|  |
| --- |
|  |
| 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

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 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 фотореалистичный трехмерных клонов"

Обучающийся *Московка Артём Александрович*

*Подпись Фамилия, имя, отчество*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| шифр | 19И1606 |  |
| группа | ИКБО-20-19 |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель работы** | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  *подпись* | *к.т.н., доцент, доцент* | *Плотников С.Б.* |
|  |  |  |  |
| **Консультант** | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  *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 | | |  | УТВЕРЖДАЮ | | |
| Заведующий  кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  *подпись* | | |  | Директор  института \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  *подпись* | | |
| Болбаков Роман Геннадьевич | | |  | Зуев Андрей Сергеевич | | |
| «07» | марта | 2023 г. |  | «07» | марта | 2023 г. |

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение выпускной квалификационной работы бакалавра

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обучающийся | Московка Артём Александрович | |
|  | *Фамилия Имя Отчество* | |
| Шифр | 19И1606 | |
| Направление подготовки | 09.03.04 | Программная инженерия |
|  | *индекс направления* | *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  1.1  1.2  1.3  1.3.1  1.3.2  1.4  1.5 | Исследовательский раздел  Анализ существующих областей применения цифровых симуляций  Анализ конкурентных технических решений цифровых симуляций, используемых в пространстве IT технологий  Выбор средств разработки приложения  Выбор средств разработки трехмерных моделей  Выбор средств разработки алгоритмов лаборатории и оборудования в ней  Постановка задачи к разработке и исследованию цифровой симуляции  Выводы к разделу 1 |  | 22.03.2023 |
| 2  2.1  2.2  2.3  2.4  2.5 | Проектный раздел  Описание жизненного цикла разработки цифровых двойников  Разработка архитектуры системы  Разработка моделей цифровых двойников  Разработка алгоритмов моделей цифровых двойников  Выводы к разделу 2 |  | 22.03.2023 |
| 3  3.1  3.2  3.3  3.3.1  3.3.2  3.3.3  3.3.4  3.4 | Технологический раздел  Разработка интерфейса при работе с симуляцией  Разработка бизнес-логики приложения  Тестирование приложения  Автоматизированное тестирование  Тестирование по пользовательским сценариям  Нагрузочное тестирование  Тестирование различных модулей цифровой симуляции  Выводы к разделу 3 |  | 19.04.2023 |
| 4  4.1  4.2 | Экономический раздел  Организация и планирование работ по теме  Расчет стоимости проведения работ по теме |  | 17.05.2023 |
| 5 | Введение, заключение, список источников, приложения |  | 17.05.2023 |
| 6 | Презентационный материал, аннотация |  | 25.05.2023 |
| 7 | Нормоконтроль |  | 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 |  | |
| Консультант по экономическому разделу | старший преподаватель | Белоусова Ирина Викторовна |  | |
| Задание выдал | | Задание принял к исполнению | |
| Руководитель ВКР:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | | Обучающийся:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | |
| *подпис*ь | | *подпис*ь | |
| «07» марта2023 г. | | «07» марта2023 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 фотореалистичный трехмерных клонов"»: М. 2023 г., МИРЭА – Российский технологический университет, Институт информационных технологий (ИТ), кафедра Инструментального и Прикладного Программного Обеспечения (ИиППО) – стр. 60, рис. 17, табл. 6, ист. 47 (в т.ч. 4 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. Moscow. 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. 60, fig. 17, tab. 6, east. 47 (including 4 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\_19И1606\_Московка АА.pdf», исполнитель Московка А.А., email: moskovka.a.a@edu.mirea.ru

© А.А. Московка.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 8](#_Toc135752553)

[ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ 10](#_Toc135752554)

[ВВЕДЕНИЕ 11](#_Toc135752555)

[1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ 13](#_Toc135752556)

[1.1 Анализ существующих областей применения цифровых симуляций 13](#_Toc135752557)

[1.2 Анализ конкурентных технических решений цифровых симуляций, используемых в пространстве IT технологий 14](#_Toc135752558)

[1.3 Выбор средств разработки приложения 15](#_Toc135752559)

[1.3.1 Выбор средств разработки трехмерных моделей 15](#_Toc135752560)

[1.3.2 Выбор средств разработки алгоритмов лаборатории и оборудования в ней 16](#_Toc135752561)

[1.4 Постановка задачи к разработке и исследованию цифровой симуляции 16](#_Toc135752562)

[1.5 Выводы к разделу 1 20](#_Toc135752563)

[2 ПРОЕКТНЫЙ РАЗДЕЛ 21](#_Toc135752564)

[2.1 Описание жизненного цикла разработки цифровых двойников 21](#_Toc135752565)

[2.2 Разработка архитектуры системы 22](#_Toc135752566)

[2.3 Разработка моделей цифровых двойников 22](#_Toc135752567)

[2.4 Разработка алгоритмов моделей цифровых двойников 22](#_Toc135752568)

[2.5 Выводы к разделу 2 22](#_Toc135752569)

[3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 23](#_Toc135752570)

[3.1 Разработка интерфейса при работе с симуляцией 23](#_Toc135752571)

[3.2 Разработка бизнес-логики приложения 23](#_Toc135752572)

[3.3 Тестирование приложения 23](#_Toc135752573)

[3.3.1 Автоматизированное тестирование 23](#_Toc135752574)

[3.3.2 Тестирование по пользовательским сценариям 23](#_Toc135752575)

[3.3.3 Нагрузочное тестирование 23](#_Toc135752576)

[3.3.4 Тестирование различных модулей цифровой симуляции 23](#_Toc135752577)

[3.4 Выводы к разделу 3 23](#_Toc135752578)

[4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 24](#_Toc135752579)

[4.1 Организация и планирование работ по теме 24](#_Toc135752580)

[4.2 Расчет стоимости проведения работ по теме 26](#_Toc135752581)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 32](#_Toc135752582)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 33](#_Toc135752583)

# ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете применяют следующие термины с соответствующими определениями.

|  |  |
| --- | --- |
| Блюпринт | – транслитерация англоязычного слова Blueprint, упомянутого выше |
| 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] |
| Скрипт | – последовательность команд, инструкций на сценарном языке, использующаяся для автоматизации рутинных задач, описания поведения персонажа в компьютерной игре и т. п. |
| Трехмерный клон | – цифровая копия физического объекта или процесса, помогающая оптимизировать эффективность бизнеса |
| Цифровой двойник | – аналогично трехмерному клону |
| Blueprint | – скриптовая система в Unreal Engine, которая представляет собой визуальный интерфейс для создания элементов геймплея |
| Lumen | – проприетарная технология глобального освещения, используемая в Unreal Engine 5 |
| UV-развертка | – двухмерная поверхность готовой трехмерной модели, используемая для раскрашивания и нанесения на нее текстур |
| UV-карта | – аналогично UV-развертке |
| Zero-code, No-code, Low-code | – подходы к разработке, в котором задачи по автоматизации и запуску ИТ-продуктов решают без программирования или с минимальным количеством печатного кода |

# ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчете применяют следующие сокращения и обозначения.

|  |  |
| --- | --- |
| **ВКР** | – выпускная квалификационная работа |
| **НИР** | – научно-исследовательская работа |
| **ПО** | – программное обеспечение |
| **ЦД** | – цифровой двойник |
| **UE** | – Unreal Engine |
| **VR** | – виртуальная реальность |

# ВВЕДЕНИЕ

Некоторые специальности и профессии не требуют больших знаний и длительной подготовки, в то время как другие профессии требуют длительных временных промежутков на обучение, получение требуемого опыта. К второй категории можно отнести деятельность медицинских, химических, фармацевтических работников и людей, занимающихся научной, исследовательской и производственной деятельностью в лабораторных условиях, требующих следования строгим правилам, например, по правильному взаимодействию с дорогостоящим оборудованием, по перемещению по лабораторным помещениям с особыми зонами стерильности и герметичности.

С целью предоставления возможности обучения таким направлениям высшего образования, снижения издержек при подготовке юных специалистов и ученых, популяризации химической, фармацевтической и медицинской сфер естественных наук была выбрана данная тема ВКР.

Актуальность данной научной работы неоспорима, поскольку фармацевтика, медицина и химия являются основными составляющими элементами системы здравоохранения человека из-за повсеместного применения людьми лекарств и средств по сохранению, улучшению и восстановлению здоровья, а подготовка новых кадров будет напрямую влиять на условия проживания в стране, так как эти направления влияют на экономику государства и благосостояние жизни.

Конечной целью НИР 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.

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

### Анализ существующих областей применения цифровых симуляций

В настоящее время все большую популярность набирают цифровые симуляции и двойники систем и оборудования, поскольку предоставляют 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 индустриальных и инжиниринговых компаний [2].

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 [3].

### 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 [4].

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 [5].

### 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 [6-7].

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 [8].

#### 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» [9].

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 [10].

#### 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 zero-code 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 включателя или проигрывание аудиодорожки, создающей постоянный звуковой эффект, имитирующий шум системы вентиляции для создания большего эффекта погружения на пользователя.

### Постановка задачи к разработке и исследованию цифровой симуляции

Целью данного подзаголовка является наиболее точное определение формулировок для решения поставленных задач с описанием их входных и выходных данных. 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 и эксплуатации [11].

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 основным компонентам симуляции химической лаборатории, с которыми предстоит взаимодействовать пользователям в ходе работы с программой:

Разрабатываемые помещения виртуальной химической лаборатории должны удовлетворять следующим требованиям:

1. стены, потолок и полы помещений должны обладать коллизией, то есть быть непроницаемыми для пользователя;
2. окно между первой комнатой и рабочим помещением должно состоять из прозрачного стекла для возможности проверки работы УФ-лампы;
3. помещения должны быть освещены для комфортной работы пользователя в них;
4. помещения должны быть достаточно просторными, чтобы в них могли поместиться все необходимые элементы окружения и необходимые для симуляции станки и оборудование;
5. помещения должны быть идентичных реальным помещениям размеров для того, чтобы у пользователя создавалось ощущение погружения в процессе работы в симуляции;
6. в помещениях виртуальной химической лаборатории должны звучать звуковые эффекты, имитирующие реальные звуки вентиляционных систем для создания эффекта погружения.

Разрабатываемые лампы должны удовлетворять следующим требованиям:

1. лампы должны обеспечивать достаточный уровень освещенности для комфортной работы в помещениях виртуальной лаборатории;
2. расположение ламп, внешний вид и принцип их работы должны быть идентичны реальным лампам для создания эффекта погружения у пользователя;
3. для возможности их включения и выключения все лампы в помещениях должны быть логически связаны с контроллером, представленном в виде настенного включателя, аналогичного реальному включателю;
4. пользователь должен иметь возможность включать и выключать свет в лабораторных помещениях.

Разрабатываемые герметичные двери между комнатами виртуальной химической лаборатории должны удовлетворять следующим требованиям:

1. для сохранения герметичности помещений двери должны открываться только в индивидуальном порядке, это означает, что не может быть одновременно открыто больше одной двери;
2. каждая дверь должна иметь коллизию, то есть быть непроницаемой для пользователя;
3. двери должны обладать правдоподобной скоростью анимации открытия и закрытия, а также звуковыми эффектами, имитирующими звуки дверного механизма;
4. двери должны иметь систему блокировки в случае работы УФ-лампы в рабочей зоне химической лаборатории;
5. пользователь должен иметь возможность открывать и закрывать герметичные двери, а также проходить сквозь открытые двери между помещениями виртуальной химической лаборатории.

Разрабатываемые манометры должны удовлетворять следующим требованиям:

1. манометры должны быть синхронизированы в рамках одной комнаты с нарушением герметизации;
2. манометры должны обладать реалистичной анимацией движения стрелки при нарушении герметизации и последующем восстановлении герметизации;
3. внешний вид манометров должен быть идентичен реальным манометрам для создания у пользователя эффекта погружения.

Разрабатываемая ультрафиолетовая лампа рабочего помещения должна удовлетворять следующим требованиям:

1. для включения и выключения лампа должна быть логически связана с контроллером, представленным в виде настенного включателя, аналогичного реальному по внешнему виду и расположению в помещениях;
2. лампа должна по внешнему виду, эффекту свечения быть идентичной реальной для создания у пользователя эффекта погружения;
3. возможность включить УФ-лампу должна быть только при закрытых герметичных дверях в рабочую зону хим. лаборатории;
4. пользователь должен иметь возможность включения и выключения УФ-лампы.

Разрабатываемый герметичный шлюз передачи предметов в стерильное помещение должен удовлетворять следующим требованиям:

1. по внешнему виду, размерам и принципу работы шлюз должен быть идентичен реальному для создания у пользователя эффекта погружения;
2. шлюз должен иметь возможность доступа к содержимому внутри с обеих сторон: внешней (нестерильной) и внутренней (стерильной рабочей зоны);
3. у шлюза должна присутствовать система стерилизации содержимого в виде УФ-лампы с контроллером, представленным в виде кнопок с обеих сторон;
4. дверцы шлюза должны открываться только в индивидуальном порядке, это означает, что две дверцы не могут быть открыты одновременно;
5. дверцы шлюза должны иметь правдоподобную анимацию открытия и закрытия;
6. пользователь должен иметь возможность взаимодействия со стерильным шлюзом (открытие и закрытие дверей шлюза, включение и выключение УФ-ламп);
7. стерильный шлюз и все его элементы должны иметь коллизию, то есть быть непроницаемыми для 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.

### 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.

Важно также понимать, что для успешной реализации и проверки выполнения всех представленных требований необходимо провести полноценное тестирование системы, как автоматизированное, так и по вышеупомянутым задачам для проектирования.

## ПРОЕКТНЫЙ РАЗДЕЛ

### 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 физических размеров 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.

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.

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.

### Разработка архитектуры системы

### Разработка моделей цифровых двойников

### Разработка алгоритмов моделей цифровых двойников

### Выводы к разделу 2

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### Разработка интерфейса при работе с симуляцией

### Разработка бизнес-логики приложения

### Тестирование приложения

#### Автоматизированное тестирование

#### Тестирование по пользовательским сценариям

#### Нагрузочное тестирование

#### Тестирование различных модулей цифровой симуляции

### Выводы к разделу 3

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### 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.

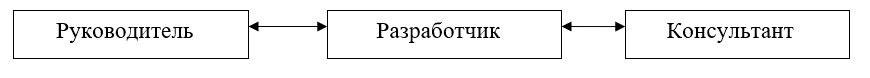


Рисунок 4.1 – Схема участников работ

На разработку отводится 90 рабочих дней.

Этапы разработки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – 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 |
| 5.2 | Испытание приложения и алгоритмов виртуальной лаборатории | Разработчик | 3 |
| 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 46. Из рисунка 1 так же видно, что общий срок разработки составит 90 дней.

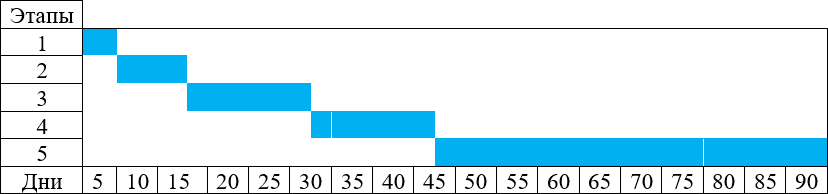


Рисунок 46 – график исполнения работ.

### 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».

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ 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»

Расчет основной заработанной 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»

ДЗП = 104411 х 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. Например,

ФОТ = ОЗП + ДЗП = 104411+ 20882 = 125293 руб.

СВ = ФОТ х 30% = 125293 х 0,30 = 37587 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»

НР = ОЗП х 200% = 104411 \* 2,0 = 208 822 руб.

9 статья «Прочие расходы»

Прочие расходы отсутствуют

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ 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 необходимо рассчитать договорную цену.

Цена договорная = себестоимость + прибыль + НДС

Норма прибыли составляет 20-30% от стоимости разработки.

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

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

НДС = (С+П) х20% = (354583 +106374) х20:100 = 92191,4 руб.

Таким образом, договорная цена будет представлять собой:

ДЦ = С+П + НДС = 354583 + 106374 + 92191,4 = 553148,4руб.

# 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 специалистом, а значит и обучающимся, использующим данную симуляцию.

Можно с уверенностью сказать, что работа была выполнена успешно, поскольку прототип и последующие версии разработанного программного решения планируются быть введенными в учебную деятельность студентов химических и фармацевтических направлений Московского Института ТХТ им. Ломоносова.

Также практическим применением данного ПО можно выдвинуть использование его в демонстрационных и ознакомительных целях на научных выставках и конференциях, что также будет благотворно сказываться на популяризации высшего образования в сфере химии, фармацевтики и биологии, и появления интереса к данным направлениям у абитуриентов или людей, заинтересованных в профессиональной деятельности.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. https://club.dns-shop.ru/blog/t-64-videoigryi/34701-chto-takoe-igrovoi-dvijok/
2. https://vc.ru/life/423551-keys-cifrovoy-dvoynik-industrialnogo-obekta-avtomaticheskaya-gazoraspredelitelnaya-stanciya
3. http://gaidamaka.pro/automated\_gas\_distribution\_station\_vr
4. <https://www.labster.com/>
5. <https://chemcollective.org/about_us/introduction>
6. https://www.unrealengine.com/en-US/
7. <https://cubiq.ru/luchshie-igrovye-dvizhki/>
8. https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/Overview/
9. https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview/
10. <https://www.adobe.com/products/substance3d-painter.html>
11. Симуляционное обучение как ведущее направление развития медицины URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/simulyatsionnoe-obuchenie-kak-veduschee-napravlenie-razvitiya-meditsiny>