

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ
Школа бакалавриата

ОТЧЕТ

По проекту
«Разработка цифрового двойника робота для симуляционной работы с
применением VR»

по дисциплине «Проектный практикум»

Заказчик: Фамилия И.О.

Фадеев Виталий Олегович

Куратор: Фамилия И.О.

Фадеев Виталий Олегович

ученая степень, ученое звание, должность

Старший преподаватель

Студенты команды UnicUms

Фамилия И.О.

Волков Никита Максимович

Фамилия И.О.

Бородин Игорь Сергеевич

Фамилия И.О.

Дементьев Дмитрий Данилович

Фамилия И.О.

Полигецкий Тимофей Ильич

Фамилия И.О.

Чеглаков Андрей Евгеньевич

Фамилия И.О.

Шилкин Егор Алексеевич

Екатеринбург, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Основная часть.....	5
1.1 Вклад каждого участника.....	5
1.1.1 Волков Никита Максимович.....	5
1.1.2 Бородин Игорь Сергеевич.....	7
1.1.3 Полигецкий Тимофей Ильич.....	8
1.1.4 Шилкин Егор Алексеевич.....	9
1.1.5 Чеглаков Андрей Евгеньевич.....	11
1.1.6 Дементьев Дмитрий Данилович.....	12
1.2 Требования заказчика и пользователей.....	13
1.3 Анализ и сопоставление аналогов.....	15
1.4 Обзор архитектуры и описание основных компонентов.....	15
1.5 Тестирование и ошибки.....	16
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	18
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	20
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Иллюстрации.....	21

ВВЕДЕНИЕ

Предложенный проект предполагает создание цифрового двойника, который будет использоваться для симмуляционных работ. В силу того, что он являлся и семестровым предметом, в реализации проекта участвовало 24 участника, так что фронт работ, описанных далее как выполненные, может не соответствовать полному перечню задач.

Основной целью стояло – интегрирование функционала, основываясь на результатах проблемного интервью.

На основе этого были поставлены следующие задачи:

- 1) проведение проблемного интервью для выявления потребностей;
- 2) формулирование проблем и возможных мер по их реализации;
- 3) составление ответного экспертного интервью для получения экспертной оценки;
- 4) основываясь на предыдущих пунктах анализ рынка, трендов и возможные путей решения выявленных проблем;
- 5) определение архитектурных особенностей реализации продукта;
- 6) создание 3d-модели двойника робота для использования в VR;
- 7) проектирование карт для выполнения различных задач
- 8) использование движка Unity для реализации симуляции;
- 9) тестирование приложения на баги;
- 10) исправление багов и подготовка к демонстрации.

Программный продукт будет применяться в области симуляционного моделирования с использованием цифрового двойника, представляющего собой виртуальную копию физического объекта — в данном случае, робота, собранного с использованием готового конструктора. Основной задачей продукта является создание среды для тестирования, отладки и оценки поведения робота в различных условиях без необходимости физического вмешательства, что позволяет ускорить цикл разработки, повысить безопасность и снизить затраты на проведение испытаний.

Продукт будет особенно полезен в образовательной и исследовательской деятельности, где важна возможность гибкой настройки сценариев взаимодействия и поведения робота. Использование Unity как среды визуализации и управления позволяет добиться высокой степени реалистичности и интерактивности модели, а также обеспечивает масштабируемость и расширяемость решения.

В зависимости от достигнутого уровня реализации, область применения продукта может варьироваться. В минимальной конфигурации продукт даст возможность симулировать один сценарий взаимодействия, что будет полезно для демонстрационных целей и первичной проверки гипотез. Базовая версия расширит возможности до нескольких сценариев, что делает продукт применимым для обучения, проведения лабораторных работ и оценки базовых алгоритмов управления. При достижении оптимального уровня цифровой двойник станет полноценным инструментом, точно отражающим потребности целевой аудитории, выявленные в ходе проблемного интервью, и будет способен моделировать сложные поведенческие схемы, взаимодействие с динамически меняющейся средой, а также использоваться в инженерной разработке и проектировании.

1 Основная часть

1.1 Вклад каждого участника

Данный проект был реализован в рамках семестрового предмета, в ходе которого были задействованы по меньшей мере 24 студента. Поэтому сразу же хочется обратить внимание на то, что при декомпановке задач можно увидеть пункты, которые не будут отображены в работе участников команды, так как в силу специфики ролей, реализовывались другими командами.

1.1.1 Волков Никита Максимович

В рамках работы над проектом я выполнял обязанности тестировщика, принимая активное участие на всех этапах разработки цифрового двойника. С самого начала и до завершения текущей стадии проекта я поддерживал постоянную коммуникацию с программистами, что позволило оперативно выявлять и устранять возникающие проблемы. Такая тесная взаимосвязь внутри команды способствовала ускорению процесса исправления ошибок и повышению стабильности продукта на каждом из этапов разработки.

Особое внимание в ходе моей работы уделялось тестированию системы в условиях, максимально приближённых к реальному использованию. После предоставления работоспособной версии цифрового двойника я проводил всестороннее тестирование с использованием VR-гарнитуры Oculus Quest 2. Этот процесс позволил выявить ряд критических и некритических багов, напрямую связанных с особенностями взаимодействия в виртуальной среде. На основе полученных данных я систематически составлял баг-репорты с подробным описанием шагов воспроизведения ошибок, ожидаемого и фактического результата, а также предлагал возможные направления для их устранения (Таблица 1).

Помимо технического тестирования, я также занимался оформлением документации, необходимой для сопровождения проекта. В мои задачи входило написание отчетов по работе команды, фиксирование текущего прогресса, а также составление и поддержание в актуальном состоянии прочих текстовых и табличных материалов, сопровождающих реализацию проекта. Благодаря системному подходу к тестированию и документообороту удалось обеспечить высокий уровень прозрачности разработки и создать надежную основу для последующих этапов работы.

Таблица 1 – Баг-репорт таблица

№	Название	Описание	Шаги воспроизведения
1	Ошибка инициализации программы при запуске в VR	При запуске приложения через Oculus Quest 2 происходит зависание на стартовом экране, загрузка не продолжается.	1) Подключить Oculus Quest 2. 2) Запустить приложение в режиме VR. 3) Дождаться окончания экрана загрузки.
		Ожидаемый результат: Программа переходит на основной экран с возможностью управления роботом. Фактический результат: Приложение зависает, изображение замирает на логотипе, дальнейшее взаимодействие невозможно. Статус: Критический Комментарий: Возможно, проблема связана с некорректной инициализацией XR-плагина или сценой загрузки.	
2	Некорректная работа элементов управления через контроллеры Oculus	При попытке управления роботом через правый контроллер, команды на движение не регистрируются. Левый контроллер работает корректно.	1) Запустить приложение. 2) Войти в режим управления роботом. 3) Использовать правый контроллер для подачи команд на движение.
		Ожидаемый результат: Робот реагирует на команды движения с правого контроллера. Фактический результат: Команды игнорируются, движения не происходит. Статус: Средний Комментарий: Возможна проблема с привязкой InputAction к конкретному устройству или неверная настройка XR-контроллера в Unity.	

Продолжение таблицы 3

№	Название	Описание	Шаги воспроизведения
3	Нарушение коллизии между телом робота и окружающей средой	Робот частично проваливается в поверхность при движении под наклоном, что приводит к "залипанию".	1) Запустить симуляцию. 2) Направить робота на наклонную плоскость. 3) Двигаться вверх под углом.
		Ожидаемый результат: Робот корректно двигается по наклону, оставаясь на поверхности. Фактический результат: Нижняя часть робота частично проваливается в плоскость, дальнейшее движение невозможно. Статус: Высокий Комментарий: Возможен конфликт между Rigidbody и Collider, либо некорректные физические материалы.	
4	Робот переворачивается при столкновении и не может вернуться в исходное положение	При столкновении с высоким препятствием робот переворачивается на спину и не имеет возможности самостоятельно вернуться на гусеницы.	1) Направить робота на препятствие под прямым углом. 2) Столкнуться на скорости. 3) Наблюдать за поведением робота.
		Ожидаемый результат: Робот либо избегает переворота, либо имеет механизм автоматической стабилизации. Фактический результат: Робот переворачивается и остаётся в нерабочем состоянии. Статус: Средний Комментарий: Необходимо реализовать систему самостабилизации или кнопку сброса положения.	

1.1.2 Бородин Игорь Сергеевич

В ходе работы над проектом на протяжении контрольных точек была проведена последовательная работа по проектированию пользовательского интерфейса. На первом этапе были разработаны варфреймы ключевых интерфейсных элементов на основе анализа существующих решений в области VR-приложений. Этот анализ позволил выделить удачные практики и адаптировать их под специфику текущего проекта.

Следующим этапом стало обсуждение предложенных вариантов внутри команды с последующим исключением решений, не соответствующих

поставленным задачам и особенностям пользовательского взаимодействия в виртуальной среде. Это обеспечило фокусировку на наиболее эффективных и реалистичных подходах к реализации интерфейса.

Завершающим этапом стало создание финальных версий интерфейсов по отобранным варфреймам. Готовые макеты были переданы разработчикам для интеграции в VR-приложение, что обеспечило согласованность визуальной и функциональной части продукта.

1.1.3 Полигецкий Тимофей Ильич

В рамках проекта по разработке и тестированию VR-приложения, основная задача которого заключалась в удалённом управлении моделью робота с помощью VR-шлема, мною была проведена серия базовых тестов пользовательского взаимодействия. Несмотря на отсутствие возможности использовать непосредственно VR-оборудование, тестирование проводилось с использованием стандартной компьютерной конфигурации — клавиатура и мышь. Это позволило оценить корректность работы основных функциональных модулей приложения.

В ходе тестирования были проверены следующие базовые функции:

- Управление передвижением робота в пределах доступного пространства;
- Активация встроенной камеры и отображение видеопотока;
- Управление механической клешнёй: захват, перемещение и отпускание объектов;
- Реакция интерфейса на различные пользовательские действия;

- Корректность отрисовки и поведения объектов в виртуальном пространстве.

Во время тестирования были выявлены несколько багов, среди которых наиболее значимыми оказались ошибки, связанные с коллизией объектов: в определённых зонах было возможно проваливание модели робота сквозь текстуры. Данная информация была оперативно передана команде разработчиков. Разработчики подтвердили наличие этих ошибок и устранили их в последующих версиях.

В процессе тестирования велась активная коммуникация с командой разработчиков, направленная на уточнение технических деталей, обсуждение возможных доработок и перепроверку исправлений. Это позволило обеспечить высокий уровень стабильности и функциональной готовности приложения к релизу.

Таким образом, проект был успешно завершён, и вклад тестирования сыграл важную роль в улучшении пользовательского опыта и технической надёжности конечного продукта.

1.1.4 Шилкин Егор Алексеевич

Во время подготовки КТ 3, я исправлял фрейм polygon selection (Рисунок 1), с фрейма Control убирал функции для управления (Рисунок 2), чтобы можно было сделать совместимость с основным проектом, также во втором Control я убрал функции (Переключение вида, прыжок, присесть, просмотр подсказок) (Рисунок 3).

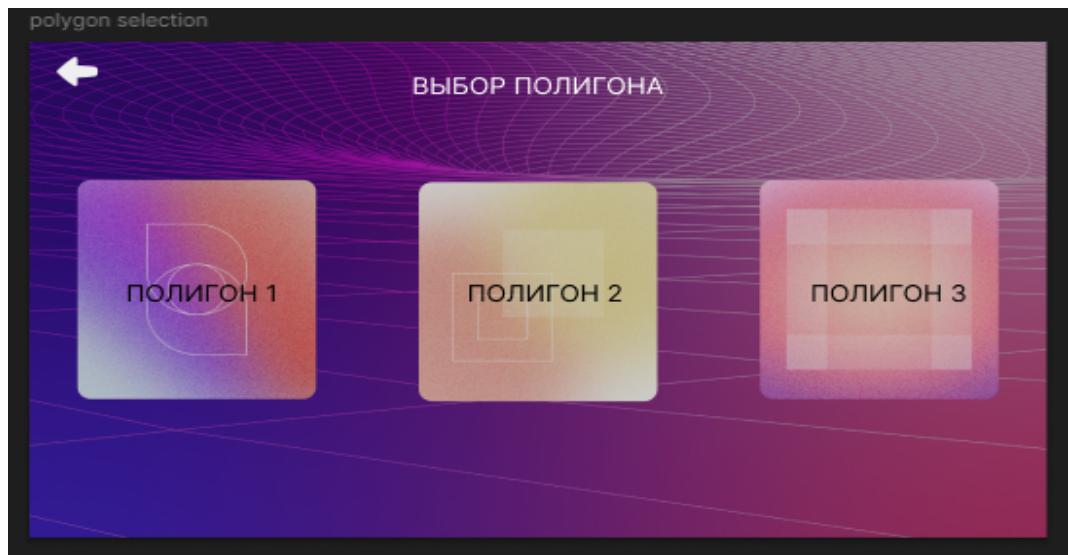


Рисунок 1 – UI/UX дизайн

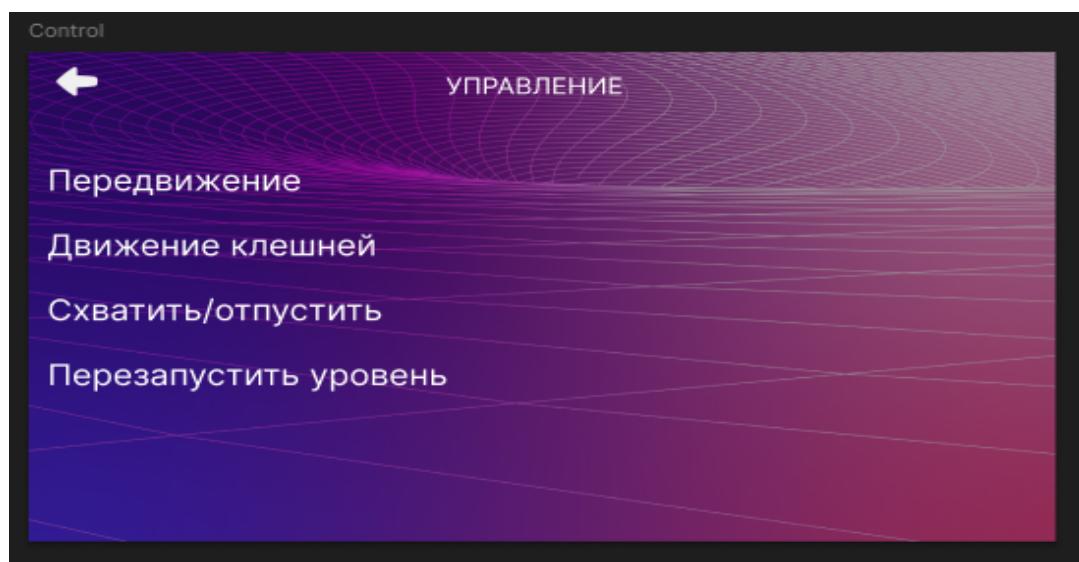


Рисунок 2 – UI/UX дизайн

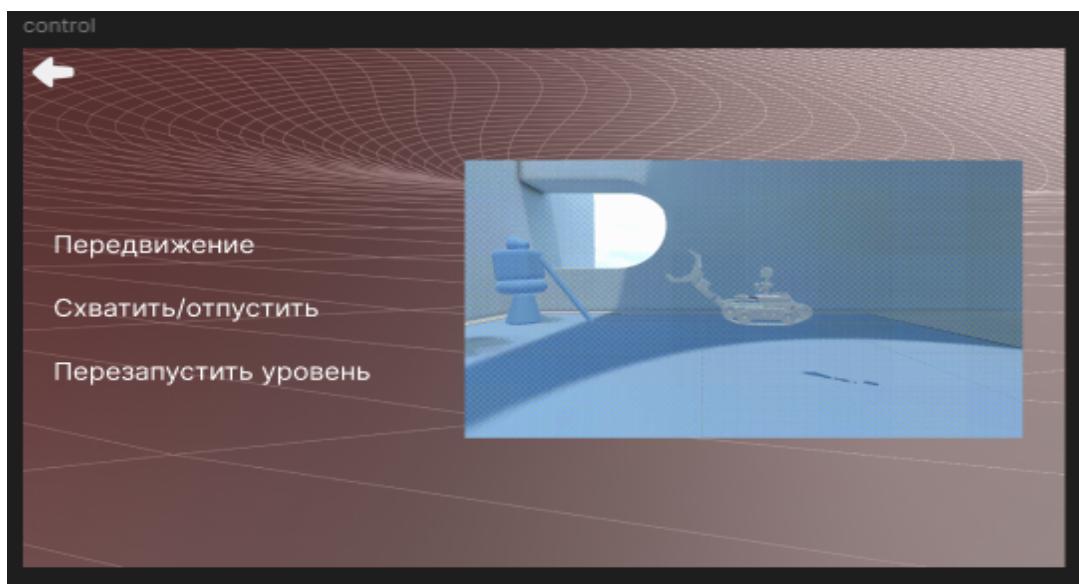


Рисунок 3 – UI/UX дизайн

1.1.5 Чеглаков Андрей Евгеньевич

В рамках проекта была выполнена работа по проектированию пользовательского интерфейса. Основное внимание было уделено созданию главного экрана, содержащего три ключевых элемента управления (Рисунок 4):

- Кнопка «Начать» — переход к выбору локаций;
- Кнопка «Управление» — краткий справочник по взаимодействию;
- Кнопка «Обучение» — доступ к pop-up подсказкам.

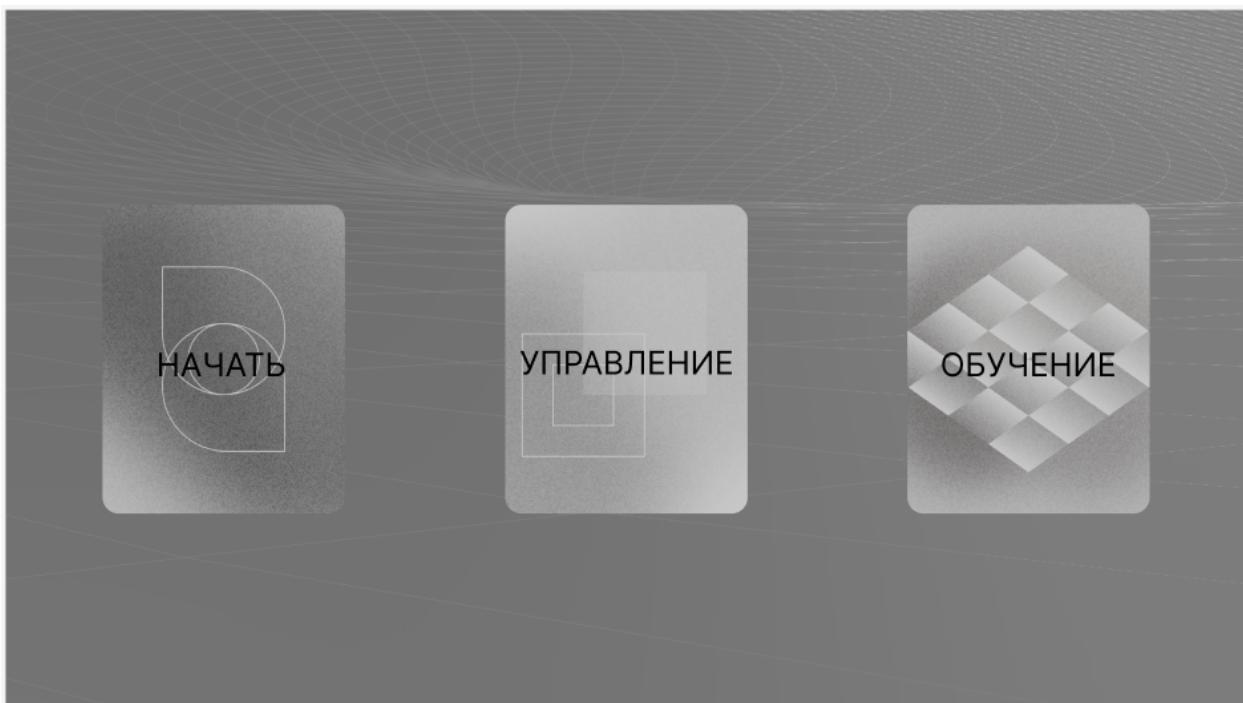


Рисунок 4 – Элементы управления

Были реализованы визуальные решения, включающие минималистичный дизайн элементов интерфейса, в частности кнопок, а также систему подсказок — например, уведомление о выборе локации после нажатия кнопки «Начать». Итоговый интерфейс обеспечивает быстрый и

понятный вход в работу с симулятором, исключая избыточную информационную нагрузку.

1.1.6 Дементьев Дмитрий Данилович

В течение семестра осуществлялась работа по звуковому сопровождению виртуального аналога программируемого робота. Основной задачей было создание реалистичной аудиосреды, максимально приближённой к звукам, издаваемым реальной моделью.

На первом этапе были определены необходимые звуковые элементы в соответствии с техническим заданием. Изучались акустические особенности движущихся механизмов, включая запуск, перемещение, повороты, остановку, сигналы и обратную связь.

Для обеспечения высокого качества записей было подобрано и настроено соответствующее оборудование: конденсаторный микрофон, аудиокарта и ноутбук. Запись проводилась в аудитории, где находилась реальная модель робота, что позволило точно воспроизвести её звуки.

В общей сложности было записано 13 уникальных звуков, включая варианты начала движения (быстрого и медленного), звуки работы камер и клешни робота. Все записи прошли тщательную обработку в программном обеспечении Ableton Live: удаление шумов, эквалайзация, компрессия и пространственная обработка для создания эффекта присутствия.

Итоговые звуковые файлы были экспортированы в высоком качестве (WAV, 48kHz, 24bit) и переданы команде разработчиков для интеграции в виртуальную модель. В результате был сформирован полноценный аудиопакет, соответствующий техническим требованиям проекта и готовый к применению.

1.2 Требования заказчика и пользователей

В результате проведения проблемного и экспертного интервью, а также сбора необходимых к реализации функций непосредственно от заказчика были сформированы следующие требования к программному продукту.

Заказчик ожидает реалистичную виртуальную модель физического робота, собранного на основе готового конструктора, с возможностью управления и взаимодействия в виртуальной среде.

Необходимо реализовать поддержку нескольких сценариев взаимодействия, то есть пользователь должен иметь возможность тестировать поведение робота в различных условиях и выполнении разных задач, допустим от перемещения до взаимодействия с объектами окружающей среды.

Программа должна полноценно работать в среде виртуальной реальности, обеспечивать погружение, управление с помощью контроллеров и адекватную реакцию на взаимодействие с интерфейсом, и поддерживать как можно больший спектр устройств (Oculus, HTC, Sony и т.д.) для обеспечения рентабельности и конкурентоспособности. При этом интерфейс должен быть интуитивно понятным и удобным для управления в VR-среде. Требуется минимизировать отвлекающие факторы и обеспечить лучшую доступность.

Также программный продукт должен быть устойчив к багам, включать механизмы обработки критических ситуаций и поддерживать расширяемость в дальнейшем.

В рамках реализации проекта была выбрана методология гибкой разработки (Agile), что позволило обеспечить адаптивный и поэтапный подход к созданию программного продукта. Agile-методология дала возможность своевременно реагировать на изменения требований, выявленные как в процессе анализа пользовательских потребностей, так и по результатам промежуточного тестирования и обратной связи от куратора.

После первичного этапа — определения целевого функционала на основе проблемного интервью и анализа аналогов — команда приступила к планированию работ. Для организации процесса была создана цифровая доска Kaiten (Рисунок 5), структурированная по основным этапам проекта. В ней отражались текущие, запланированные и выполненные задачи, а также сроки их реализации. Это позволило команде наглядно отслеживать прогресс и своевременно перераспределять ресурсы при необходимости.

Распределение задач между участниками происходило с учётом ролей и компетенций: программисты, UI-дизайнеры, тестировщики и координаторы работали над своими направлениями, взаимодействуя через регулярные обсуждения. Коммуникация внутри команды велась в основном через мессенджеры и видеосозвоны, где обсуждались возникающие трудности, результаты работы и следующие шаги.

Особое внимание уделялось поддержанию связи с куратором проекта, который предоставлял обратную связь по ходу выполнения этапов, помогал корректировать приоритеты и оценивать соответствие продукта изначальным целям. По мере продвижения команда регулярно направляла промежуточные версии и отчёты для оценки прогресса и согласования дальнейших шагов.

Дополнительно велось самостоятельное изучение документации по Unity, Blender и XR Interaction Toolkit. Это обеспечило более глубокое понимание используемых технологий, а также позволило эффективно решать технические задачи — от корректной интеграции VR-контроллеров до оптимизации поведения физической модели робота.

Благодаря скоординированной работе в рамках Agile-подхода, постоянному обмену информацией и активному взаимодействию с куратором, команда смогла последовательно реализовать необходимые функции и достичь поставленных целей в установленные сроки.

The screenshot shows a Kanban board in the Kaiten application. The columns are: Название (Name), ID, Дорожка (Roadmap), Колонка (Column), Размер (Size), Срок (Deadline), Задачник (Owner), Ответствен. (Responsible), Участники (Participants), Метки (Labels), Доска (Board), and Тип (Type). Tasks include: Подготовка руководства пользователя (48255197), Добавление новых элементов интерфейса (например, акустика) (48255109), Уточнение требований для сложных сценариев (47822117), Реализация сложных движений в сценарии (например, зазят о...) (47802208), Тестирование базовой функциональности (например, корректно...) (47821186), Создание сценария взаимодействия с окружением (47802181), Проектирование интерфейса управления цифровым двойником (47821137), Разработка концепции взаимодействия с цифровым двойником (47821133), Объединить функционал в один проект (47820567), Перенести реализованное механизмы на готовую модель (если о...) (47802051), Реализовать инфраструктурные данные (трея на корпусе) (4782046), Реализация передачения (гусеницы, корпус) (4781973), Реализация камеры на работе (4781956), Начать вести документацию (46896585), Сделать 3D модель (46335784), разработать самый простой каркас для разработки функционала (46335698), управление клешней (47644109), Вопросы для экспериментного интервью (46896491), Итоги референс для интерфейса (46896401), Road Map (46335651), Написание чек листов для проверки базовой функциональности (47802158), Составить мир (46335536), Составить план работы (46335548), Вопросы для экспериментального интервью (46896461), наброски дизайна интерфейсов (46896576), Вопросы для экспериментального интервью (46896501). Labels include: дизайнера интерфейса, разработки, тестировщика, гейм дизайнерам, Керлинг, планирование.

Рисунок 5 – Реализация ведения бэклога в Kaiten

1.3 Анализ и сопоставление аналогов

При проведении анализа и попытке сопоставления существующих аналогов программного продукта установить полностью идентичные решения не удалось. На рынке присутствуют отдельные программные комплексы, ориентированные на симуляцию робототехнических систем или работу в виртуальной среде, однако они либо решают иные задачи, либо не обеспечивают необходимого уровня детализации и гибкости, требуемой для данного проекта.

Наиболее близкие по функциональности решения, такие как стандартные симуляторы роботов (например, Gazebo, Webots, V-REP), ориентированы преимущественно на техническое моделирование и инженерную отладку в плоскости, отличающейся от поставленных целей. При этом они, как правило, не имеют нативной интеграции с VR и не ориентированы на пользовательские сценарии взаимодействия в виртуальной среде с помощью гарнитур вроде Oculus Quest 2.

Разрабатываемый продукт реализует уникальные функции, в том числе:

- специализированное управление цифровым двойником с возможностью симуляции сложных сценариев поведения;
- полная интеграция с VR-средой, предоставляющая пользователю реалистичный опыт управления в иммерсивной форме;
- соответствие требованиям, сформулированным на основе проблемных интервью, что делает продукт глубоко адаптированным под нужды конечных пользователей;
- визуализация состояния и поведения робота в режиме реального времени, обеспеченная связкой Unity и XR Interaction Toolkit;
- использование кастомной 3D-модели робота, созданной в Blender, с физически точным поведением и сложной системой взаимодействия с виртуальной средой.

Таким образом, продукт можно охарактеризовать как специализированное и инновационное решение, не имеющее прямых аналогов в своей категории и ориентированное на узкий, но важный сегмент применения цифровых двойников в образовательной, исследовательской и инженерной среде.

1.4 Обзор архитектуры и описание основных компонентов

В реализации использовались следующие компоненты:

1) Модуль цифрового двойника

Это 3D-модель робота созданная в Blender, импортированная и дополненная необходимыми физическими компонентами, такими как Rigidbody и Collider, что обеспечивает достаточный уровень качества симуляции движений и взаимодействия с объектами среды.

2) Модуль управления

Реализован на базе Unity Input System в связке с XR Interaction Toolkit, где обрабатываются пользовательские команды и отправляются в

симуляционный модуль, что позволяет взаимодействовать с роботом посредством контроллеров управления VR.

3) Модуль тестирования и логирования

Встроенный обработчик событий, который ведёт запись всех событий в процессе работы приложения, включая действия пользователя, изменение координат и ошибки.

4) Физическая среда

Представляет собой набор объектов и препятствий, с которыми может взаимодействовать робот. Все объекты обладают физическими свойствами, что позволяет проводить правдоподобное моделирование столкновений, движения по поверхности и динамики среды.

Выбор Unity был обоснован непосредственно желанием заказчика по реализации, а также из-за его лёгкости в освоении и гибкости в функционале. Неоспоримым преимуществом также выступило наличие заранее встроенного модуля XR Interaction Toolkit для создания VR проектов. Выбор и компоновка именно таких модулей было необходимой для запуска проекта, так и для того, чтобы в будущем можно было расширять функционал без переформатирования всего проекта.

1.5 Тестирование и ошибки

На всех этапах разработки проводились проверки на корректность работы и валидность, если были найдены какие-либо баги или правки, о них сразу же сообщалось разработчикам с помощью социальных сетей, для более быстрого реагирования. Так как проект реализовывался и создавался из разных модулей, то отдельно проверять, допустим модели или интерфейсы, было просто не целесообразно, а порой и не возможно без интеграции их в VR среду. После релиза работоспособной версии программы проводились тесты на разные функциональные и интеграционные баги, составлялись баг-

репорты, составлялась таблица (Таблица 1) и дублировались отдельно разработчикам. Были выделены наиболее критические моменты, которые непосредственно влияли на работоспособность – исправлены самыми первыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка соответствия программного продукта поставленным требованиям заказчика и пользователей показывает, что разработка достигла оптимального уровня реализации, предусмотренного изначальными целями проекта. Это означает, что продукт не только охватывает базовый и демонстрационный функционал, но и выходит за его рамки, реализуя расширенные сценарии использования, тесно привязанные к выявленным в ходе проблемного интервью потребностям.

Цифровой двойник робота демонстрирует способность работать в сложных условиях, в том числе моделировать поведенческие особенности и взаимодействовать с динамически изменяющимся окружением. Это особенно важно с учётом того, что в процессе интервью с заказчиком акцент делался на реалистичность симуляции, устойчивость системы к нестандартным ситуациям, а также на расширяемость — возможность гибко адаптировать продукт под разные задачи.

На основе результатов тестирования можно сделать вывод о высокой степени готовности и устойчивости программного продукта. В процессе тестирования были выявлены несколько критических недочётов, включая проблемы с инициализацией проекта и несогласованность текстур, однако быстрая реакция разработчиков на уведомления от тестеровщиков, привели к их своевременное устраниению.

На основании наблюдений можно утверждать, что продукт обладает хорошей устойчивостью к пользовательским ошибкам, что особенно важно для симуляции в виртуальной среде. Исправление ошибок в ранних итерациях позволило избежать "снежного кома" ошибок, что снизило вероятность возникновения скрытых проблем на поздних стадиях.

Для будущих обновлений можно выделить некоторые задачи, например оптимизации, где-то можно уменьшить количество полигонов, где-то наоборот, сделать более детализированный объект. Также можно сказать, что у нас есть бесконечный простор мысли для расширения функционала, так как

проект не заканчивается только на реализации одного единственного робота, можно предоставить выбор из множества различных двойников для выполнения разных задач.

Подытоживая всё вышеперечисленное можно с уверенностью сказать, что проект был реализован в полной мере, были выполнены все поставленные задачи, протестированы на наличие багов, которые были успешно устранены. Получился работоспособный продукт (приложение А), который может использоваться по прямому назначению, и имеющий внушающие перспективы к расширению и развитию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Миллер Д. Unity в действии. Мобильные, 2D, 3D и VR-игры. – СПб.: Питер, 2022. – 432 с.
2. Шлее Дж. Разработка приложений для виртуальной и дополненной реальности. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 416 с.
3. Никитин П. Blender. Основы 3D-моделирования. – М.: Эксмо, 2021. – 288 с.
4. Крэнфилд С. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 368 с.
5. Лаффра К. Agile для команд. Как скоординировать работу над ИТ-продуктом. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2020. – 256 с.
6. Бейер Х., Холцблattt К. Контекстуальный дизайн. Определение пользовательских требований. – М.: Лори, 2020. – 320 с.
7. Джонсон Д. Интерфейс пользователя. Как сделать его удобным. – М.: Вильямс, 2021. – 272 с.
8. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс. – М.: Вильямс, 2021. – 896 с.
9. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Паттерны проектирования. – СПб.: Питер, 2022. – 368 с.
10. Norman D. The Design of Everyday Things. – New York: Basic Books, 2013. – 384 p.
11. Официальный сайт Unity Technologies [Электронный ресурс]. – URL: <https://unity.com> (дата обращения: 24.05.2025).
12. Официальная документация XR Interaction Toolkit [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.3/manual/index.html> (дата обращения: 24.05.2025).
13. Официальная документация Blender [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.blender.org> (дата обращения: 24.05.2025).

(обязательное)

Иллюстрации

