



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический университет»

РТУ МИРЭА

Институт информационных технологий
Кафедра инструментального и прикладного программного обеспечения

РАБОТА ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ

Заведующий
кафедрой _____ Р.Г. Болбаков

« 09 » _____ 2023 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

по направлению подготовки бакалавров 09.03.04 Программная инженерия

На тему: Стартап "Обучающее ПО по работе со стерильным помещением: Симуляция химической лаборатории с использованием фотореалистичных трехмерных клонов"

Обучающийся

Московка
Подпись

Московка Артём Александрович
Фамилия, имя, отчество

шифр 19И1606
группа ИКБО-20-19

Руководитель работы

ПН
подпись

к.т.н., доцент,
доцент

Плотников С.Б.

Консультант

И.Б.И.
подпись

старший
преподаватель

Белоусова И.В.

Москва 2023 г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»
РТУ МИРЭА

Институт информационных технологий

Кафедра инструментального и прикладного программного обеспечения

СОГЛАСОВАНО

Заведующий
кафедрой

подпись

Болбаков Роман Геннадьевич

«07»

марта

2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор
института

подпись

Зуев Андрей Сергеевич

«07»

марта

2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы бакалавра
в виде стартапа

Обучающийся

Московка Артём Александрович

Фамилия Имя Отчество

Шифр

19И1606

Направление
подготовки

09.03.04

индекс направления

Программная инженерия

наименование направления

Группа

ИКБО-20-19

1. Тема выпускной квалификационной работы: Стартап «Обучающее ПО по работе со стерильным помещением: Симуляция химической лаборатории с использованием фотореалистичных трехмерных клонов»

2. Цель и задачи выпускной квалификационной работы

Цель работы: спроектировать и разработать симуляцию химической лаборатории, а также смоделировать виртуальное пространство лаборатории с используемым оборудованием.

Задачи работы: провести анализ предметной области, в том числе конкурентных решений; определить информационные процессы предметной области и формализовать их; формализовать задачи на проектирование и разработку цифровой симуляции химической лаборатории; спроектировать алгоритмы, включающие механизмы и процессы в работе в химической лаборатории; определить и обосновать информационные, технические, программные средства для разработки модели; произвести тестирование модели; рассчитать экономическую эффективность и стоимость проведения работ; оформить пояснительную записку согласно ГОСТ 7.32-2017.

3. Этапы выпускной квалификационной работы


№ этапа	Содержание этапа выпускной квалификационной работы	Результат выполнения этапа ВКР	Срок выполнения
1	Исследовательский раздел	Воп-во СЛ	22.03.2023
1.1	Анализ существующих областей применения цифровых симуляций		
1.2	Анализ конкурентных технических решений цифровых симуляций, используемых в пространстве IT технологий		
1.3	Выбор средств разработки приложения		
1.3.1	Выбор средств разработки трехмерных моделей		
1.3.2	Выбор средств разработки алгоритмов лаборатории и оборудования в ней		
1.4	Постановка задачи к разработке и исследованию цифровой симуляции	Воп-во СЛ	22.03.2023
1.5	Выводы к разделу 1		
2	Проектный раздел		
2.1	Описание жизненного цикла разработки цифровых двойников		
2.2	Разработка архитектуры системы		
2.3	Разработка моделей цифровых двойников		
2.4	Разработка алгоритмов моделей цифровых двойников		
2.5	Выводы к разделу 2		
3	Технологический раздел	Воп-во СЛ	19.04.2023
3.1	Разработка интерфейса при работе с симуляцией		
3.2	Разработка бизнес-логики приложения		
3.3	Тестирование приложения		
3.4	Выводы к разделу 3	Воп-во СЛ	17.05.2023
4	Экономический раздел		
4.1	Организация и планирование работ по теме	Воп-во СЛ	17.05.2023
4.2	Расчет стоимости проведения работ по теме		
5	Введение, заключение, список источников, приложения	Воп-во СЛ	25.05.2023
6	Презентационный материал, аннотация		
7	Нормоконтроль	Воп-во СЛ	26.05.2023

4. Перечень разрабатываемых документов и графических материалов: печатная и электронная версии выпускной квалификационной работы бакалавра, презентационный материал с основными результатами выпускной квалификационной работы бакалавра.

5. Руководитель и консультант выпускной квалификационной работы

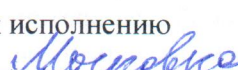
Функциональные обязанности	Должность в Университете	Фамилия, имя, отчество	Подпись
Руководитель ВКР	к.т.н., доцент, доцент	Плотников Сергей Борисович	СЛ
Консультант по экономическому разделу	старший преподаватель	Белоусова Ирина Викторовна	ВБС

Задание выдал
Руководитель ВКР:


подпись

«07» марта 2023 г.

Задание принял к исполнению
Обучающийся:


подпись

«07» марта 2023 г.

УДК 004.4

Руководитель ВКР: к.т.н., доцент С.Б. Плотников

Консультант ВКР: старший преподаватель, И.В. Белоусова

А.А. Московка. Выпускная квалификационная работа по направлению подготовки бакалавров 09.03.04 «Программная инженерия» на тему «Стартап "Обучающее ПО по работе со стерильным помещением: Симуляция химической лаборатории с использованием фотореалистичных трехмерных клонов"»: М. 2023 г., МИРЭА – Российский технологический университет, Институт информационных технологий (ИТ), кафедра Инструментального и Прикладного Программного Обеспечения (ИиППО) – стр. 50, рис. 22, табл. 4, ист. 30 (в т.ч. 15 на англ. яз.), прил. 4.

Ключевые слова: симуляция, фотореалистичный трехмерный клон, трехмерная модель, химическая лаборатория, стерильная комната.

Объект исследования – симуляция химической лаборатории для обучения пользователей правилам взаимодействия с ней.

Предмет исследования – симуляционное ПО, имитирующее процессы и поведение специалиста в химической лаборатории.

Цель работы – проектирование, разработка и тестирование симуляционного модуля, использующего фотореалистичные трехмерные клоны.

В результате работы был проведен краткий анализ предметной области, были рассмотрены процессы моделирования трехмерных клонов, разработки симуляции, а также рассмотрен используемый программно-технический инструментарий и среды разработки и моделирования, наконец, была разработана виртуальная химическая лаборатория, удовлетворяющая всем представленным требованиям и задачам.

A.A. Moskovka. Graduation thesis in the direction of bachelors 09.03.04 "Software engineering" on the topic "Startup "Educational software for working with a sterile room: Simulation of a chemical laboratory using photorealistic three-dimensional clones"": M. 2023, MIREA - Russian Technological University, Institute of Information Technology (IT), Department of Instrumental and Applied Software (IiPPO) - p. 50, fig. 22, tab. 4, east. 30 (including 15 in English), adj. 4.

Keywords: SIMULATION, PHOTOREALISTIC 3D CLONE, 3D MODEL, CHEMICAL LABORATORY, STERILE ROOM.

The object of research is a simulation of a chemical laboratory for teaching users the rules of interaction with it.

The subject of the study is simulation software that simulates the processes and behavior of a specialist in a chemical laboratory.

The purpose of the work is the design, development and testing of a simulation module using photorealistic 3D clones.

As a result of the work, a brief analysis of the subject area was carried out, the processes of modeling three-dimensional clones, simulation development were considered, and the software and hardware tools used and development and modeling environments were considered, and finally, a virtual chemical laboratory was developed that satisfies all the requirements and tasks presented.

МИРЭА – Российский технологический университет: 119454, Москва, пр-т Вернадского, д. 78

Тираж: 1 экз. (на правах рукописи)

Файл: «090304_19I1606_Московка АА.pdf», исполнитель Московка А.А., email: moskovka.a.a@edu.mirea.ru

© А.А. Московка.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Исследовательский раздел	10
1.1 Анализ существующих областей применения цифровых симуляций ...	10
1.2 Анализ конкурентных технических решений цифровых симуляций, используемых в пространстве IT технологий	11
1.3 Выбор средств разработки приложения	12
1.3.1 Выбор средств разработки трехмерных моделей	12
1.3.2 Выбор средств разработки алгоритмов лаборатории и оборудования в ней.....	13
1.4 Постановка задачи к разработке и исследованию цифровой симуляции	13
1.5 Выводы к разделу 1.....	15
2 Проектный раздел	16
2.1 Описание жизненного цикла разработки цифровых двойников.....	16
2.2 Разработка архитектуры системы	17
2.3 Разработка моделей цифровых двойников.....	19
2.4 Разработка алгоритмов цифровых двойников и окружения	20
2.5 Выводы к разделу 2.....	31
3 Технологический раздел.....	32
3.1 Разработка интерфейса при работе с симуляцией.....	32
3.2 Разработка бизнес-логики приложения	33
3.3 Тестирование приложения	35
3.4 Выводы к разделу 3.....	37
4 Экономический раздел	39
4.1 Организация и планирование работ по теме.....	39

4.2 Расчет стоимости проведения работ по теме	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	47
ПРИЛОЖЕНИЕ А Примеры разработки фотореалистичных трехмерных клонов	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Демонстрация взаимодействия с объектами виртуальной стерильной лаборатории.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ В Функциональная диаграмма автоматизированного взаимодействия пользователя с элементами симуляции	54
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Сертификат о публикации статьи	55

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете применяют следующие термины, сокращения и определения с соответствующими определениями.

Блюпринт	– транслитерация англоязычного слова Blueprint, упомянутого ниже.
Вершина, точка	– наименьший строительный элемент любой трехмерной модели, представленный в виде точки с определенными координатами в цифровом пространстве.
ВКР	– выпускная квалификационная работа
Игровая сцена	– трехмерное пространство движка Unreal Engine, в котором происходит прототипирование будущего мира, находятся все объекты, актеры, камеры и системные элементы разрабатываемой игры.
Игровой движок, движок	– объединенный в единое целое комплекс прикладных программ, с помощью которых обеспечивается графическая визуализация, звуковое сопровождение, перемещение внутриигровых персонажей, их действия в соответствии со скриптами, а также встроенные графические сцены, соблюдение физических эффектов и законов [1].
Коллизия	– параметр взаимодействия объектов на игровой сцене при их пересечении
НИР	– научно-исследовательская работа
Нода, узел блюпринта	– графический блок блюпринта, имеющий входной и выходной потоки данных и использующийся для организации последовательности действий
ПО	– программное обеспечение
Полигон	– многоугольник, состоящий из минимум трех вершин, строительный элемент любой трехмерной модели.

Скрипт	– последовательность команд, инструкций на сценарном языке, используемая для автоматизации рутинных задач, описания поведения персонажа в компьютерной игре и т. п.
Событие, event	– узлы блюпринтов или вызовы функции, которые определяют начало конкретной логической последовательности [2].
Таймлайн	– специальный графический элемент системы Blueprint для программирования анимаций, зависящих от временных тактов [3].
Трехмерный клон	– цифровая копия физического объекта или процесса, помогающая оптимизировать эффективность бизнеса.
УФ-лампа	– ультрафиолетовая лампа
Цифровой двойник, ЦД	– аналогично трехмерному клону.
Blueprint	– скриптовая система в Unreal Engine, которая представляет собой визуальный интерфейс для создания элементов геймплея.
Head-Up Display, HUD	– часть визуального интерфейса пользователя симуляции или игры, отображающаяся на переднем плане виртуального пространства.
UE	– Unreal Engine
UV-развертка	– двумерная поверхность готовой трехмерной модели, используемая для раскрашивания и нанесения на нее текстур.
VR	– виртуальная реальность

ВВЕДЕНИЕ

Профессиональная деятельность медицинских, химических, фармацевтических работников, людей, занимающихся научной, исследовательской и производственной деятельностью требует длительного обучения, например, по правильному обращению с дорогостоящим оборудованием, по перемещению по лабораторным помещениям с особыми зонами стерильности и герметичности и т.п.

Актуальность данной работы связана с созданием новых технологий и оборудования для обучения специалистов различных отраслей, основанных на достижениях информационных технологий.

Целью работы является создание программного решения, позволяющего имитировать деятельность специалиста в трехмерной химической лаборатории, выполняющего требования по безопасности работы, нормам стерильности и герметичности комнат и объектов окружения, а также использующего в своей работе специализированное оборудование.

Основными задачами работы является проведение анализа существующих областей применения цифровых симуляций, конкурентных решений цифровых симуляций, выбор требуемых для разработки средств и инструментов, описание жизненного цикла разработки ЦД, моделирование помещений и окружения, а также фотореалистичных цифровых двойников, прототипирование и разработка симуляционного пространства и оснащение компонентов симуляции алгоритмами требуемого поведения и механик работы, наконец, тестирование ПО на предмет несоответствий выдвинутым требованиям к разработке виртуальной реализации лаборатории.

Объектом исследования является симуляция хим. лаборатории для обучения обучающихся правилам взаимодействия с ней, предметом же исследования является симуляционное ПО, имитирующее желаемые процессы и поведение специалиста в стерильном пространстве.

Новизна данной темы заключается в тесном междисциплинарном взаимодействии информационных технологий и таких дисциплин естественных наук, как химия, биология и фармацевтика, работа над НИР производилась при поддержке Московского Института Тонких Химических Технологий Имени Ломоносова, предоставившего ценные метрологические данные и материалы для качественной и точной работы в помещениях, в которых производились замеры и были получены фото- и видеоматериалы по устройству и эксплуатации оборудования и объектов окружения.

В процессе работы для уточнения вопросов наполнения и оформления использовались следующие нормативные акты:

1) «О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 № 68-ФЗ [4].

2) «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011 № 323-ФЗ [5].

3) «О гражданской обороне» от 12.02.1998 № 28-ФЗ [6].

4) Приказ Минздравсоцразвития РФ от 04.05.2012 № 477н «Об утверждении перечня состояний, при которых оказывается первая помощь, и перечня мероприятий по оказанию первой помощи» [7].

5) Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ [8].

6) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [9].

7) ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды, часть 1. Классификация чистоты воздуха» [10].

8) «Отчет о научно-исследовательской работе» ГОСТ 7.32-2017 [11].

9) «Библиографическая запись. Библиографическое описание» ГОСТ Р 7.0.100-2018 [12].

10) «Положение о подготовке и защите выпускных квалификационных работ в виде стартап-проектов» СМКО МИРЭА 8.5.1/02.П.05-21 [13].

1 Исследовательский раздел

1.1 Анализ существующих областей применения цифровых симуляций

В настоящее время все большую популярность набирают цифровые симуляции и двойники систем и оборудования, поскольку они обеспечивают большую гибкость моделирования и создания сценариев для имитирования реальных процессов. С их помощью предоставляется возможным отрабатывать поведение персонала на интерактивных моделях без необходимости присутствия на реальном объекте. Зачастую цифровой двойник создают на более ранних стадиях, еще на этапе идеи, чтобы все причастные к объекту лица понимали и представляли, как должен выглядеть и работать разрабатываемый объект. Запрос на такие виртуальные среды в первую очередь поступает от промышленных и инжиниринговых компаний [14].

Можно выделить три основных ситуации, в которых будет полезна цифровая симуляция:

1) объект еще не существует в реальном мире, но есть потребность в интерактивной визуализации и ускорении его проектирования.

2) объект в физически труднодоступном месте, а эксплуатация неподготовленным оператором или даже нахождение в помещении опасно, например, если это реплика атомной станции или активного ядра атомной подводной лодки).

3) объект является уникальным прототипом, существующем в единственном экземпляре либо очень узком объеме и доступе, а тестирование или обучение на нем кадров должно быть произведено большим количеством человек.

Наглядным примером может выступать разработка отечественной компании Gaidamaka.pro интерактивной VR-модели газораспределительной станции для инжиниринговой компании «Газэнергокомплект». Проект был представлен на Петербургском международном газовом форуме в октябре 2021

года. В зависимости от установленных параметров, активированных пользователем, модель станции автоматически реагировала: включалась сигнализация, активизировались алгоритмы выравнивания давления, производилось автоматическое и ручное управление подачей газа с основных линий на резервные, имитировались аварийные ситуации с демонстрацией мер их предотвращения. Подобная симуляция, несомненно, является наглядной демонстрацией работы неподготовленному зрителю либо для обучения новых кадров [15].

1.2 Анализ конкурентных технических решений цифровых симуляций, используемых в пространстве IT технологий

Если говорить о конкретных примерах конкурентных технических решений цифровых симуляций по выбранной тематике, то стоит упомянуть о научной образовательной программе Labster, разработанной в 2012 году в Дании. Программа предоставляет возможность использовать на персональных компьютерах 298 виртуальных симуляций из различных сфер, включающих в себя биологию, химию, микробиологию, физику, органическую химию и другие дисциплины [16].

Другим схожим примером может выступать онлайн-ресурс для преподавания химии от Университета Карнеги Меллон ChemCollective. ChemCollective – это набор виртуальных лабораторий, сценариев, учебных пособий, онлайн-курсов и тестов, материалы которого широко используются для преподавания химии в старшей школе и могут быть полезны в университете. Недостатком данного ресурса является абстрактность и схематичность процессов и оборудования, отсутствие правдоподобных объектов и элементов взаимодействия и окружения, что может негативно сказываться на усвоении обучающимися материалов и недостаточной вовлеченности в процесс [17].

1.3 Выбор средств разработки приложения

Для прототипирования и разработки симуляций и виртуальных пространств используют игровые движки, поскольку они предоставляют богатый инструментарий для создания цифровых симуляций или самых разнообразных игр.

Выбор игрового движка пал на Unreal Engine по причине того, что именно этот движок в сравнении с конкурентами позволяет создавать красочные изображения и использовать трехмерные объекты высокой детализации, достигающей фотореалистичного качества и схожести с объектами реального мира. [18-20].

Также стоит заметить, что выбор движка сделан по причине использования в UE системы нодового программирования Blueprint, позволяющей снизить время и сложность разработки за счет использования заготовленных компонентов и конструкций интерфейса программирования [21].

1.3.1 Выбор средств разработки трехмерных моделей

Виртуальные симуляции используют трехмерные модели, состоящие из точек, и полигонов – простейших строительных элементов абсолютно каждого 3D объекта. Для работы и эффективного использования этих деталей принято использовать программы трехмерного моделирования, одной из которых является 3Ds Max, выбранный по причине наличия большого опыта работы с ним, а также потому, что данное ПО было изучено и освоено на занятиях по соответствующей дисциплине в процессе обучения по направлению «Программная инженерия» [22].

Но для того, чтобы смоделированный объект выглядел реалистично и вызывал у пользователя чувство погружения, одной программы моделирования будет недостаточно, требуется также использовать специализированное обеспечение для текстурирования объекта, то есть придания ему правдоподобного внешнего вида и облика за счет нанесения физических

материалов, условных обозначений и элементов детализации на поверхность модели. Для этих нужд использовался Adobe Substance Painter, являющийся стандартом по части моделирования трехмерных объектов любых размеров и любой сложности [23].

1.3.2 Выбор средств разработки алгоритмов лаборатории и оборудования в ней

Разработка алгоритмов как самой виртуальной лаборатории, так и всего используемого оборудования в ней производилась всецело с использованием технологии нодового программирования Blueprints, доступной исключительно в игровом движке UE.

Как уже было кратко упомянуто в пункте 1.3, данная технология позволяет снизить время и сложность разработки алгоритмов всех компонентов симуляции, а также связать между собой различные виды событий, происходящих с пользователем, будь то включение ультрафиолетовой лампы в помещении при нажатии настенного выключателя или проигрывание аудиодорожки, создающей постоянный звуковой эффект, имитирующий шум системы вентиляции для создания большего эффекта погружения на пользователя.

1.4 Постановка задачи к разработке и исследованию цифровой симуляции

Входными данными при исследовании и последующей разработке цифровой симуляции являются требования, которым должны удовлетворять разрабатываемые компоненты системы для обеспечения успешной и качественной разработки, включающие в себя перечень всех ожидаемых атрибутов, свойств или качеств программной системы, подлежащей последующей реализации [24].

Основной задачей разрабатываемого симуляционного ПО является тестирование знаний обучающихся и работников стерильной комнаты, а также помощь в адаптации к последующей работе в такой лаборатории на основе ранее

полученного опыта взаимодействия с оборудованием и элементами окружения лаборатории. Это означает, что для наилучшего опыта взаимодействия и получения более полного представления о том, с чем предстоит встречаться специалистам в их будущей профессиональной деятельности, требуется разработать максимально приближенную к реальному симуляцию химической лаборатории.

С этой целью были составлены следующие требования к симуляции химической лаборатории и ее компонентам:

1) Объекты и виртуальная лаборатория должны быть аналогичны реальным физическим размерам.

2) Объекты на игровой сцене должны иметь коллизию, то есть быть непроницаемыми для пользователя и камеры.

3) Разрабатываемые трехмерные модели должны иметь фотореалистичный внешний вид.

4) Объекты должны иметь соответствующие алгоритмы поведения физического оборудования.

5) Алгоритмы работы программы должны повторять реальное поведение оборудования как в штатной эксплуатации, так и при нестандартной работе пользователя.

6) Симуляция должна быть обеспечена звуковыми эффектами для создания эффекта погружения у пользователя.

В результате разработки должна получиться фотореалистичная симуляция, удовлетворяющая всем поставленным выше требованиям, визуальная составляющая которой будет создавать у пользователя эффект погружения, благодаря которому у него будет создаваться впечатление работы с реальными элементами окружения лаборатории.

1.5 Выводы к разделу 1

В результате работы над первым разделом была кратко рассмотрена предметная область, также упомянуты аналоги разрабатываемого программного продукта, кроме того, были обоснованы решения по выбору конкретных средств прототипирования и разработки создаваемого ПО.

Так как было представлено несколько примеров аналогичных виртуальных лабораторий и симуляций профессиональной деятельности, можно сделать вывод о том, что тема цифровых клонов и симуляторов востребована и продолжает расти в объеме используемых сфер. Требования к разработке свидетельствуют о том, что необходимо спроектировать систему, устойчивую к различным неправомерным действиям пользователей, которые выходят за рамки поставленного алгоритма.

2 Проектный раздел

2.1 Описание жизненного цикла разработки цифровых двойников

Жизненный цикл разработки цифрового двойника представляет собой определенную последовательность действий и процедур, в результате которых получается трехмерная модель, полностью готовая к интеграции в пространство симуляции и обладающая требуемыми параметрами, такими как идентичные реальным физические параметры габаритов, правдоподобный внешний вид, модульность компонентов для их успешной анимации, если эти компоненты подвижны относительно всей модели.

Для получения аналогичных реальным физическим размерам объектов используется изначальное выстраивание требуемых измерительных единиц, а также реальные замеры моделируемых объектов, будь то высота и длины стен помещений лаборатории или же измерения размеров станков с точностью до 1 миллиметра.

После получения всех необходимых для моделирования величин создаваемых объектов происходит процесс моделирования с использованием обширного инструментария программы 3Ds Max, в результате которого получается цифровая модель объекта, точно передающая реальные физические размеры живого аналога [21].

Для качественной последующей работы над обликом модели ее необходимо перед этим развернуть, то есть создать UV-развертку для всех моделируемых объектов, что также можно сделать с использованием инструментов 3Ds Max [21].

Важно также помнить, что перед экспортированием смоделированных объектов надо проверить, какие компоненты и детали будут подвижными, чтобы отделить их от общей конструкции. Это позволит в дальнейшем анимировать их, то есть придать им определенное поведение перемещения в симулируемом пространстве.

Финальным этапом жизненного цикла разработки цифровых двойников является текстурирование развернутой ранее модели, экспортированной в формате .fbx в программу Substance Painter. В ней производятся все необходимые действия для придания фотореалистичного облика цифровому клону, после которых получаются готовые текстурные карты, которые будут использованы в движке UE [22].

2.2 Разработка архитектуры системы

Архитектура системы представляет из себя организацию симуляции, представленную в виде ее элементов, их взаимоотношений между собой и со средой, а также принципы, определяющие ее проектирование и разработку. При выборе и следованию правильной архитектуре можно экономить силы и время на развитие проекта или правки, а также повысить общую производительность работы всей разрабатываемой системы.

В разрабатываемой симуляции использовалась стандартная архитектура движка, поскольку предоставляет весь требуемый функционал и взаимодействие пользователя с системой.

Unreal Engine имеет удобно расширяемую систему Gameplay Framework, которая представляет все объекты как экземпляры классов, все из которых унаследованы от общего предка – класса UObject. Архитектура представлена на рисунке 2.1.

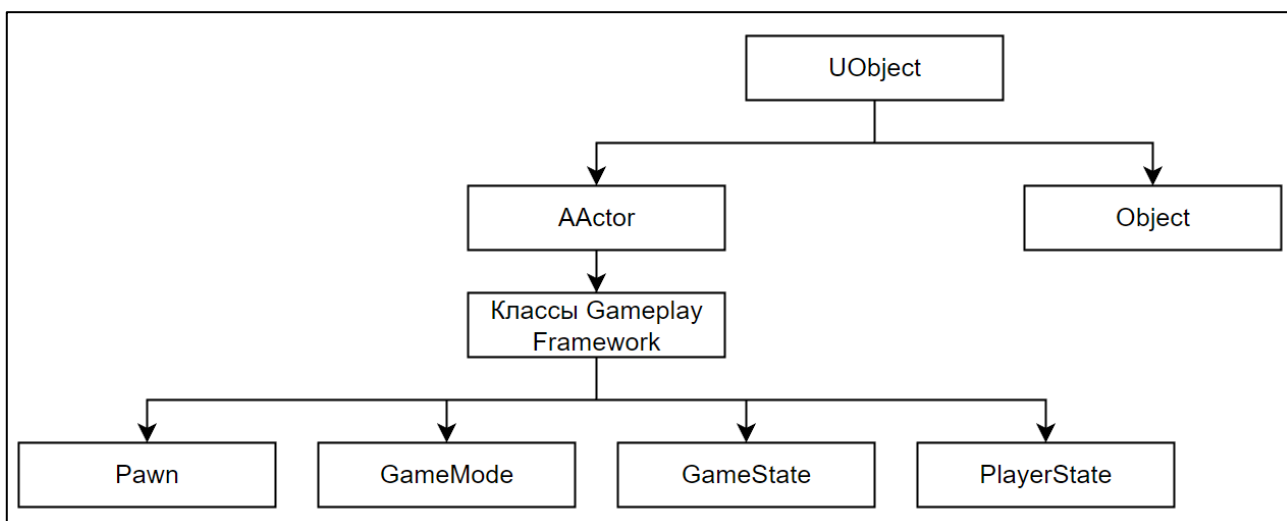


Рисунок 2.1 –Архитектура классов в Unreal Engine [25]

Специальные элементы Actor, одним из которых является игровой персонаж, являются экземплярами классов, унаследованных от класса `AActor`, который в свою очередь унаследован от базового класса `UObject`. Класс `Object` также, как и класс `AActor`, наследуется от вышеупомянутого базового класса, но, в отличие от класса `AActor`, не может быть помещен в игровую сцену. Классы фреймворка `Gameplay Framework` также наследуются от класса `AActor` и предоставляют разнообразный функционал. Основные геймплейные классы `GameMode`, `GameState` представляют собой структуру игры и содержат информацию о режиме игры, необходимых задачах, стоящих перед игроком для успешного прохождения уровня и завершения игры. Класс `PlayerState` включает в себя информацию о самом игроке, его счете, количестве здоровья, внутриигровом уровне и прочих характеристиках, если в игре присутствуют такие механики.

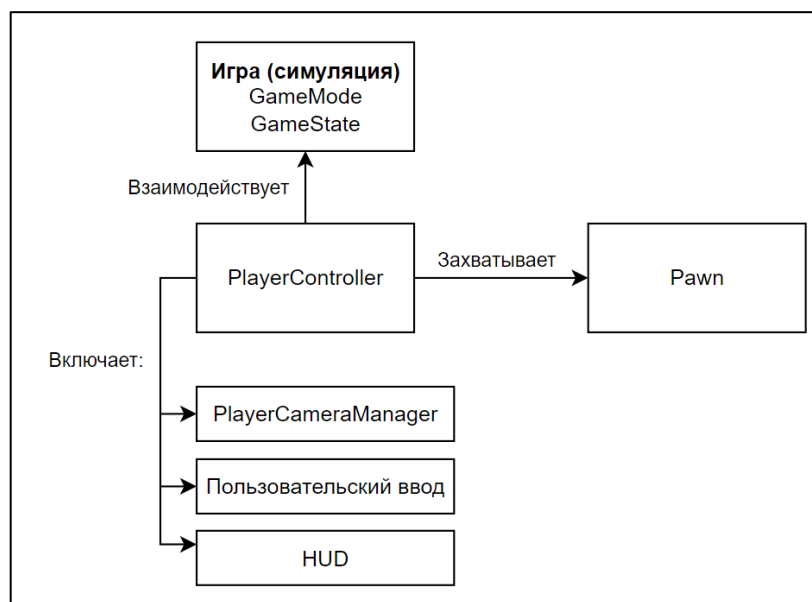


Рисунок 2.2 – Взаимодействие классов Gameplay Framework [26]

Как показано на рисунке 2.2, с помощью интерфейса `PlayerController` пользователь может захватывать объекты класса `Pawn`, которые предоставляют ему физическую репрезентацию себя в игровом мире с возможностью передачи пользовательского ввода в систему, будь то движение мыши, нажатие на клавиши клавиатуры или взаимодействие с системой посредством VR очков и контроллеров. Для отображения необходимой информации на экране пользователя используется так называемый HUD, а для обработки работы камер первого или третьего лица используется класс `PlayerCameraManager` [25].

Все используемые объекты в симуляции, с которыми пользователю предстоит взаимодействовать, реализованы с помощью класса `Actor`, который наследуется от базового класса `AActor`. Взаимодействие пользователя с симуляцией происходит с помощью класса `PlayerController` над экземпляром классом `FirstPersonCharacter`, который является унаследованным классом от класса `Character`, который, в свою очередь, унаследован от класса `Pawn` [26-27].

2.3 Разработка моделей цифровых двойников

Для точной и детализованной разработки моделей были произведены замеры помещений и оборудования в химической лаборатории Московского

Института ТХТ им. Ломоносова. Для измерения длины, ширины и высоты комнат были произведены измерения посредством лазерной линейки, более мелкие элементы и детали оборудования замерялись рулеткой. После сбора данных о физических величинах началась стадия моделирования объектов в программе 3D-моделирования 3Ds Max 2020. Выбор данного ПО был сделан из соображений наличия всех необходимых инструментов полигонального моделирования, а также субъективных предпочтений и имеющегося опыта работы [21].

Пример смоделированных помещений в интерфейсе 3Ds Max представлен на рисунке А.1 в приложении А. Другие примеры герметичного шлюза стерилизации, вентиляционного рукава и настенного манометра представлены на рисунках А.2-А.4 в приложении А. В общем процесс моделирования трехмерных клонов представляет собой грамотное использование примитивных стереометрических форм, таких как кубы, цилиндры и сферы, с их последующим изменением на уровнях вершин и полигонов.

После успешного моделирования трехмерных объектов были получены UV-развертки объектов для их последующего текстурирования в программе Adobe Substance Painter [22].

В результате выполнения деятельности по разработке фотореалистичных трехмерных клонов получилось виртуальное окружение, наполненное элементами, с которыми пользователю предстоит взаимодействовать в процессе работы в лаборатории.

2.4 Разработка алгоритмов цифровых двойников и окружения

С целью получения подробного описания требуемого взаимодействия пользователя с виртуальной стерильной комнатой и объектами в ней была проведена консультация с руководителем деятельности в стерильной комнате Института ТХТ в условиях реального аналога разрабатываемого помещения, на которой были получены инструкции, спроектированные и разработанные в

данном разделе. Одним из основных инструментов лаборантов является герметичный шлюз между нестерильной и стерильной комнатами, позволяющий передавать необходимые для работы предметы с их очисткой от чужеродных веществ. Алгоритм работы шлюза представлен на рисунке 2.3.

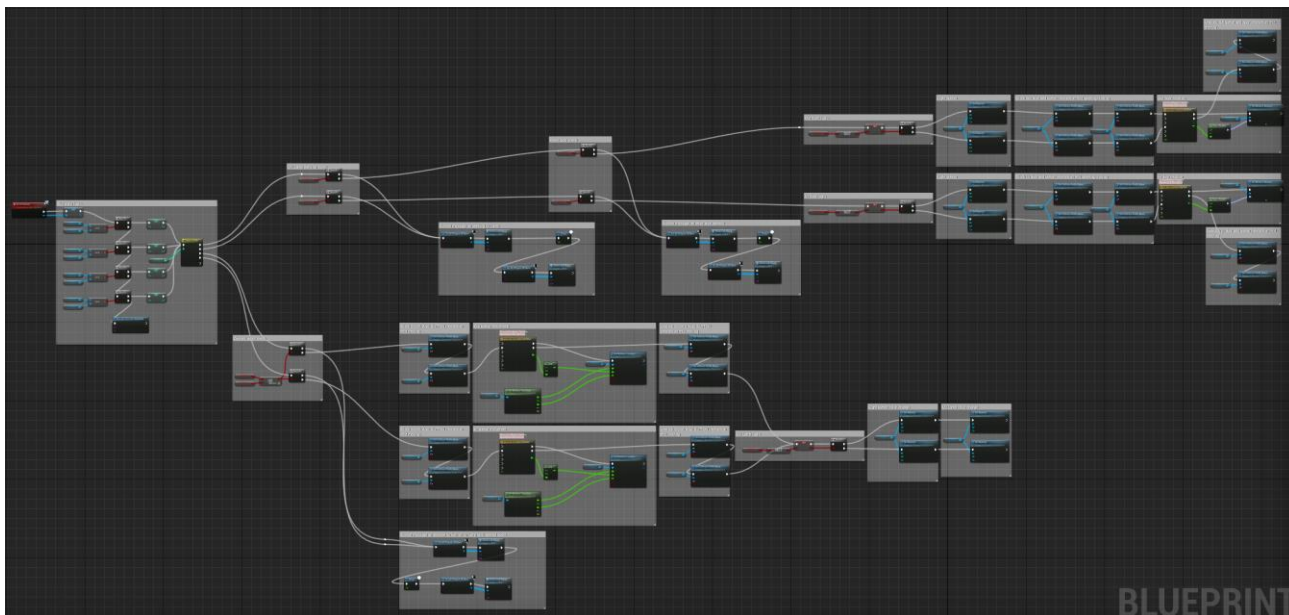


Рисунок 2.3 – Скриншот блюпринта герметичного шлюза передачи предметов
[разработано автором]

Поскольку рисунок выше демонстрирует лишь ветвление узлов блюпринта и из-за своего размера не предоставляет возможность комфортного чтения содержимого, была построена вспомогательная диаграмма данного блюпринта, изображенная на рисунках 2.4-2.6 далее.

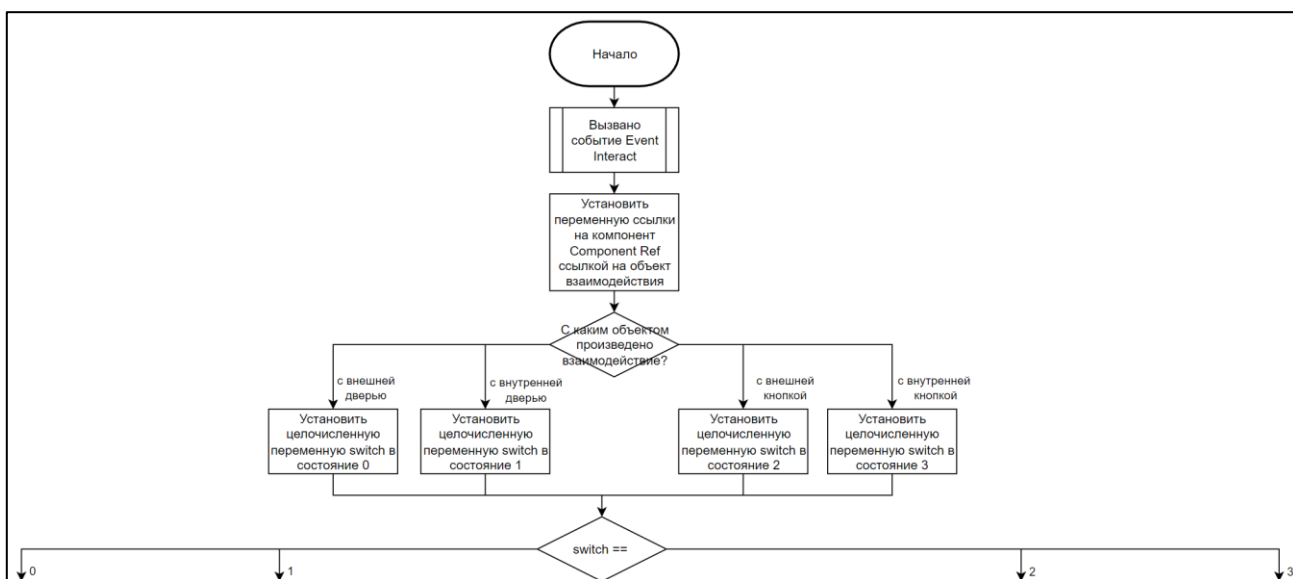
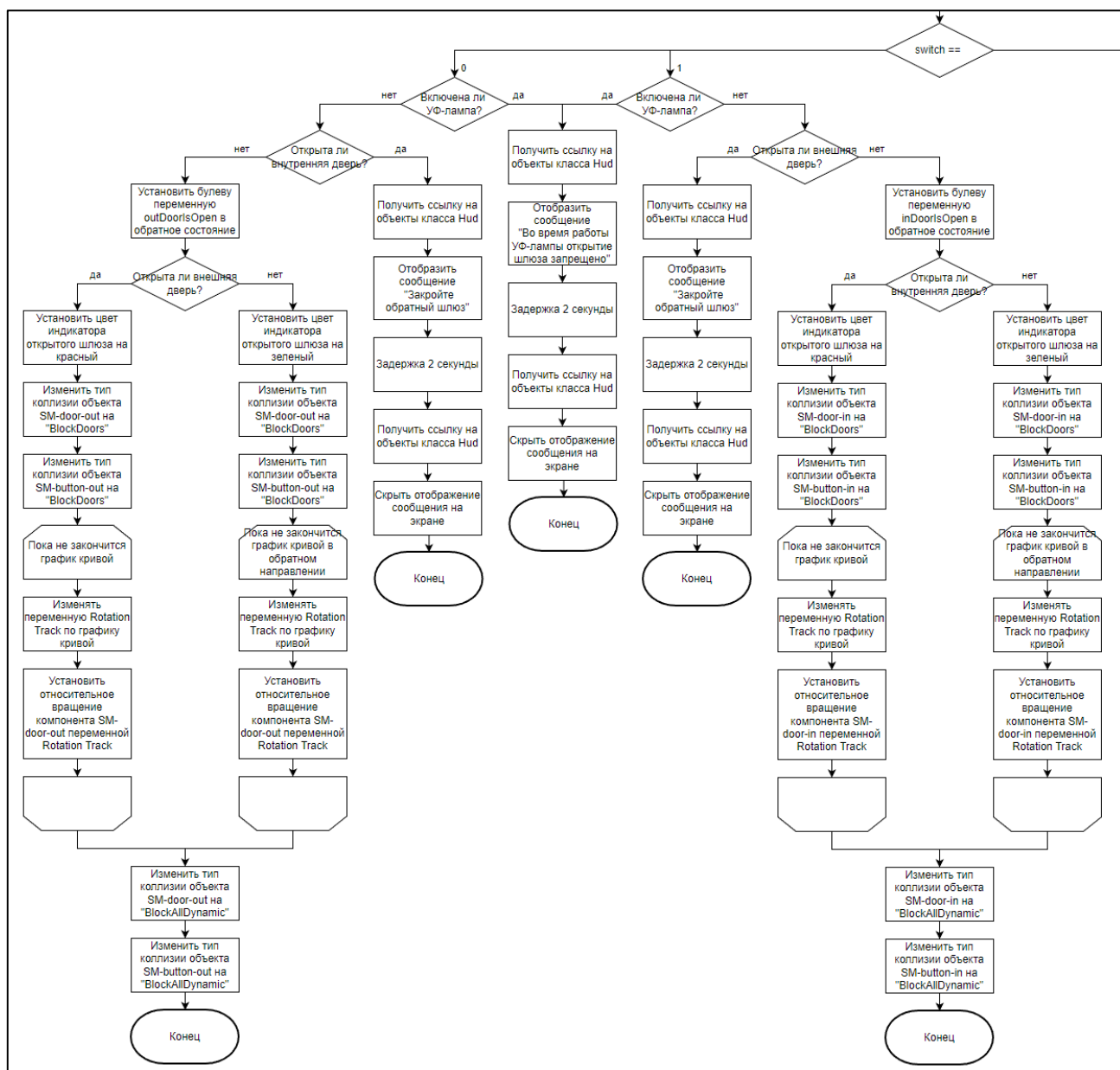


Рисунок 2.4 –Первая часть диаграммы алгоритма герметичного шлюза
[разработано автором]

При взаимодействии с шлюзом передачи предметов первоначально сохраняется ссылка на компонент, с которым было произведено взаимодействие, в отдельную переменную для дальнейшего взаимодействия с ней. Затем производится сравнение того, с каким объектом было произведено взаимодействие, с тем, какой из компонентов реализует какую из четырех ветвей взаимодействия. В специальную целочисленную переменную switch сохраняется значение, присвоенное определенному компоненту: внешней и внутренней дверцам соответствуют значения 0 и 1, внешней и внутренней кнопкам включения стерилизации соответствуют значения 2 и 3. От этой переменной switch в логическом узле происходит ветвление потока данных аналогичным условным оператором switch. Такая структура используется для параллелизма операций в блюпринте и положительно сказывается на ресурсоемкости и скорости работы всей симуляции.

На рисунке 2.5 изображена первая половина графа операций, связанного с взаимодействием с дверьми шлюза передачи предметов.



Представленная последовательность операций компонентов объекта представлена с целью демонстрации взаимодействия объектов на сцене с пользователем посредством выведения на экран информационных сообщений или изменения типа коллизии, а также между собой при изменении различных переменных состояний.

Следующий рисунок 2.6 демонстрирует оставшуюся часть блюпринта герметичного шлюза.

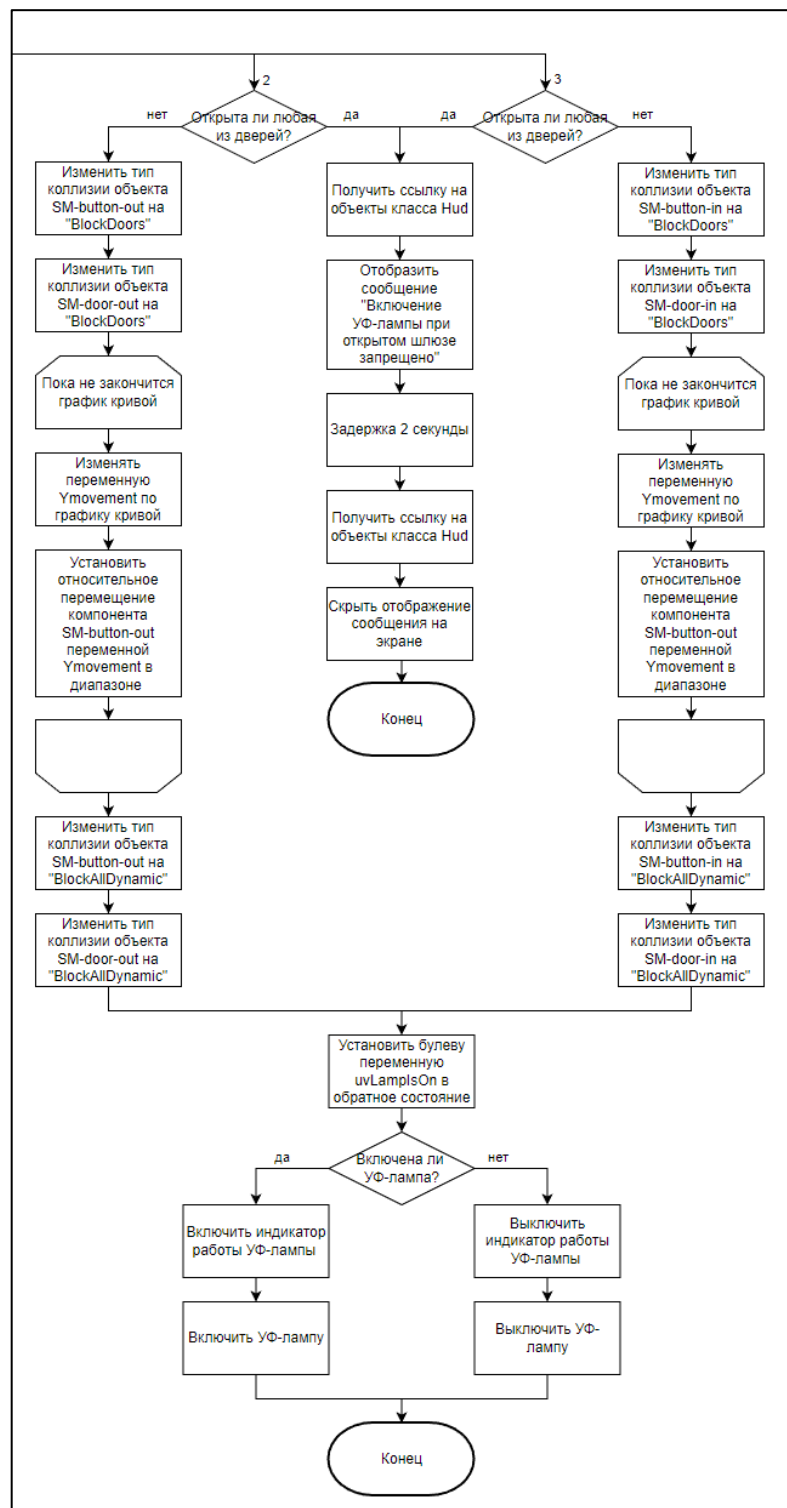


Рисунок 2.6 –Третья часть диаграммы алгоритма герметичного шлюза
[разработано автором]

На рисунке изображена финальная часть последовательности при взаимодействии пользователя с одной из кнопок включения очистки

герметичного шлюза. Используемые в данном блюпринте графики функций RotationTrack и Ymovement будут изображены на рисунках 2.7-2.8.

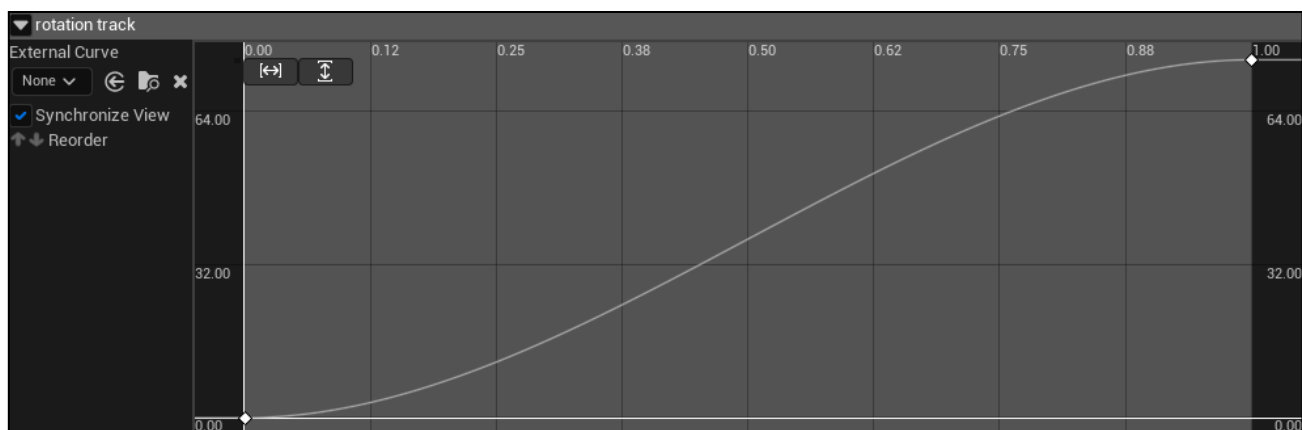


Рисунок 2.7 – Скриншот графика функции RotationTrack [разработано автором]

График функции RotationTrack позволяет правдоподобно и плавно открывать дверцы шлюза для передачи вещей, изменяя переменную относительного угла вращения с 0 до 75 градусов. Подобное поведение представлено в видеозаписи взаимодействия с симуляцией в приложении Б. Последующий рисунок 2.8 демонстрирует график функции Ymovement, используемый для анимации правдоподобного нажатия кнопки на приборной панели шлюза для передачи предметов в стерильное помещение. Симметричный график начинает свое движение в нулевой координате и останавливается в точке со значением 1, после чего вновь возвращается в положение нуля.

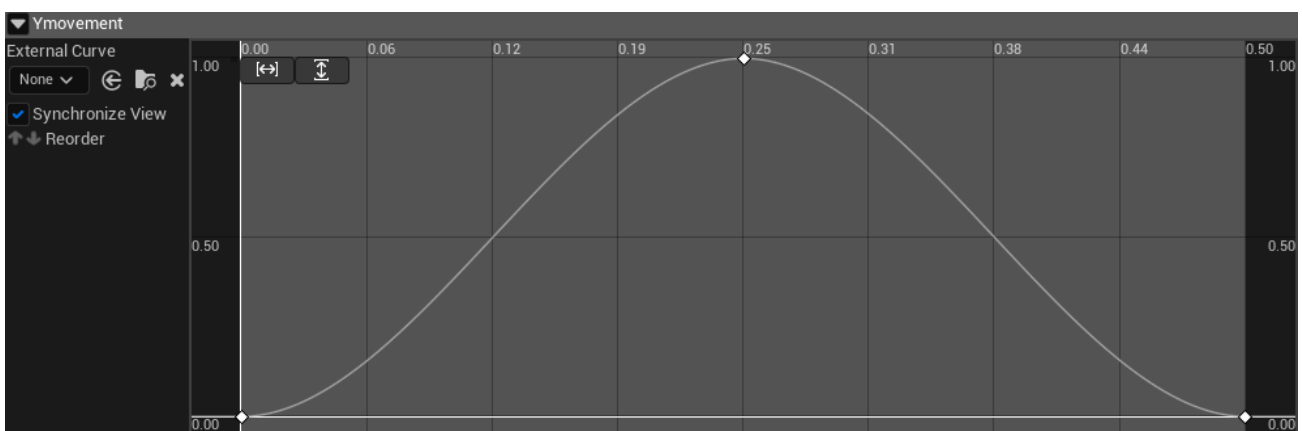


Рисунок 2.8 – Скриншот графика функции Ymovement [разработано автором]

Изменение координаты кнопки графиком Ymovement позволяет получить желаемый эффект вдавливания кнопки в приборную панель герметичного шлюза, что представлено на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Скриншот демонстрации работы кнопки включения УФ-лампы герметичного шлюза передачи предметов [разработано автором]

Можно видеть, что перед нажатием кнопки очистки шлюза в HUD отображается символ ладони, что говорит о возможности взаимодействовать с кнопкой. После нажатия на нее символ ладони пропадает, что сделано посредством изменения типа коллизии объекта кнопки. После завершения анимации нажатия кнопка возвращается в исходное положение, а фиолетовый

световой индикатор сигнализирует о том, что начался процесс очистки герметичного шлюза передачи предметов.

На рисунках диаграмм блюпринта 2.5-2.6 присутствуют блоки изменения типов коллизии, которые играют важную роль при создании симуляции с строгой последовательностью действий пользователя в ней, поскольку позволяют отключать возможность взаимодействия с определенными объектами, если того требуют правила по работе в лаборатории.

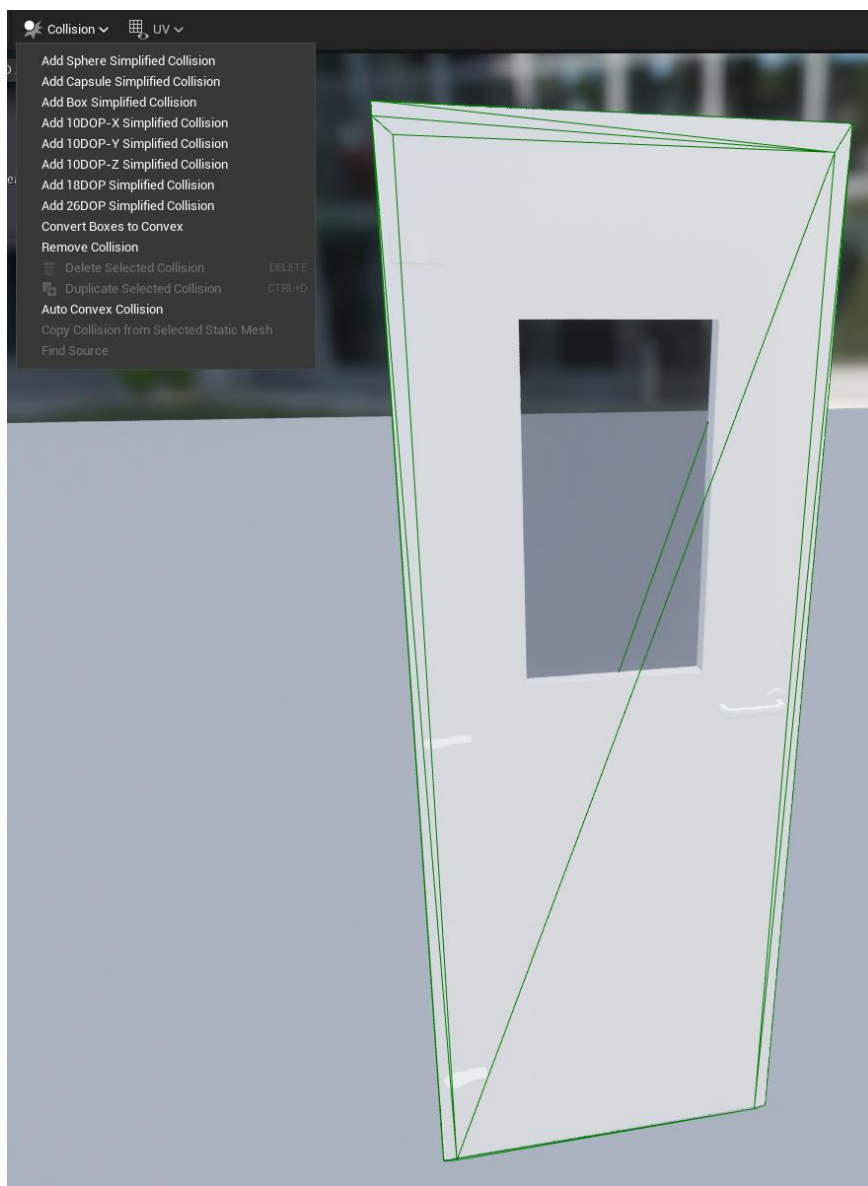


Рисунок 2.10 – Скриншот коллизии модели герметичной двери [разработано автором]

Выше на рисунке 2.10 изображена герметичная дверь, вокруг которой расположены зеленые полосы, изображающие габаритный контейнер коллизии, которая предотвращает проникновение пользователей сквозь двери и другие объекты, которые имеют коллизию. В выпадающем сверху меню представлены инструменты для настройки коллизии, но на этот объект применена автоматическая сетка коллизии нажатием опции Add 26DOP Simplified Collision. Это сделано для того, чтобы сохранить физическое свойство непроницаемости цифровых двойников из твердых материалов.

У двери из рисунка выше установлен изначальный тип коллизии BlockAllDynamic, блокирующий все проходящие через дверь объекты и вектора, но UE позволяет создавать собственные типы коллизии, один из которых представлен далее на рисунке 2.11.

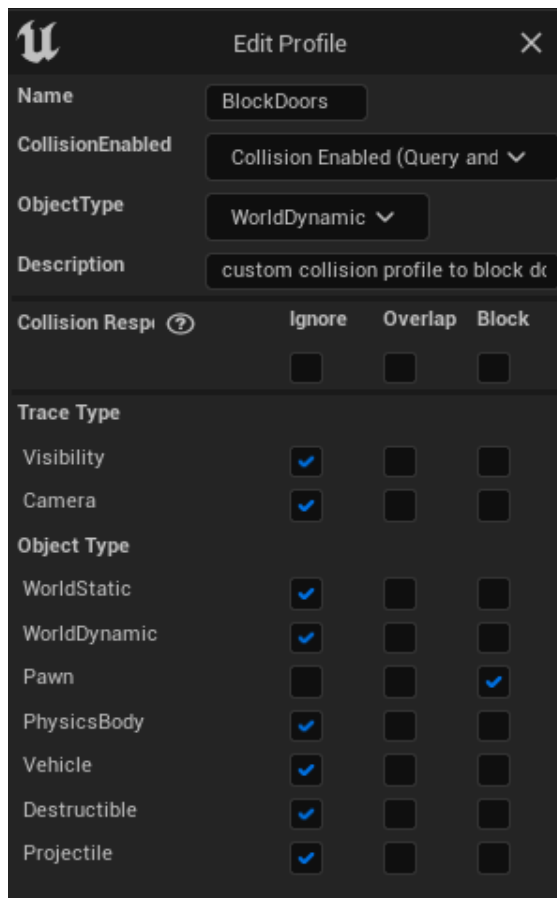


Рисунок 2.11 – Скриншот созданного типа коллизии для блокировки взаимодействия пользователя с объектом [разработано автором]

Тип коллизии BlockDoors разработан и используется для того, чтобы блокировать возможность взаимодействия пользователя с объектом, в данном примере, дверью, но также и не пропускать сквозь себя пользователя. Галочка около типа объекта Pawn стоит в опции Block, благодаря чему получается достигнуть требуемого поведения от объектов с таким типом коллизии, к примеру, во время анимации, чтобы дверь не было возможным прервать в момент открытия или закрытия, сломав тем самым звуковую дорожку открывания двери, рассчитанную на определенное время анимации. Это в свою очередь делает работу модулей окружения более надежной и предсказуемой, что и требуется при следовании строгой последовательности действий эксплуатации оборудования лаборатории.

Другим аспектом разработки симуляции и частью процесса взаимодействия с виртуальной окружающей средой является звук. Поскольку это ЦД, требуется сделать максимально приближенную к реальной копию шумов и звуков в материальной лаборатории для того, чтобы приучать будущих лаборантов работать в атмосфере постоянного шума вентиляционного оборудования, без которого не могут быть достигнуты требуемые классы чистоты помещений. На рисунке 2.12 представлен скриншот звукового блюпринта звуковой атмосферы симуляции.

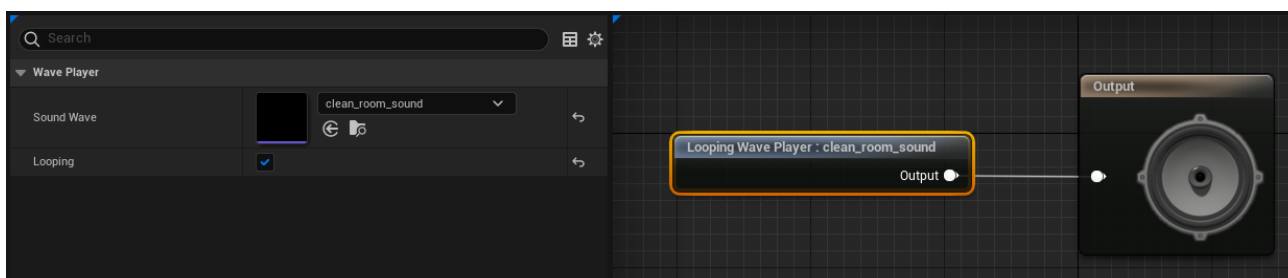


Рисунок 2.12 – Скриншот звукового блюпринта создания вентиляционного шума [разработано автором]

В левой части скриншота можно видеть галочку возле опции Looping, это сделано с целью создания непрерывного звучания звуковой дорожки с

записанным звуком вентиляции в реальной стерильной комнате для имитации постоянного наличия шума на рабочем пространстве. Зацикленная звуковая волна передается в узел вывода звука, который в виде невидимого объекта располагается на игровой сцене.

Другим примером звукового сопровождения являются звуки ходьбы персонажа, которым управляет пользователь, что можно видеть на рисунках 2.13-2.14.

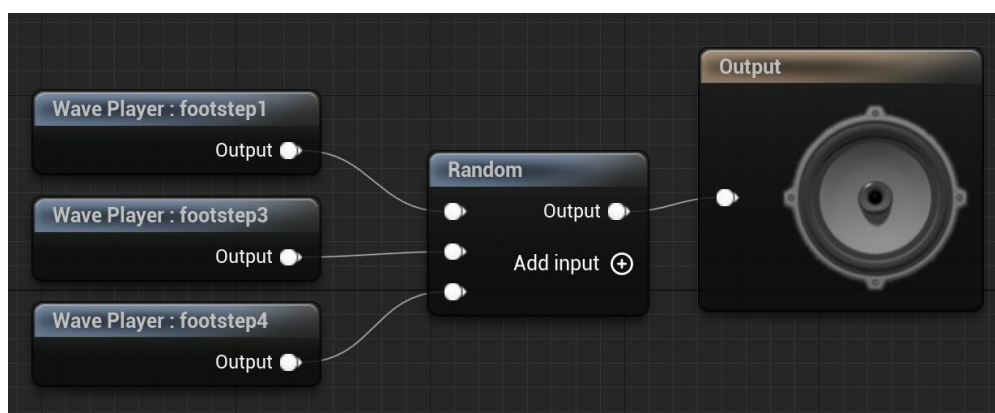


Рис 2.13 – Скриншот звукового блюпринта ходьбы персонажа [разработано автором]

С целью придания разнообразия и правдоподобия звуков ходьбы было использовано три различных звуковых дорожки шагов, записанных в лабораторных условиях для более точной имитации реальной ходьбы пользователя в помещениях симуляции. Нода Random получает на вход три звуковых дорожки и случайным образом выдает в поток вывода один звук шага.

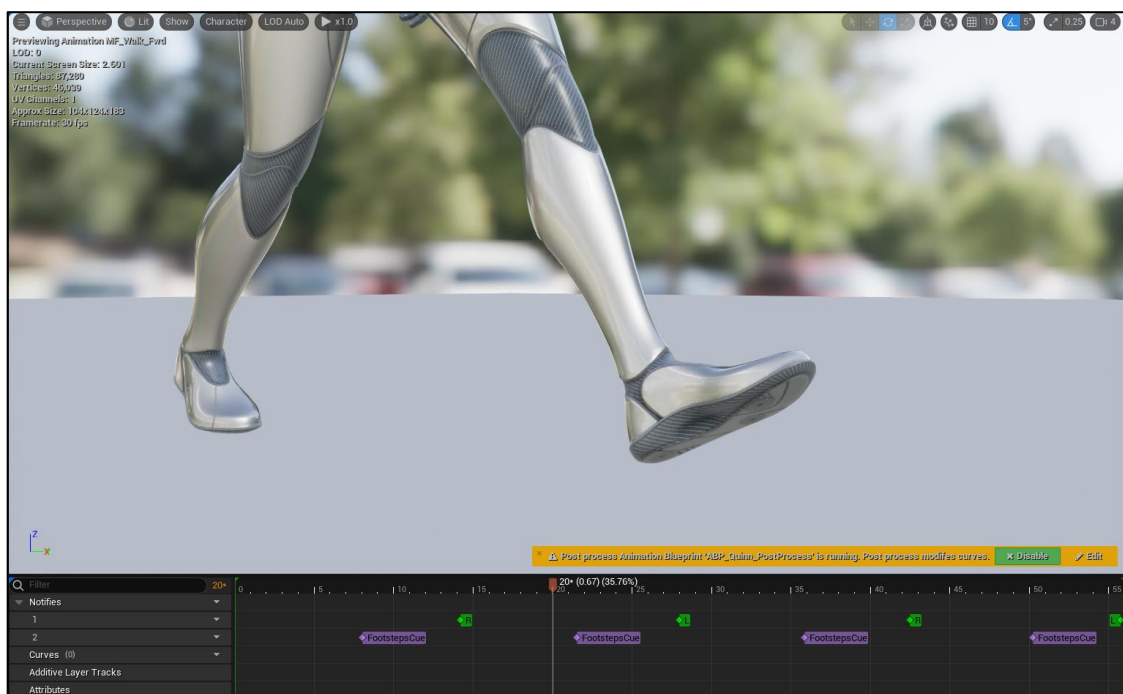


Рисунок 2.14 – Скриншот интерфейса взаимодействия анимации персонажа с звуком ходьбы [разработано автором]

Рисунок 2.14 демонстрирует процесс связывания анимации персонажа с вызовом звукового эффекта шага. Фиолетовые отрезки установлены на временной прямой таким образом, чтобы наиболее правдоподобно звучать при наступлении ноги персонажа на поверхность пола. Пример звуковых эффектов шума в помещениях и ходьбы представлен на видеоролике в приложении Б.

2.5 Выводы к разделу 2

Подводя итоги моделирования и создания алгоритмов ЦД, можно прийти к заключению, что выбранный инструментарий для моделирования и разработки модулей и элементов реализуемой симуляции верно подобран для решения поставленной задачи в работе. Выбранный стек технологий позволяет не ограничиваться в реализации требуемых свойств продукта и полноценно передать особенности физической среды в симулируемом пространстве, будь то звуковое сопровождение или правдоподобная имитация использования объектов в виртуальной лаборатории.

3 Технологический раздел

3.1 Разработка интерфейса при работе с симуляцией

HUD и интерфейсы для взаимодействия пользователя с системой разрабатывались другим участником ВКР стартапа, поэтому в данном пункте будет описаны лишь элементы интерфейса, использующиеся при непосредственном взаимодействии пользователя с помещениями лаборатории и объектами окружения симуляции.

В случаях, когда пользователь пытается совершить неправильное действие, нарушающее правила эксплуатации стерильной комнаты или их компонентов, на экран выводятся соответствующие информационные сообщения через HUD. Также сообщения могут выводиться на экран для уведомления пользователя о взаимодействии с важными для процесса эксплуатации лаборатории элементами, к примеру, при начале очистки рабочей зоны лаборатории. Несколько реализаций подобных текстовых сообщений представлено на рисунках 3.1-3.2 ниже.

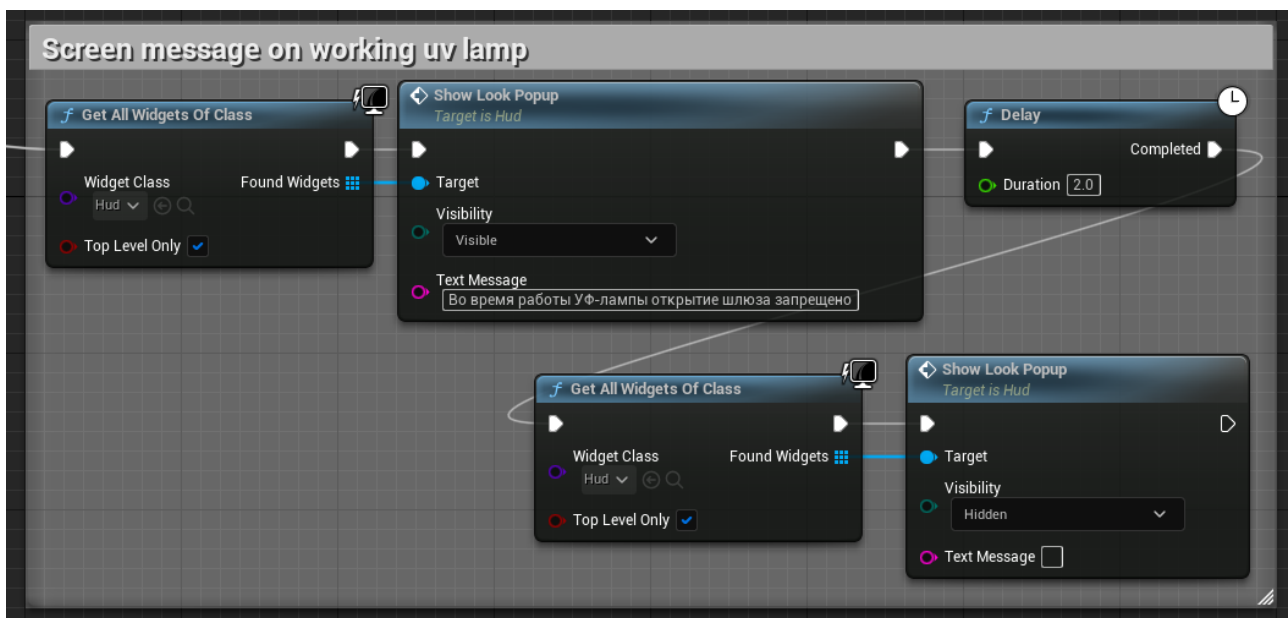


Рисунок 3.1 – Скриншот части блюпринта с реализацией вывода информационного сообщения на экране пользователя [разработано автором]

Нода Show Look Popup используется для вывода на экран требуемого сообщения, поле Visibility которой настраивает режим отображения сообщения

на видимый или невидимый. После двухсекундной задержки с помощью ноды Delay информационное сообщение скрывается с экрана с помощью установки переменной Visibility в состояние скрытого объекта HUD Hidden. Аналогичным образом в остальных блюпринтах реализованы все сообщения, выводимые на экран пользователя.



Рисунок 3.2 – Скриншот вариантов текстового сообщения при включении стерилизации рабочей зоны [разработано автором]

Пользователь может и не заметить, что включил очистку стерильного помещения ультрафиолетовой лампой, потому что в реальной лаборатории это никак не обозначается, поэтому на экран выводятся соответствующие текстовые сообщения для удобства и понимания происходящих процессов в симуляции.

3.2 Разработка бизнес-логики приложения

Бизнес-логика разрабатываемого программного решения представляет собой основные правила и процессы, которые регулируют работу и взаимодействие пользователя, системы и структурами внутри симуляции между собой. Условно приложение можно разделить на несколько слоев, изображенных на диаграмме последовательности на рисунке 3.3.

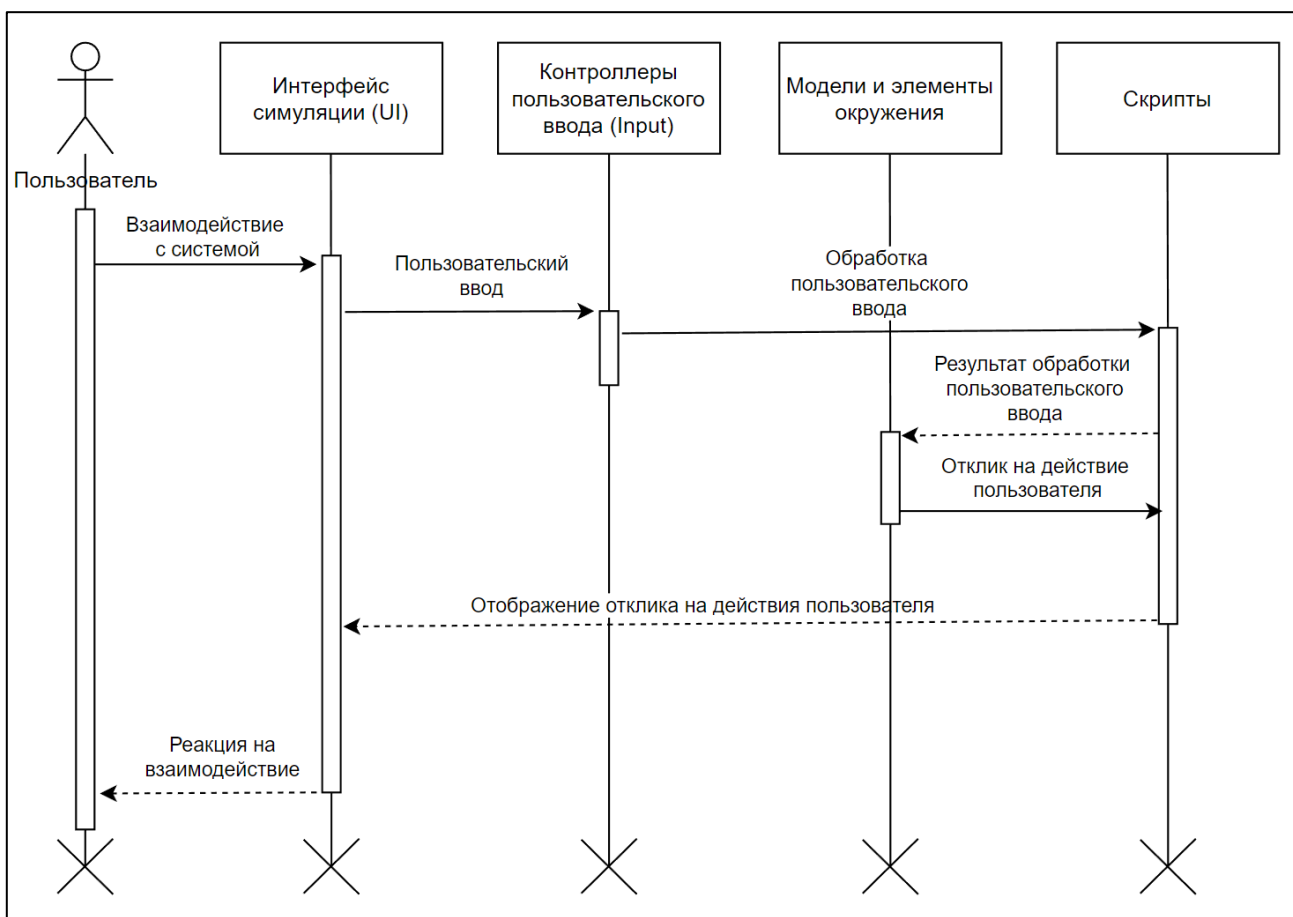


Рисунок 3.3 –Диаграмма взаимодействия пользователя со слоями системы
[разработано автором]

Кроме пользовательского слоя в системе присутствуют: слой интерфейса приложения (UI), слой контроллеров пользовательского ввода (Input), слой моделей и элементов окружения, а также слой скриптов и всей внутренней логики симуляции. Интерфейс симуляции представляет собой совокупность элементов отображения информации в доступном для пользователя представлении. Это могут быть визуальные элементы интерфейса, HUD, методы вывода информации пользователю на экран. Контроллерами пользовательского ввода являются все используемые классы для получения пользовательского ввода и обработки в понятный игровому движку вид информационных потоков. Моделями и элементами окружения служат все те трехмерные объекты, которые располагаются на игровой сцене и участвуют в основном взаимодействии

пользователя с системой для осуществления прогресса. Скриптами выступают различные классы и блюпринты, получающие от контроллеров пользовательского ввода обработанную информацию в виде потоков данных и выполняющие определенную логику, влияющую на остальные слои системы.

Взаимодействие между слоями системы начинается с взаимодействия пользователя с системой. После чего интерфейс симуляции принимает это взаимодействие и передает пользовательский ввод контроллерам ввода (Input). Они, в свою очередь, обрабатывают и передают сигналы ввода скриптам элементов системы, которые подвержены взаимодействию пользователя, после чего эти модели и элементы окружения реагируют на действие пользователя и возвращают отклик через пользовательский интерфейс обратно пользователю.

Автоматизации подверглось взаимодействие обучающегося с элементами лаборатории, что реализовано и продемонстрировано на функциональной диаграмме, представленной в приложении В.

3.3 Тестирование приложения

Поскольку у разных пользователей и в разных учебных заведениях используются вычислительные машины различных мощностей, сложно с уверенностью сказать, что разработанная симуляция без труда для графического ядра компьютера будет запускаться и работать без снижения производительности. По этой причине разработка производится с учетом использования симуляции компьютерами средней мощности.

В игровом движке Unreal Engine 5 имеются инструменты для автоматического проведения тестирования и сбора метрик, поэтому с их помощью и будут проведены все необходимые замеры [30].

На рисунке 3.4 представлен результат проведения автоматических тестов основных модулей разработанной системы.

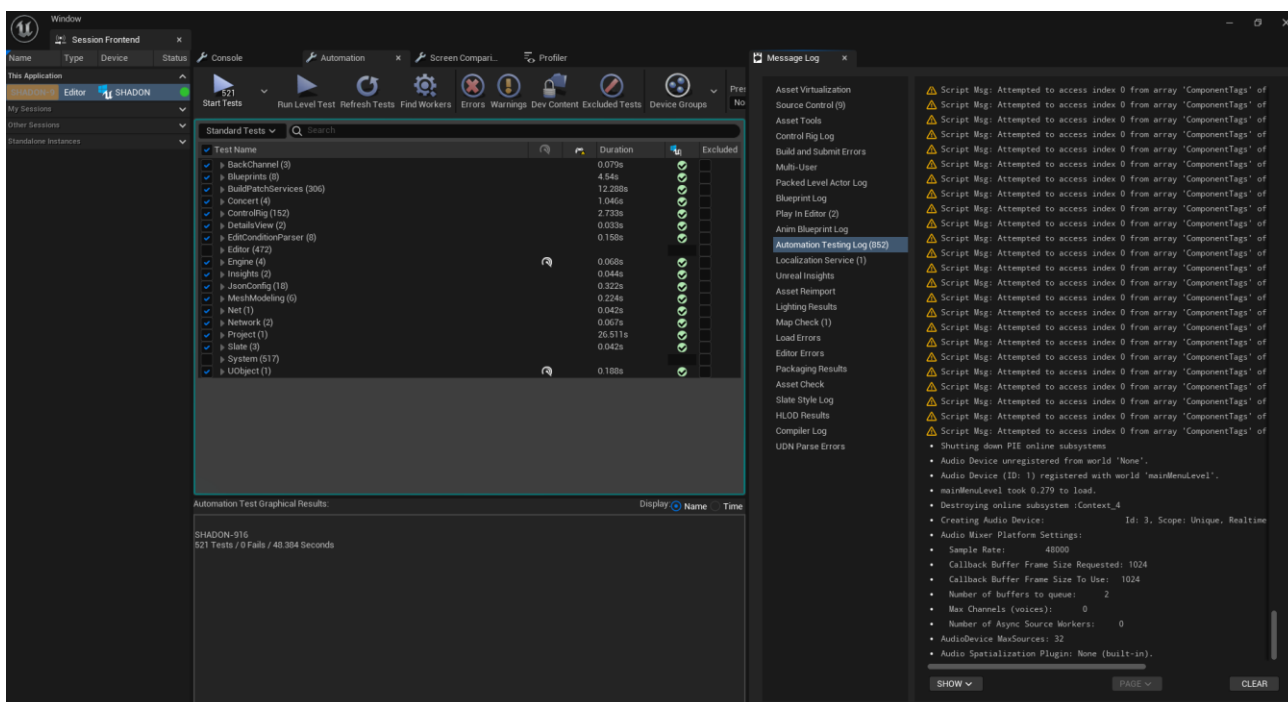


Рисунок 3.4 – Скриншот результатов успешного тестирования основных элементов симуляции [30]

Было произведено автоматизированное unit-тестирование всех выбранных в левой части экрана модулей с целью проверки ожидаемой работы всех базовых функций и классов системы, которые могли пострадать при разработке приложения. Правая часть экрана содержит системные логи, информирующие о каждом индивидуальном тесте и действии, проводимым системой. Ряд зеленых галочек по центру сообщает о том, что все тесты успешно прошли проверку и не выявили никаких неисправностей или проблем.

Кроме того, было проведено тестирование производительности на слабо-производительном компьютере, результат представлен на рисунках 3.5-3.6 ниже.

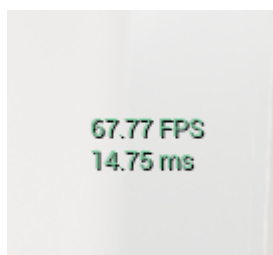


Рисунок 3.5 – Скриншот счетчика кадров в секунду при запуске симуляции на слабо-производительном компьютере [разработано автором]

Во время работы отображались в среднем 67 кадров в секунду, что является комфортным показателем для работы без критических снижений производительности и задержек в работе.

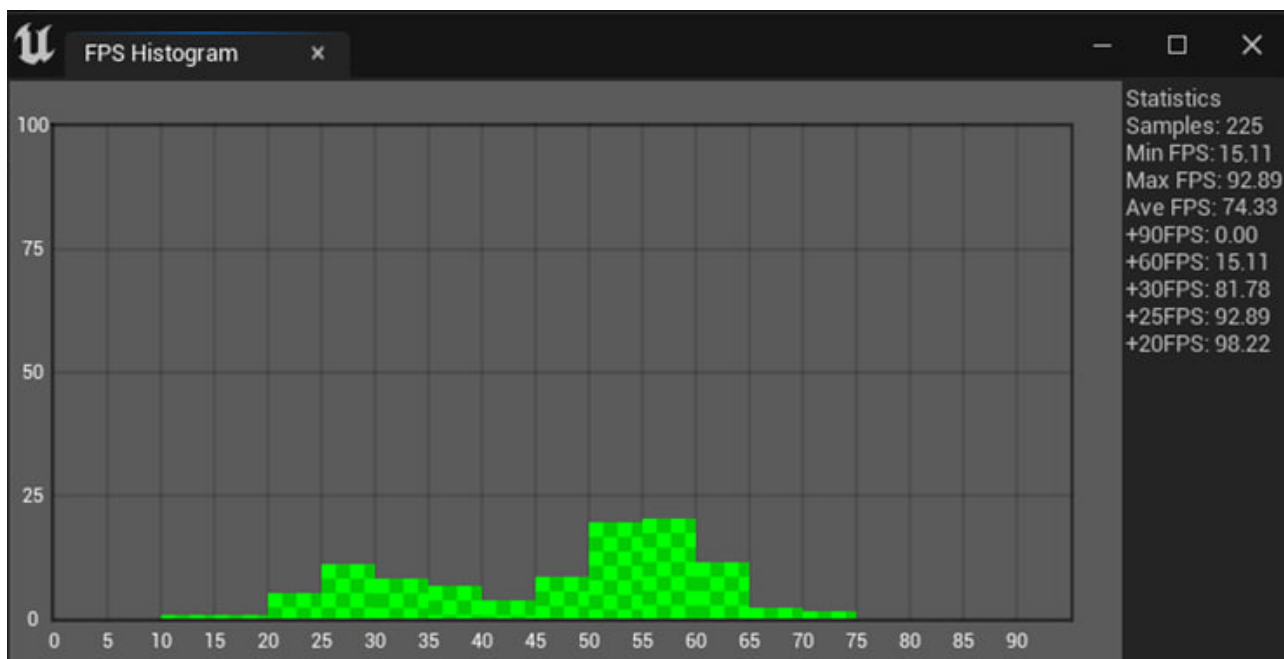


Рисунок 3.6 – Скриншот показателей производительности во время работы в виртуальной лаборатории [30]

На рисунке 3.6 выше изображена гистограмма производительности системы, регистрирующая показатель кадров в секунду в каждый момент времени работы симуляции. Если судить о показателях в правой стороне, а именно о среднем показателе кадров в секунду Ave FPS, который равен 74 FPS, можно сделать вывод о том, что система работает на благоприятной для работы частоте обновления изображения на экране.

3.4 Выводы к разделу 3

Все запускаемые автоматизированные тесты компонентов ПО были проведены успешно, а средний показатель частоты кадров в секунду во время работы с системой превышал 60 FPS, можно сделать вывод о том, что система разработана качественно в техническом плане и будет удобна в использовании в процессе обучения и проверки квалификации трудовых кадров.

Обобщая вывод, разработанный программный продукт более наглядно демонстрирует пользователю запускаемые им процессы в лаборатории, которые могли по неопытности быть незамеченными в реальной стерильной комнате, что также говорит об ориентированности разработки на комфорт использования симуляции.

4 Экономический раздел

4.1 Организация и планирование работ по теме

В составе работы задействовано 3 человека:

1) руководитель (Плотников Сергей Борисович, к.т.н. доцент, кафедра ИиППО) – отвечает за грамотную постановку задачи, контролирует отдельные этапы работы, вносит необходимые коррективы и оценивает выполненную работу в целом.

2) консультант (Белоусова Ирина Викторовна, старший преподаватель, кафедра экономики промышленности) – отвечает за консультирование экономической части выпускной квалификационной работы.

3) разработчик (Московка Артём Александрович, ИКБО-20-19) – проектирование и разработка фотореалистичных трехмерных клонов и алгоритмов окружения виртуальной среды.

Состав задействованных в работе участников представлен на схеме на рисунке 4.1 ниже.

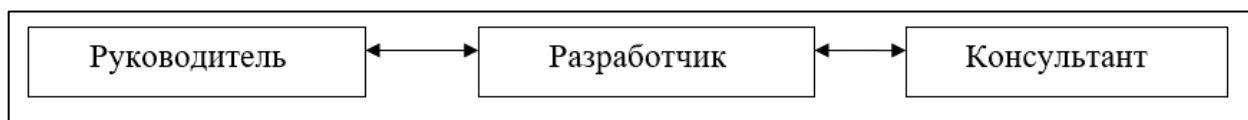


Рисунок 4.1 – Схема участников работ [разработано автором]

На разработку отводится 90 рабочих дней.

Этапы разработки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы работ

№	Название этапа	Исполнитель	Трудоемкость, чел/дни	Продолжительность работ, дни
1	Разработка и утверждение технического задания	Руководитель	5	5
		Разработчик	5	
2	Технические предложения	Руководитель	4	7
		Консультант	1	
		Разработчик	7	
3	Эскизный проект:			16
3.1	Анализ требований	Разработчик	9	
3.2	Постановка задачи	Консультант	1	
3.3	Разработка общего описания алгоритма функционирования	Руководитель	2	
		Разработчик	7	
4	Технический проект:			15
4.1	Разработка моделей цифровых двойников	Руководитель	2	
		Разработчик	4	
4.2	Анализ алгоритмов моделей цифровых двойников	Руководитель	2	
		Консультант	1	
		Разработчик	11	
5	Рабочий проект:			47
5.1	Разработка алгоритмов компонентов виртуальной лаборатории	Разработчик	25	

Продолжение Таблицы 1

5.2	Испытание приложения и алгоритмов виртуальной лаборатории	Разработчик	3	47
5.3	Тестирование приложения	Разработчик	5	
5.4	Подготовка технической документации	Консультант	1	
		Разработчик	7	
5.5	Введение	Руководитель	2	
		Консультант	1	
		Разработчик	7	
Итого				90

Календарный график исполнения работы представлен на рисунке 4.2. Из рисунка 4.2 также видно, что общий срок разработки составит 90 дней.

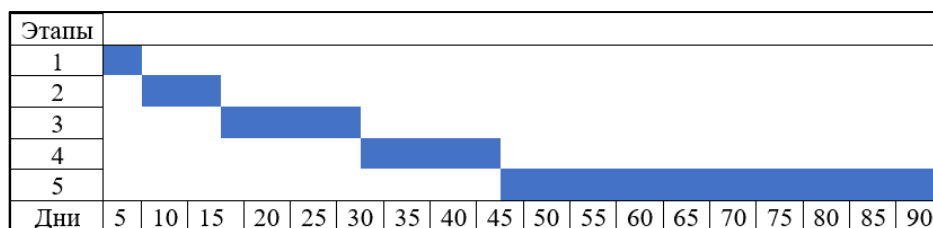


Рисунок 4.2 –График исполнения работ [разработано автором]

4.2 Расчет стоимости проведения работ по теме

В выпускной квалификационной работе объем затрат на НИР и ОКР был проведен методом калькулирования.

1 статья «Материалы, покупные изделия и полуфабрикаты» со всеми стоимостями и расчетами представлена на таблице 2.

Таблица 2 – Материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

№ пп	Наименование материалов	Единицы измерения	Количество	Цена за единицу (руб)	Стоимость (руб)
1	2	3	4	5	6
1	Флешка 2Гб	шт	1	550	550
2	Бумага А4	пачка	1	175	175
3	Картридж для принтера	шт	1	2350	2350
4	Ручка	шт	1	15	15
5	Карандаш	шт	2	7	14
Итого материалов					3 104
Транспортно-заготовительные расходы					659
Итого					3 763

2 статья «Специальное оборудование»: Затрат нет или расходы на специальное оборудование отсутствуют

3 статья «Основная заработная плата» со всеми расчетами и оплатой представлена на таблице 3.

Таблица 3 – Расчет основной заработной платы

№ пп	Наименование этапа	Исполнитель (должность)	Мес. оклад (руб)	Трудоемкость (чел/дни)	Оплата за день (руб)	Оплата за этап (руб)
1	2	3	4	5	6	7
1	ТЗ	Руководитель	100 000	5	4545	22725
		Разработчик	1 600	5	72	360
2	ТП	Руководитель	100 000	4	4545	18180
		Консультант	90 000	1	4090	4090
		Разработчик	1 600	7	72	504
3	Эскизный проект	Руководитель	100 000	2	4545	9090
		Консультант	90 000	1	4090	4090
		Разработчик	16 000	16	72	1152
4	Технический проект	Руководитель	100 000	4	4545	18180
		Консультант	90 000	1	4090	4090
		Разработчик	1 600	15	72	1296
5	Рабочий проект	Руководитель	100 000	2	4545	9090
		Консультант	90 000	2	4090	8180
		Разработчик	1 600	47	72	3384
Итого					104411	

4 статья «Дополнительная заработная плата»:

$$\text{ДЗП} = 104411 \times 0,2 = 20882$$

5 статья «Страховые отчисления»: Отчисления на социальные нужды составляют 30% от фонда оплаты труда (ФОТ), который состоит из основной и дополнительной заработной платы.

$$\text{ФОТ} = \text{ОЗП} + \text{ДЗП} = 104411 + 20882 = 125293 \text{ руб.}$$

$$\text{СВ} = \text{ФОТ} \times 30\% = 125293 \times 0,30 = 37587 \text{ руб.}$$

6 статья «Командировочные расходы»: Расходы по данному разделу отсутствуют.

7 статья «Контрагентские услуги»: В процессе разработки данного проекта услуги сторонних организаций не использовались.

8 статья «Накладные расходы»

$$\text{НР} = \text{ОЗП} \times 200\% = 104411 \times 2,0 = 208\,822 \text{ руб.}$$

9 статья «Прочие расходы»: Прочие расходы отсутствуют

Расчеты по полной себестоимости проекта представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Полная себестоимость проекта

№ пп	Номенклатура статей расходов	Затраты (руб)
1	2	3
1	Материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)	3 763
2	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-
3	Основная заработная плата научного и производственного персонала	104411
4	Дополнительная заработная плата научного и производственного персонала	-
5	Страховые взносы в социальные фонды	37587
6	Расходы на научные и производственные командировки	-
7	Оплата работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями	-
8	Накладные расходы	208 822
9	Прочие прямые расходы	
Итого		354583

Далее была рассчитана договорная цена.

Цена договорная = себестоимость + прибыль + НДС

Норма прибыли составляет 20-30% от стоимости разработки.

Прибыль будет равна: $P = 354583 * 30\% = 106374$ руб.

Если разработка ведется для коммерческой организации, то данный вид работы облагается налогом на добавленную стоимость (НДС) в размере 20%:

$НДС = (C + P) * 20\% = (354583 + 106374) * 20 : 100 = 92191,4$ руб.

Таким образом, договорная цена будет представлять собой:

$ДЦ = C + P + НДС = 354583 + 106374 + 92191,4 = 553148,4$ руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной научно-исследовательской работы были достигнуты все поставленные цели и задачи работы, также были детально рассмотрены предмет и объект разработки, после краткого анализа аналогичных симуляций был разработан и протестирован программный модуль симуляции стерильных помещений хим. лабораторий, а для работы в них были смоделированы фотореалистичные трехмерные клоны, которые были оснащены алгоритмами поведения и эксплуатации их реальных аналогов специалистом, а значит и обучающимся, использующим данную симуляцию.

Работа была выполнена качественно и в полном объеме, по этой причине прототип и последующие версии разработанного программного решения планируются быть введенными в учебную деятельность студентов химических и фармацевтических направлений Московского Института ТХТ им. Ломоносова.

Настоящая работа была апробирована и опубликована на официальном сайте издания fgosonline.ru в качестве учебно-методического материала, о чем свидетельствует сертификат в приложении Г.

As a result of this research work, all the goals and objectives of the work were achieved, the subject and object of development were also considered in detail, after a brief analysis of similar simulations, a software module for simulating sterile chemical rooms was developed and tested. laboratories, and to work in them, photorealistic three-dimensional clones were modeled, which were equipped with algorithms for the behavior and operation of their real counterparts by a specialist, and therefore by a student using this simulation.

The work was done qualitatively and in full, since the prototype and subsequent versions of the developed software solution are planned to be introduced into the educational activities of students of the chemical and pharmaceutical fields of the Moscow Institute of Chemical Technology named after. Lomonosov.

This work was tested and published on the official website of the publication fgosonline.ru as a teaching material, as evidenced by the certificate in Appendix Г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Что такое игровой движок [Электронный ресурс]. 2021. – URL: <https://club.dns-shop.ru/blog/t-64-videoigryi/34701-chto-takoe-igrovoi-dvijok/> (дата обращения 17.05.23).
2. Events – Unreal Engine Documentation [Электронный ресурс, англ.]. 2014. – URL: <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/UserGuide/Events/> (дата обращения 17.05.23).
3. Timelines – Unreal Engine Documentation [Электронный ресурс, англ.]. 2014. – URL: <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/UserGuide/Timelines/> (дата обращения 17.05.23).
4. «О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 № 68-ФЗ (дата обращения 17.05.23).
5. «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» 21.11.2011 № 323-ФЗ (дата обращения 17.05.23).
6. «О гражданской обороне» от 12.02.1998 № 28-ФЗ (дата обращения 17.05.23).
7. Приказ Минздравсоцразвития РФ от 04.05.2012 № 477н «Об утверждении перечня состояний, при которых оказывается первая помощь, и перечня мероприятий по оказанию первой помощи» (дата обращения 17.05.23).
8. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (дата обращения 17.05.23).
9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» (дата обращения 17.05.23).

10. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды, часть 1. Классификация чистоты воздуха» (дата обращения 17.05.23).

11. «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления» ГОСТ 7.32-2017 [Электронный ресурс]. – URL: <https://drive.google.com/file/d/1PBFjFhY5-LUh-qLxTtWkC8TPoglIgH7r/view> (дата обращения 17.05.23).

12. «Библиографическая запись. Библиографическое описание» ГОСТ Р 7.0.100-2018 [Электронный ресурс]. – URL: <https://drive.google.com/file/d/1aLdPj4qcidMgIi4AOoaNFL04l6XuZhfe/view> (дата обращения 17.05.23).

13. «Положение о ВКР в виде стартапа» СМКО МИРЭА 8.5.1/02.П.05-21 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mirea.ru/upload/iblock/518/sguooeibzs74urqd3usibqnf8motv8qy/Polozhenie-o-VKR-v-vide-startapa_8.4.1_corr_F_st.pdf (дата обращения 17.05.23).

14. Кейс: цифровой двойник индустриального объекта: Автоматическая Газораспределительная Станция [Электронный ресурс]. 2022. – URL: <https://vc.ru/life/423551-keys-cifrovoy-dvoynik-industrialnogo-obekta-avtomaticheskaya-gazoraspredelitelnaya-stanciya> (дата обращения 17.05.23).

15. Gaidamaka.pro: Automated Gas Distribution Station VR [Электронный ресурс, англ.]. 2021. – URL: http://gaidamaka.pro/automated_gas_distribution_station_vr (дата обращения 17.05.23).

16. Labster – Официальный сайт [Электронный ресурс, англ.]. 2023. – URL: <https://www.labster.com/> (дата обращения 17.05.23).

17. ChemCollective – Официальный сайт [Электронный ресурс, англ.]. 2023. – URL: https://chemcollective.org/about_us/introduction (дата обращения 17.05.23).

18. Unreal Engine – Официальный сайт [Электронный ресурс, англ.]. 2023. URL: <https://www.unrealengine.com/en-US> (дата обращения: 17.05.23).
19. Статья: Лучшие игровые движки [Электронный ресурс]. 2023. – URL: <https://cubiq.ru/luchshie-igrovye-dvizhki/> (дата обращения 17.05.23).
20. Городнов С.А., Ильин А.Ю., Московка А.А. «Использование игровых движков для разработки геймифицированных виртуальных образовательных сред» [Режим доступа: ограниченный]. 2022. – URL: <https://www.mirea.ru/digital-technologies-conference/> (дата обращения 17.05.23).
21. Introduction to Blueprints Visual Scripting in Unreal Engine [Электронный ресурс, англ.]. 2014. URL: <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US/introduction-to-blueprintsvisual-scripting-in-unreal-engine/> (дата обращения: 17.05.23).
22. Autodesk 3Ds Max – Официальный сайт цифрового продукта [Электронный ресурс, англ.]. 2023. – URL: <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview> (дата обращения 17.05.23).
23. Adobe Substance Painter – Официальный сайт цифрового продукта [Электронный ресурс, англ.]. 2023. – URL: <https://www.adobe.com/products/substance3d-painter.html> (дата обращения 17.05.23).
24. Симуляционное обучение как ведущее направление развития медицины [Электронный ресурс]. 2022. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/simulyatsionnoe-obuchenie-kak-vedushee-napravlenie-razvitiya-meditsiny> (дата обращения 17.05.23).
25. Gameplay Framework Quick Reference – Unreal Engine Documentation [Электронный ресурс, англ.]. 2014. – URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/InteractiveExperiences/Framework/QuickReference/> (дата обращения 17.05.23).
26. UObject – Unreal Engine Documentation [Электронный ресурс, англ.]. 2014. – URL: <https://docs.unrealengine.com/5.2/en-US/API/Runtime/CoreUObject/UObject/UObject/> (дата обращения 17.05.23).

27. Character – Unreal Engine Documentation [Электронный ресурс, англ.]. 2014. – URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/InteractiveExperiences/Framework/Pawn/Character/> (дата обращения 17.05.23).

28. Sound Cue Editor – Unreal Engine Documentation [Электронный ресурс, англ.]. 2014. – URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/WorkingWithAudio/SoundCues/Editor/> (дата обращения 17.05.23).

29. Automation System Overview – Unreal Engine Documentation [Электронный ресурс, англ.]. 2014. – URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/TestingAndOptimization/Automation/> (дата обращения 17.05.23).

30. Automation Testing User Guide – Unreal Engine Documentation [Электронный ресурс, англ.]. 2014. – URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/TestingAndOptimization/Automation/UserGuide/> (дата обращения 17.05.23).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Примеры разработки фотореалистичных трехмерных клонов

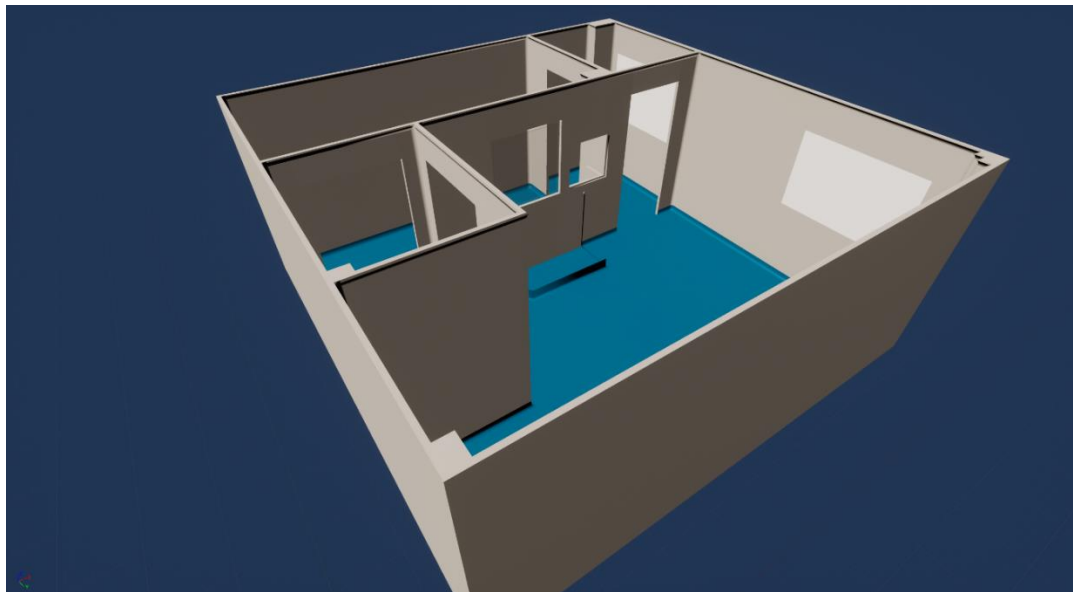


Рисунок А.1 – Скриншот смоделированных помещений будущей виртуальной химической лаборатории [разработано автором]

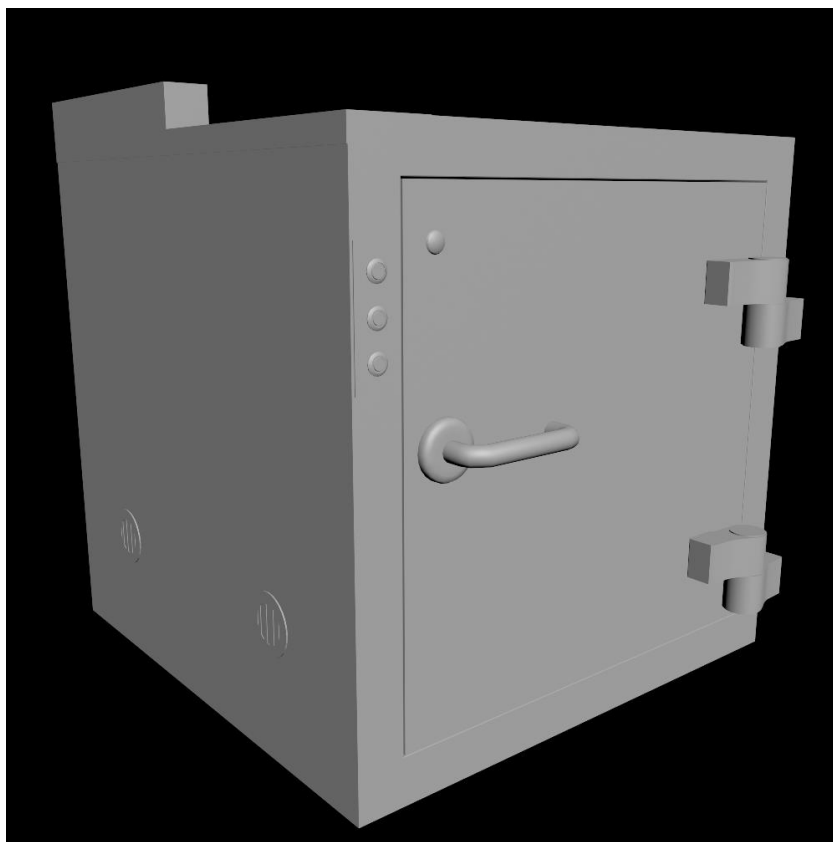


Рисунок А.2 – Рендер процесса моделирования шлюза стерилизации [разработано автором]



Рисунок А.3 – Скриншот раскрашенной модели вентиляционного рукава [разработано автором]



Рисунок А.4 – Скриншот модели настенного барометра [разработано автором]

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Демонстрация взаимодействия с объектами виртуальной стерильной лаборатории

YouTube [Электронный ресурс]: Демонстрация взаимодействия с объектами виртуальной стерильной лаборатории. 2023. URL: <https://youtu.be/22ahyxkCUWg> (дата обращения: 17.05.23).

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Функциональная диаграмма автоматизированного взаимодействия пользователя с элементами симуляции

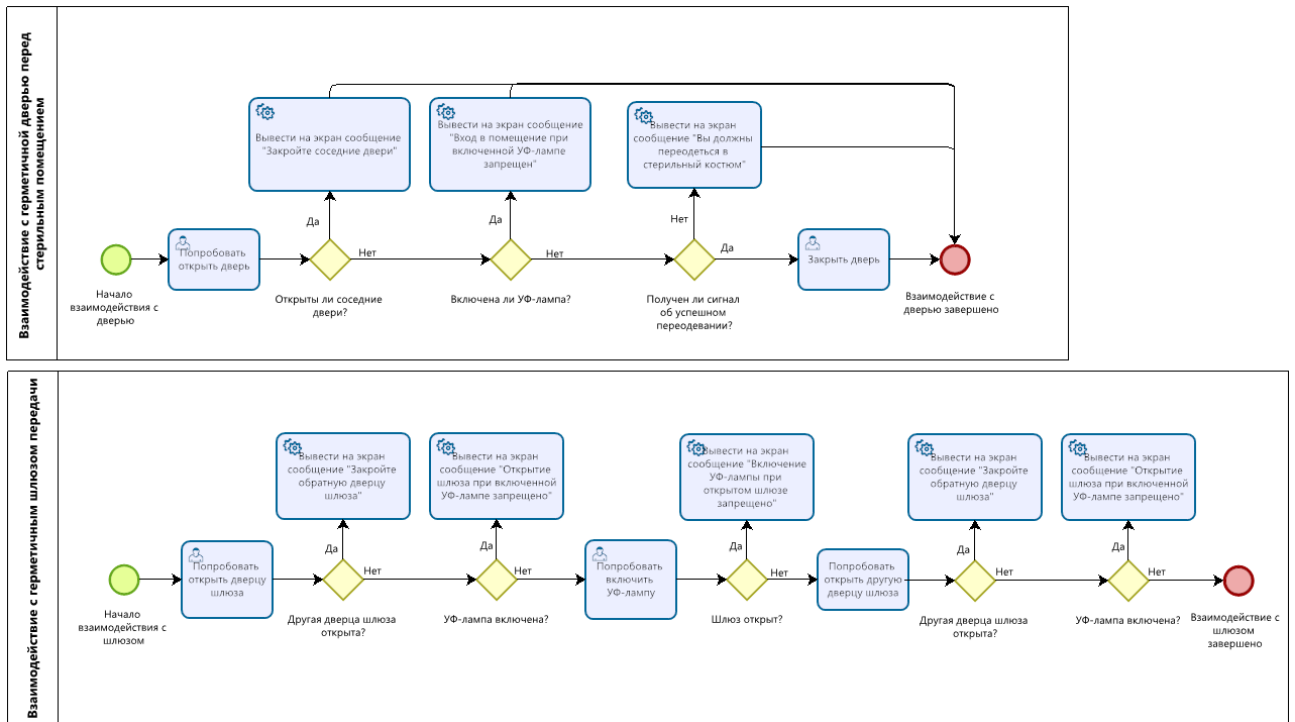


Рисунок В.1 – Функциональная диаграмма автоматизированного взаимодействия пользователя с элементами симуляции

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Сертификат о публикации статьи



СЕРТИФИКАТ

подтверждает, что

Болбаков Р.Г., Московка А.А., Плотников С.Б.
Представительство Лиги ПВШ в РТУ МИРЭА
МИРЭА - Российский технологический университет, г. Москва

опубликовали на официальном сайте издания
fgosonline.ru
учебно-методический материал
"Симуляция химической лаборатории с использованием
фотореалистичный трехмерных клонов"

адрес размещения материала
[line.ru/vyisshee/simulyacziya-himicheskoy-laboratorii-s-ispolzovaniem-fotorealistichnyj-trehm](http://fgosonline.ru/vyisshee/simulyacziya-himicheskoy-laboratorii-s-ispolzovaniem-fotorealistichnyj-trehm)

Номер сертификата: СП1000281161

Руководитель образовательного издания
"ФГОС онлайн"



 **Шахов В.А.**
25 апреля 2023 г.

Международный образовательно-просветительский
портал "ФГОС онлайн"
свидетельство о регистрации СМИ
ЭЛ № ФС 77 - 72602