПЭВМ. Нормы напряжения представлены в таблице.

Таблица 25 – Нормы напряжения прикосновения и токов, протекающих через тело человека [52]

Ряд тока	Напряжение прикосновения, В	Ток, мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Постоянный	8	1

Для оператора ПЭВМ при работе с электрическим оборудованием обязательно выполнение следующих мер предосторожности:

- перед началом работы следует убедиться в исправности и закреплении выключателей и розеток;
- при обнаружении повреждения оборудования необходимо сообщить об этом ответственному за оборудование.

6.3 Экологическая безопасность

В текущей работе выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на литосферу в результате образования отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники. Утилизация компьютерного оборудования является достаточно сложной.

Вышедшие из строя ПК и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Непосредственная переработка большей части компонентов включает в себя их сортировку, последующую гомогенизацию и отправку для повторного использования, т.е. с предварительным помолом или переплавкой. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации [53].

Люминесцентные лампы представляют собой «чрезвычайно опасные» виды отходов. Содержание ртути в любых люминесцентных лампах составляет от трех до пяти миллиграмм ртути. С учетом этого необходимо обеспечивать определенные условия хранения, их эксплуатации и утилизации. Согласно санитарным нормам хранить ртутьсодержащие отходы необходимо в специальных герметичных контейнерах, доступ посторонним лицам к таким контейнерам должен быть запрещен. Транспортировка ламп на полигоны складирования должна выполняться организациями, которые специализируются на утилизации опасных отходов. Категорически запрещено размещение таких отходов, как люминесцентные лампы на полигонах твердых бытовых отходов [53].

В ходе работы также создает бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Самым распространенным чрезвычайным обстоятельством в офисе является пожар. Такое рабочее место относится к категории «В» (пожароопасные), так как в данном помещении присутствует пыль, вещества и материалы, способные при взаимодействии с воздухом гореть [50].

ЭВМ являются наиболее защищенными от возгорания электронными устройствами: для них не страшны перепады в сети и внезапное отключение электроэнергии. Однако, при нарушении определенных норм использования рабочих машин, даже такое оборудование может вспыхнуть, создав открытый огонь и нанести существенный вред имуществу и здоровью человека.

Во избежание подобных ситуаций необходимо проводить пожарно-профилактические мероприятия [50]:

- своевременный периодический инструктаж по противопожарной безопасности для персонала;
- издание инструктажей, плакатов и планов эвакуации в производственном помещении;
- соблюдение противопожарных норм при монтаже электропроводок, установке техники, систем поддержания микроклимата;
- обязательное наличие систем противопожарной сигнализации и углекислых или порошковых огнетушителей.

При возникновении чрезвычайной ситуации персонал предприятия должен следовать определенной инструкции для предотвращения угрозы жизни и здоровья сотрудников, а также для минимизации имущественных потерь [50]:

- Немедленно сообщить руководителю подразделения о произошедшем с ним или по его вине несчастном случае, а также о любом

несчастном случае с участием других работников, свидетелем которого он был.

- Оказать пострадавшим при несчастном случае первую доврачебную помощь, помочь доставить его в здравпункт или ближайшее медицинское учреждение или, при необходимости, вызвать медицинских работников на место происшествия.

- Во всех случаях обнаружения обрыва проводов питания, неисправности заземления и других повреждений электрооборудования, появления запаха гари немедленно отключить питание и сообщить об аварийной ситуации руководителю и представителю отдела.

- При обнаружении человека, попавшего под напряжение, немедленно освободить его от действия тока путем отключения электропитания и до прибытия врача оказать потерпевшему первую медицинскую помощь.

- При любых случаях сбоя в работе технического оборудования или программного обеспечения немедленно вызвать представителя отдела.

- В случае появления рези в глазах, резком ухудшении видимости, появлении боли в пальцах и кистях рук, усилении сердцебиения немедленно покинуть рабочее место, сообщить о происшедшем руководителю и обратиться к врачу.

- При возгорании оборудования отключить питание и принять меры к тушению очага пожара при помощи углекислотного или порошкового огнетушителя, вызвать пожарную команду и сообщить о происшествии руководителю отдела.

План эвакуации при пожаре во время эксплуатации проектного решения представлен на Рисунке 31.

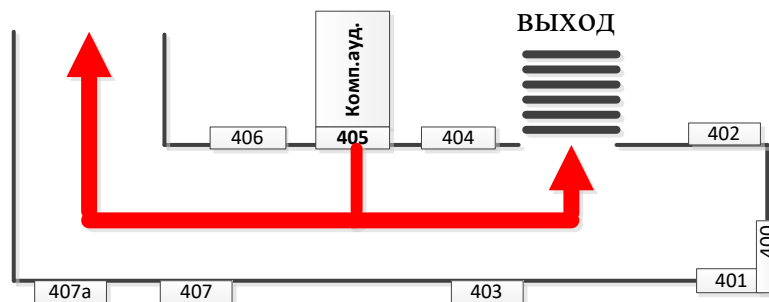


Рисунок 31 – План эвакуации

6.5 Вывод по главе

В результате изучения и анализа стандартов и правил, касающихся работы в помещениях с электронно-вычислительными устройствами, можно сделать вывод, что выполнение проекта соответствовало всем заявленным нормам безопасности жизнедеятельности. Автор не подвергался серьезному воздействию опасных факторов.

Рабочее места и помещение в целом во время проведения исследовательской работы соответствовало региональным стандартам, а также санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам. Автор готов к поведению в условиях чрезвычайных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы была описана предметная область, в которой велась разработка. Приведено детальное описание объекта исследования – виртуальной реальности. Были описаны основные преимущества, которые имеют приложения в виртуальной реальности в сравнении с другими приложениями, а именно:

- Бинокулярное зрение:
- Свободная камера:
- Бинауральный звук.

Был произведен анализ рынка виртуальной реальности в России, согласно которому разработка приложения в виртуальной реальности является перспективным направлением.

Были проанализированы способы, которые увеличивают эффект погружённости и вовлеченности пользователя в виртуальную реальность, к такому способу относятся:

- Свобода передвижения
- Физическое взаимодействие;
- Обратная связь;
- 3D-звук;
- Подсказки

Были проанализированы аналоги, а именно ряд тренажеров, которые предназначены для обучения операторов в сфере электроэнергетики. У данных тренажеров были выделены сильные и слабые стороны. Была составлена сравнительная таблица. Результаты этого анализа учитывались при разработке тренажера.

Была представлена архитектура тренажера «Подстанция 220 кВ». Были описаны все основные системы, которые входят в данный тренажер, а именно:

- Системные компоненты;
- Компоненты работы с пользователем;
- Компоненты тренажера.

Были спроектированы и разработаны две системы тренажера – система интерактивных объектов и система передвижения.

При проектировании системы интерактивных объектов были рассмотрены все объекты, с которыми может взаимодействовать оператор на реальной подстанции, на основе типа взаимодействия было выделено три типа интерактивных объекта:

- Кнопки,
- Рычаги,
- Слайдеры.

В основе взаимодействия пользователя лежат два компонента:

- Grabber – компонент, моделирующий виртуальную руку;
- Grabbable – компонент, который представляет из себя объект, с

которым может взаимодействовать пользователь.

Были рассмотрены основные способы передвижения пользователя в виртуальной реальности. На основании этой информации были реализованы следующие виды передвижения в тренажере:

- Плавное передвижение;
- Передвижение с помощью телепорта;
- Поворот на заданный угол.

Был произведен финансовый анализ разрабатываемого приложения, согласно которому разработка является перспективной и результаты исследования имеют коммерческий потенциал.

Был произведен анализ, в рамках которого было выявлено, что при процессе разработки не было нарушено никаких норм по безопасности жизнедеятельности.

CONCLUSION

In the course of this work, the subject area in which the development was carried out was described. A detailed description of the object of study - virtual reality is given. The main advantages that applications in virtual reality have in comparison with other applications have been described, namely:

- Binocular vision:
- Free camera:
- Binaural sound.

An analysis was made of the virtual reality market in Russia, according to which the development of an application in virtual reality is a promising direction.

We analyzed ways that increase the effect of immersion and user involvement in virtual reality, such methods include:

- Freedom of movement
- Physical interaction;
- Feedback;
- 3D sound;
- Hints

Analogues were analyzed, namely a number of simulators that are designed to train operators in the electric power industry. The strengths and weaknesses of these simulators were highlighted. A comparison table was made. The results of this analysis were taken into account when developing the simulator.

The architecture of the simulator "Substation 220 kV" was presented. All the main systems that are included in this simulator were described, namely:

- System components;
- Components of work with the user;

- Components of the simulator.

Two systems of the simulator were designed and developed - a system of interactive objects and a system of movement.

When designing a system of interactive objects, all objects with which an operator can interact at a real substation were considered; based on the type of interaction, three types of interactive objects were identified:

- Buttons,
- Levers,
- Sliders.

User interaction is based on two components:

- Grabber - a component that simulates a virtual hand;
- Grabbable - a component that is an object with which the user can interact.

The main ways of moving the user in virtual reality were considered. Based on this information, the following types of movement in the simulator were implemented:

- Smooth movement;
- Movement with the help of teleport;
- Rotate to a given angle.

A financial analysis of the application being developed was made, according to which the development is promising and the results of the study have commercial potential.

An analysis was made, within the framework of which it was revealed that during the development process no life safety standards were violated.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Future Of Virtual Reality [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.softwaretestinghelp.com/future-of-virtual-reality/> (дата обращения: 03.03.2022).
2. VR and business [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro.rbc.ru/news/5e283fcc9a794705fdc1eb42> (дата обращения: 05.03.2022).
3. Virtual-reality-technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/virtual-reality-technology> (дата обращения: 05.03.2022).
4. What is Virtual Reality (VR) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.igi-global.com/dictionary/augmented-reality-framework-socialization-between/31774> (дата обращения: 09.03.2022).
5. VR classification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tproger.ru/translations/vr-explained/> (дата обращения: 11.03.2022).
6. Binaural sound [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/binaural-sound#:~:text=Binaural%20sound%20is%20stereo%20audio,means%20%22having%20two%20ears.%22> (дата обращения: 12.03.2022).
7. Binocular-vision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/binocular-vision> (дата обращения: 15.03.2022).
8. Virtual reality simulator for pipe umbrella installation works [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85128736557&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=virtual+reality+maintenance&sid=1af64f59148ee83d870872be11b8d9a6&sot=b&sdt=b&sl=47&s=TITLE-ABS-KEY->

AUTH%28virtual+reality+maintenance%29&relpos=8&citeCnt=0&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1 (дата обращения: 17.03.2022).

9. 8 принципов иммерсивного симулятора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://skillbox.ru/media/gamedev/8-printsipov-immersivnogo-simulyatora/> (дата обращения: 17.03.2022).

10. Рынок устройств виртуальной и дополненной реальности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A0%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA_%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2_%D0%B2%D0%B8%D1%80%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B8_%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8 (дата обращения: 20.03.2022).

11. Состояние российского рынка AR/VR на 21 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/dev/313113-sostoyanie-rossiyskogo-rynka-ar-vr-na-21-god> (дата обращения: 25.03.2022).

12. Спрос на устройства AR/VR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.slideshare.net/VRyzhonkov/ar-vr2015?qid=6abbbc51-23f7-4512-88cd3dd6c94816c1&v=&b=&from_search=48 (дата обращения: 01.04.2022).

13. Инвестиции в VR и AR-проекты в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rb.ru/news/vr-ar-research/> (дата обращения: 05.04.2022).

14. База знаний VR/AR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ict.moscow/projects/vrar/> (дата обращения: 09.04.2022).

15. Virtual Reality For Corporate Training [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://roundtablelearning.com/5-examples-of-virtual-reality-for-corporate-training/> (дата обращения: 11.04.2022).

16. What-is-virtual-reality-training [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pixovr.com/what-is-virtual-reality-training/> (дата обращения: 12.04.2022).

17. Immersive Virtual Reality [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-78414-4_85 (дата обращения: 14.04.2022).

18. A systematic review of immersive virtual reality [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131519303276> (дата обращения: 15.04.2022).

19. Виртуальная реальность — 10 способов перемещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/391003/> (дата обращения: 16.04.2022).

20. Cuphead [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://store.steampowered.com/app/268910/Cuphead/> (дата обращения: 18.04.2022).

21. Super Mario Bros. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cybersport.ru/tags/super-mario-bros/> (дата обращения: 20.04.2022).

22. City Builder [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://store.steampowered.com/tags/en/city-builder/> (дата обращения: 23.04.2022).

23. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/787?locale=ru_RU (дата обращения: 25.04.2022).

24. Симуляционная болезнь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arvr.media/dictionary/simulyacionnaya-bolezn> (дата обращения: 25.04.2022).

25. Теории сенсорного конфликта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.journal-irioh.ru/jour/article/view/39> (дата обращения: 25.04.2022).

26. Отрицательное подкрепление в учебном процессе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36820129> (дата обращения: 26.04.2022).

27. Движения глаз и когнитивные процессы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://istina.msu.ru/courses/3708941/> (дата обращения: 27.04.2022).

28. Постуральная неустойчивость [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yusupovs.com/articles/neurology/posturalnaya-neustoychivost/> (дата обращения: 29.04.2022).

29. Виртуальная кинематография для VR-трейлеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/320702/> (дата обращения: 02.05.2022).

30. Kinect [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.techtarget.com/searchhealthit/definition/Kinect#:~:text=Kinect%20is%20Microsoft's%20motion%20sensor,device%2C%20such%20as%20a%20controller> (дата обращения: 05.05.2022).

31. Oculus Rift [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://virtualnyechki.ru/obzoryi/obzor-oculus-rift-s> (дата обращения: 05.05.2022).

32. HTC VIVE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vive.com/ru/> (дата обращения: 07.05.2022).

33. Digital Engineering and Magic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.digitalengineeringmagic.com/> (дата обращения: 08.05.2022).

34. Vr-simulator-for-power-engineers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.dreamport.pro/project/vr-simulator-for-power-engineers/> (дата обращения: 10.05.2022).

35. Unity3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unity.com/ru> (дата обращения: 12.05.2022).

36. OpenXR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.khronos.org/openxr/> (дата обращения: 13.05.2022).

37. Render Pipelines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@12.1/manual/index.html> (дата обращения: 15.05.2022).

38. Oculus Quest 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.livescience.com/oculus-quest-2-review#:~:text=Oculus%20Quest%20%20is%20a,desirable%20features%20for%20experienced%20users.> (дата обращения: 19.05.2022).

39. Постановлению Правительства РФ №1 «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901808053> (дата обращения: 19.05.2022).

40. Приказ Министерства Финансов РФ от 17 сентября 2020 года N 204н «Об утверждении Федеральных стандартов бухгалтерского учета ФСБУ 6/2020 "Основные средства" и ФСБУ 26/2020 "Капитальные вложения"» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/566007982> (дата обращения: 19.05.2022).

41. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 20.05.2022).

42. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 20.05.2022).

43. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 20.05.2022).

44. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 21.05.2022).

45. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 21.05.2022).

46. ГОСТ 22269-76 Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012832> (дата обращения: 21.05.2022).

47. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 22.05.2022).

48. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9051575> (дата обращения: 22.05.2022).

49. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200161238> (дата обращения: 23.05.2022).

50. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 23.05.2022).

51. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200289> (дата обращения: 23.05.2022).

52. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 24.05.2022).

53. ГОСТ Р 53692-2009 обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200081740> (дата обращения: 24.05.2022).

ПРИЛОЖЕНИЕ (А)

Chapter 1 Subject area analysis

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ01	Кочков Никита Вячеславович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестнев Владислав Станиславович	к.т.н.		

Консультант отделения ОИТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Видман Виталий Викторович	—		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н		

1. Main Systems of Simulator "Substation 220 kV"

In this chapter we are discussing assets of VR-simulator "Substation 220 kV". Some of the components are complex, but further they are considered in a simplified way.

1.1 Architecture of Simulator "Substation 220 kV"

VR simulator "Substation 220 kV" teaches operators how to put an autotransformer into operation. Figure 1 shows the architecture of simulator.

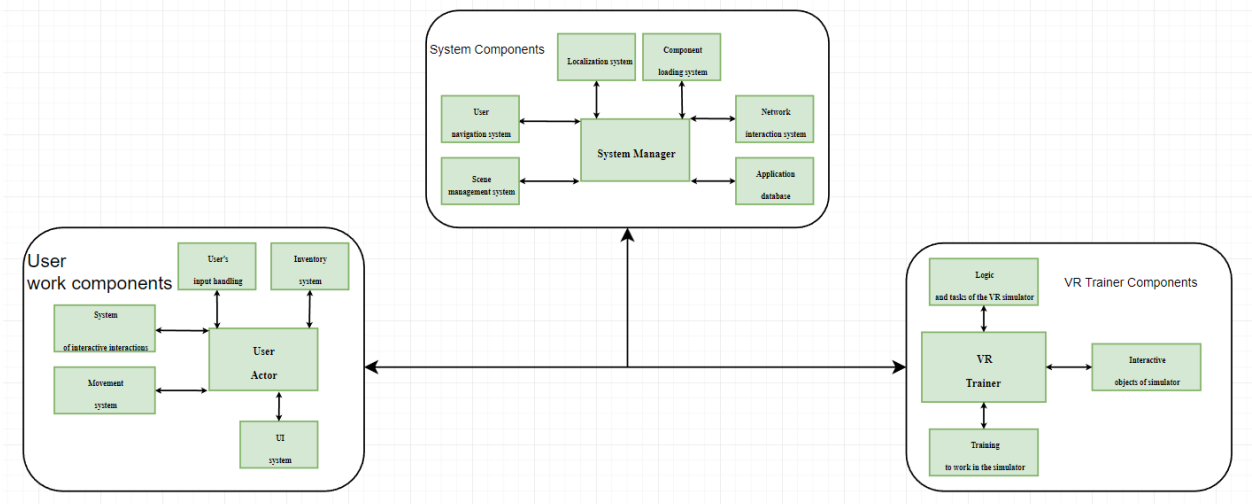


Figure 1 – Structural diagram of the simulator

The application can be divided into three main parts:

- system components. This system is responsible for the relationship between user, interactive environment, and web-server;
- user related components. They contain the character control logic, user input processing, movement system and interactive interaction system;
- components of a VR simulator. These components responsible for sequence of actions, that must be performed within the simulator, training system and system of interactive objects of the simulator.

Further, the functionality of each of the constituent components will be considered.

1.2 System Components

System components are responsible for the functionality of the application. Let's take a closer look at all the main components of this system.

1.2.1 System Manager

The main role of the system manager is to correctly initialize the rest of the system components. The system manager implements the "Singleton" pattern. This manager ensures the functionality of the entire application. The system manager is loaded first, when the simulator is started, and controls the lifetime of other system objects.

1.2.2 Scene Management System

When developing the simulator, it was decided to divide the application into three active scenes. The first scene is the control scene. This scene contains all the system components that are necessary for the correct functionality of the application. The second scene is the logic scene. This scene contains all items that the user can interact with. In addition, this scene contains components responsible for the user interface and the training system. The third scene is the scene that contains the static objects present in the simulator. The scene management system was created in order to load the scenes, listed above, in the correct order, control their lifetime and unload them, if necessary.

1.2.3 Localization System

The localization system is responsible for translating all the texts that are present in the application. This system consists of tables that contain translations of texts into different languages. At the moment, two translation options have been implemented: into Russian and English. The localization system is mostly referred to by the system that is responsible for the user interface. Localization systems support uploading text as .csv files, that can be edited by people responsible for localization. Figure 2 shows an example of a table with localized texts.

The screenshot shows a software interface titled "Localization Tables" with a table containing localized text. The table has three columns: "Key", "Russian (ru)", and "English (en)". Each cell in the Russian and English columns contains a "Smart" icon and a text string. The interface also includes a search bar, a table collection name dropdown, and a footer with navigation icons and a page size indicator set to 50.

Key	Russian (ru)	English (en)
TEXT_LAB_1_GAMEOVER_SHOCK	Необходимо соблюдать технику безопасности!	Safety precautions must be followed!
TEXT_LAB_1_GAMEOVER_FRIED	Произошло короткое замыкание и обмотки электромотора пришли в непригодное состояние.	A short circuit has occurred and the motor windings have become unusable.
TEXT_MEASUREMENT_MOHM	МОм	MOhm
LAB_DESC_DURATION	Примерное время выполнения: {0} минут	Approximate completion time: {0} minutes
GAMEOVER_BTN_RETRY	Начать заново	Restart
GAMEOVER_BTN_TO_MAIN_MENU	В главное меню	To main menu

Figure 2 - An example of a table with localized texts

1.2.4 Network Interaction System

The network interaction system is responsible for requests and their processing to the REST API server. This system is designed for user authorization. Authorization is performed through the client application - simulator. In addition, the network interaction system is responsible for saving data about the progress of the simulator. All network requests are executed asynchronously on a separate thread.

1.2.5 Application Database

This component is responsible for interacting with the local database. The local database stores intermediate information that is synchronized with the server. In addition, this component has interfaces for interacting with the logic of VR simulators.

1.2.6 Component Loading System

The component loading system is responsible for the correct initialization of all major system components. This system is a queue, which includes all the main components of the system. It also sequentially loads all the necessary components and notifies other systems about the completion of initialization.

1.2.7 User's Transition System

The user's transition system implements an effect called Fade. This effect smoothly black out the screen (camera) during long operations, that require some waiting. This system is used, when a lengthy operation is performed, such as booting up all major system components. The user navigation system is linked to the component loading system.

1.3 User Related Components

User related components are a block of various components that are mainly responsible for user interaction in a virtual space. Let's take a closer look at all the main components of this system.

1.3.1 User Actor

The user actor includes a number of components that describe user in a virtual space. An actor is a physical object that is affected by various forces, such as gravity. It is also responsible for handling collisions with surrounding objects. The actor has a physical location in space and has the ability to move in it. Also, this component processes information coming from the helmet from the controllers. In addition, the actor is responsible for the interaction of the user with the UI. Figure 3 shows the user actor asset.

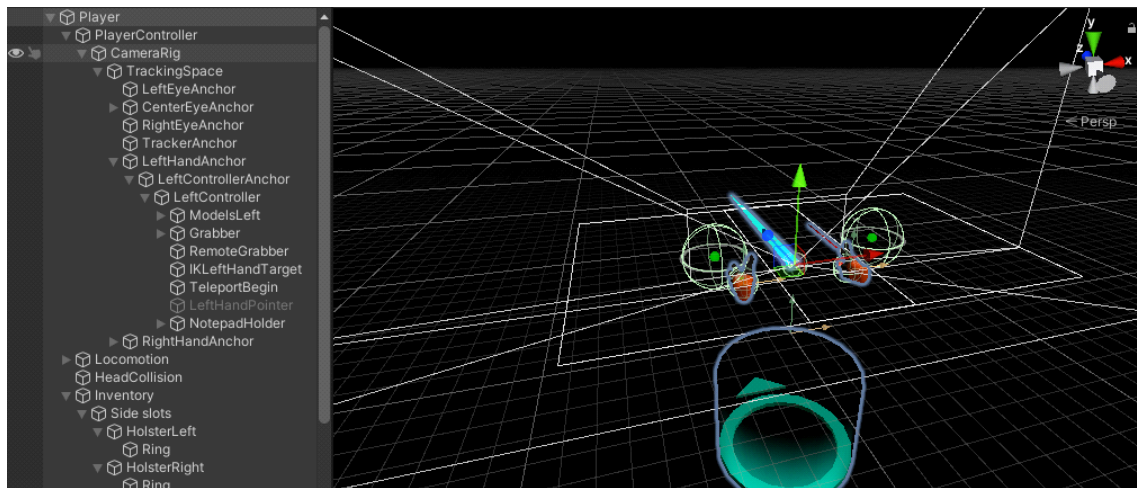


Figure 3 - User Actor

1.3.2 User's Input Handling

The user input processing component implements a pattern called "Bridge". This component reads keystrokes, while abstracting from the specific controller model, and provides a single interface.

1.3.3 UI System

The user interface system is a block of components that provides user interaction with the VR simulator. The simulator implements 2 types of interaction with the user interface. Beam Interaction - A beam appears from the user's hand when they hover over user interface elements. Physical interaction - the user can physically press the elements of the user interface with virtual fingers.

1.3.4 Movement System

The movement system includes three main types of user movement in a virtual space:

- Rotation module. This module is responsible for instantly turning the user by the specified number of degrees (30 ° by default). Rotation is done by shifting the right stick of the controller. This rotation mechanic was added to avoid the Motion sequence;
- Movement module. The movement module smoothly moves the user in a virtual space. Movement is carried out by deflecting the left stick;

- Teleport module. The teleport module allows you to move in virtual space using a teleporter. When you press and deflect the left stick, a trajectory is drawn to a certain point. When the stick is released, the player moves to the selected point. Teleporting allows you to reach hard-to-reach places and move much faster, than with smooth movement.

In figures 4-5, an example of movement using teleportation is showed.

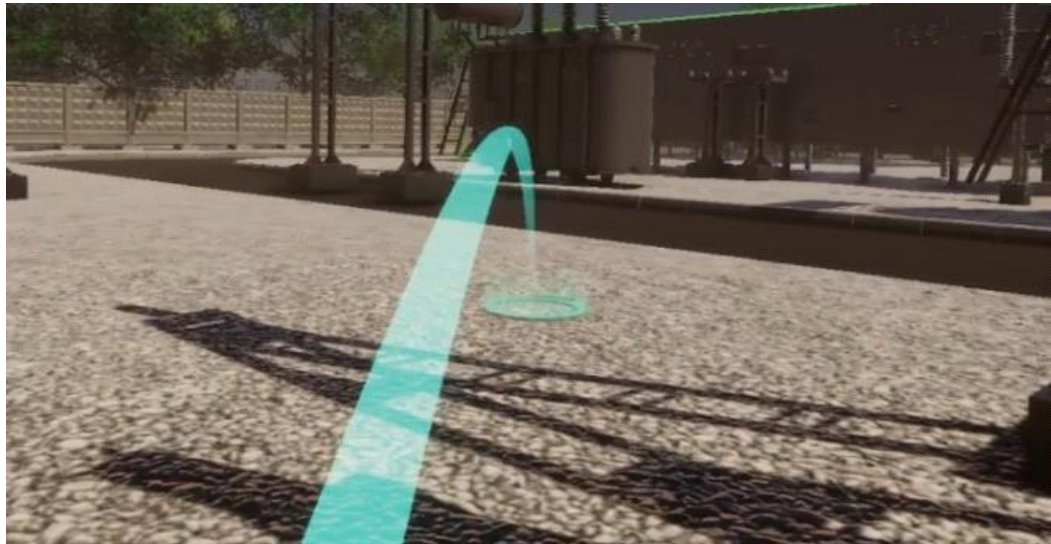


Figure 4 - An example of moving using a teleporter. Start of teleportation



Figure 5 - An example of moving using a teleporter. End of teleportation

1.3.5 System of Interactive Interactions

This system consists of two key components: Grabber (grabbing) and Grabbable (object that can be grabbed). The Grabber component is tied to virtual

hands. The Grabbable component is bound to interactive objects in the scene. Once an item is captured, the captured item is bound to the current Grabber. Thus, it becomes possible to perform various manipulations on interactive objects, for example, move, throw, click, etc.

1.3.6 Inventory System

During the performance of the user's work, situations often arise when he needs to use several interactive objects to complete the simulator. That is why the inventory system was developed. The inventory system includes slots in which it is possible to attach certain interactive objects. In Figures 6-7, an example of using inventory is translated.



Figure 6 - An example of an inventory slot on the left hand



Figure 7 - An example of attaching an item

1.4. VR Trainer Components

The components of a VR simulator include such systems as logic and tasks of the simulator, interactive objects of the simulator, and the training system in the simulator. Let's take a closer look at all the main components of this system.

1.4.1 Logic and Tasks of VR Simulator

The logic and tasks of the VR simulator is a block of components that is responsible for the sequence of actions that the user needs to perform to complete the task, and specifically, putting the autotransformer into operation.

1.4.2 Interactive Objects of Simulator

Interactive objects of the simulator - a block of components, which are objects with which the user can interact in one way or another. Examples of interactive objects are toggle switches, levers, buttons, and etc.

1.4.3 Training to Work in Simulator

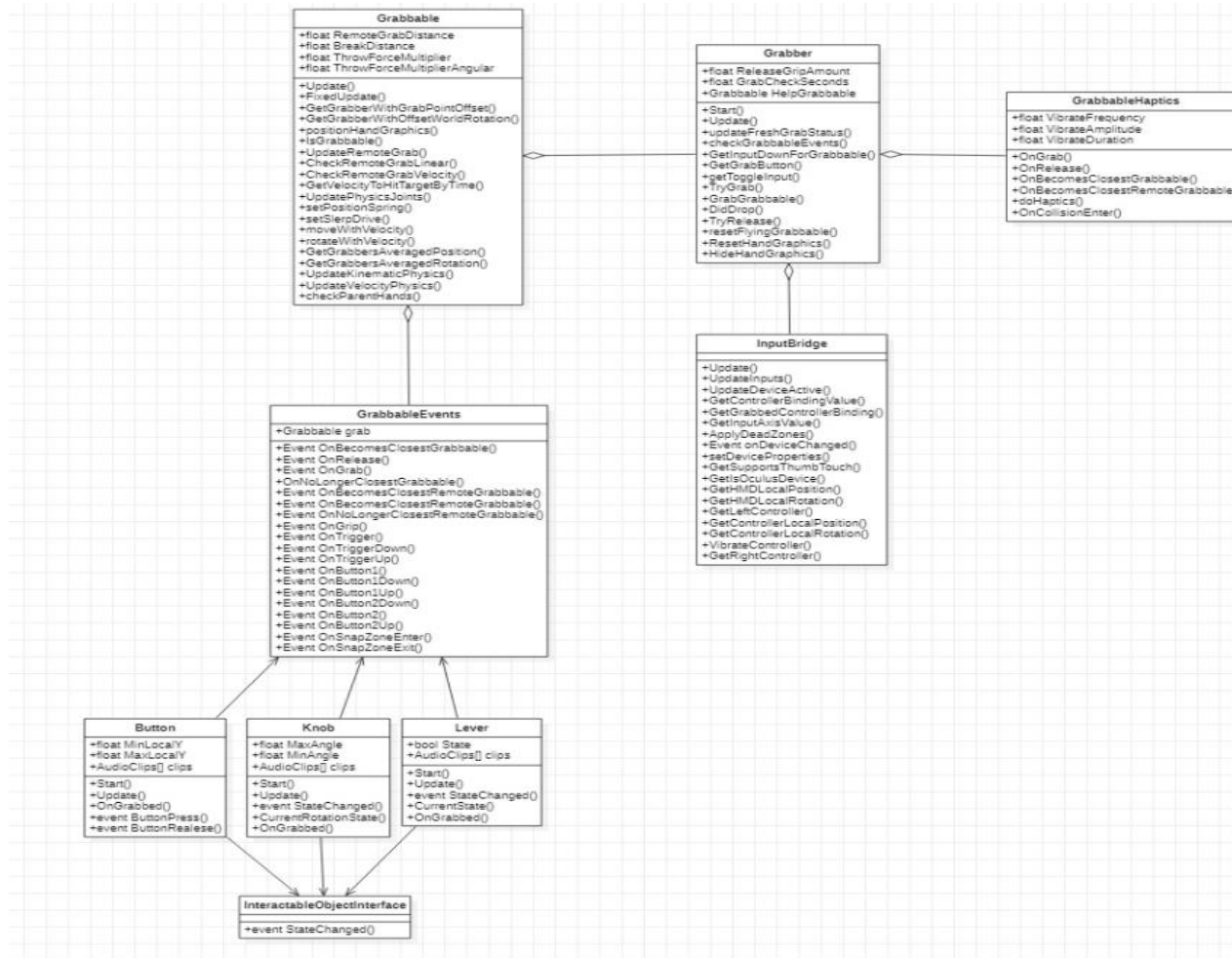
To train the user in the simulator, a training system was developed. The learning system includes various types of prompts, such as interactive pop-up windows, illumination of the entire object or its components, sound prompts, illumination of keys on the controller. Tips can be combined into groups. Within the same group, different types of hints can be shown. Hints can be shown at any time while the user is performing a simulator task.

1.4. Chapter Conclusions

Within the framework of this chapter, the architecture of the virtual reality simulator "Substation 220 kV" was discussed. The main components of the system that make up the simulator were described, namely:

- System components;
- Components of work with the user;
- VR Trainer Components

ПРИЛОЖЕНИЕ (Б)



ПРИЛОЖЕНИЕ В

