|  |
| --- |
|  |
| 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

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 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 – прототипирование, разработка и тестирование симуляционного модуля, использующего фотореалистичные трехмерные клоны.

В ходе работы был проведен краткий анализ предметной области и обзор аналогичных технических реализаций и симуляторов. Методом сравнительного анализа были определены перспективные решения и реализация требуемого обучающего ПО, включая визуальную составляющую, симулируемые процессы и поведение пользователя в виртуальной среде. Рассмотрены процесс моделирования трехмерных клонов, прототипирования и разработки симуляции, используемый программно-технический инструментарий и среды разработки и моделирования.

Результатом работы является цифровая симуляция химической лаборатории, в работе с которой пользователь взаимодействует с правдоподобными трехмерными клонами химического оборудования и элементами окружения виртуальной химической лаборатории.

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 prototyping, development and testing of a simulation module using photorealistic 3D clones.

In the course of the work, a brief analysis of the subject area and a review of similar technical implementations and simulators were carried out. The benchmarking method identified promising solutions and implementation of the required training software, including the visual component, simulated processes and user behavior in a virtual environment. The process of modeling three-dimensional clones, prototyping and development of simulation, the software and hardware tools used and the development and modeling environments are considered.

The result of the work is a digital simulation of a chemical laboratory, in which the user interacts with believable three-dimensional clones of chemical equipment and environmental elements of a virtual chemical laboratory.

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](#_Toc135671898)

[ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ 10](#_Toc135671899)

[ВВЕДЕНИЕ 11](#_Toc135671900)

[1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ 14](#_Toc135671901)

[1.1 Анализ существующих областей применения цифровых симуляций 14](#_Toc135671902)

[1.2 Анализ конкурентных технических решений цифровых симуляций, используемых в пространстве IT технологий 15](#_Toc135671903)

[1.3 Выбор средств разработки приложения 15](#_Toc135671904)

[1.3.1 Выбор средств разработки трехмерных моделей 16](#_Toc135671905)

[1.3.2 Выбор средств разработки алгоритмов лаборатории и оборудования в ней 16](#_Toc135671906)

[1.4 Постановка задачи к разработке и исследованию цифровой симуляции 16](#_Toc135671907)

[1.5 Выводы к разделу 1 16](#_Toc135671908)

[2 ПРОЕКТНЫЙ РАЗДЕЛ 17](#_Toc135671909)

[2.1 Описание жизненного цикла разработки цифровых двойников 17](#_Toc135671910)

[2.2 Разработка архитектуры системы 17](#_Toc135671911)

[2.3 Разработка моделей цифровых двойников 17](#_Toc135671912)

[2.4 Разработка алгоритмов моделей цифровых двойников 17](#_Toc135671913)

[2.5 Выводы к разделу 2 17](#_Toc135671914)

[3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 18](#_Toc135671915)

[3.1 Разработка интерфейса при работе с симуляцией 18](#_Toc135671916)

[3.2 Разработка бизнес-логики приложения 18](#_Toc135671917)

[3.3 Тестирование приложения 18](#_Toc135671918)

[3.3.1 Автоматизированное тестирование 18](#_Toc135671919)

[3.3.2 Тестирование по пользовательским сценариям 18](#_Toc135671920)

[3.3.3 Нагрузочное тестирование 18](#_Toc135671921)

[3.3.4 Тестирование различных модулей цифровой симуляции 18](#_Toc135671922)

[3.4 Выводы к разделу 3 18](#_Toc135671923)

[4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 19](#_Toc135671924)

[4.1 Организация и планирование работ по теме 19](#_Toc135671925)

[4.2 Расчет стоимости проведения работ по теме 19](#_Toc135671926)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 20](#_Toc135671927)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 21](#_Toc135671928)

# 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.

|  |  |
| --- | --- |
| **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 и багажа знаний, основанных на этом полученном опыте. К второй категории можно отнести деятельность медицинских, химических, фармацевтических работников и людей, занимающихся научной, исследовательской и производственной деятельностью в лабораторных условиях, требующих следования строгим нормам и правилам, например, по правильному взаимодействию с дорогостоящим лабораторным оборудованием, по перемещению по лабораторным зонам 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 выпускной квалификационной работы.

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, потому что 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 помещений и объектов окружения, а также использующего в своей работе специализированное оборудование по соблюдению требований работы в чистых помещениях.

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 окружения алгоритмами требуемого поведения и механик работы, наконец, тестирование симуляции 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 помещении.

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 над окружением и оборудованием стерильных помещений, в которых производились замеры и были получены фото- и видеоматериалы по устройству, взаимодействию специалиста с окружением и эксплуатации им оборудования.

## 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.

#### Выбор средств разработки трехмерных моделей

#### Выбор средств разработки алгоритмов лаборатории и оборудования в ней

### Постановка задачи к разработке и исследованию цифровой симуляции

Квас очаковский

### Выводы к разделу 1

## ПРОЕКТНЫЙ РАЗДЕЛ

### Описание жизненного цикла разработки цифровых двойников

### 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.

### Расчет стоимости проведения работ по теме

# 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.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
7. <https://www.adobe.com/products/substance3d-painter.html>