

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: Фадеев Виталий Олегович

Куратор: Шестеров Михаил Андреевич

Студенты команды

Юлдашов Д. Ш.

Крымский А. Р.

Мещеряков В. О.

---

---

---

---

---

---

Екатеринбург, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Основная часть	5
1.1 Разбор требований заказчика	8
1.2 Анализ конкурентов	9
1.3 Обзор архитектуры программного продукта	10
1.3.1 Основные компоненты и их связи.....	10
1.3.2 Обоснование архитектурного решения.....	11
1.4 Методология разработки	12
1.4.1 Процесс разработки	12
1.4.2 Результаты тестирования и выявленные ошибки	14
1.5 Календарный план проекта	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	16
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	18
ПРИЛОЖЕНИЕ ПРОЕКТА	19

## **ВВЕДЕНИЕ**

Целью данного проекта является создание цифрового двойника робота в VR-среде для проведения симуляционных испытаний на основе данных, полученных из проблемного интервью. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: проведение проблемного интервью с целевой аудиторией для выявления ключевых потребностей и требований; разработка архитектуры цифрового двойника; создание прототипа программного продукта на базе Unity; реализация сценариев взаимодействия пользователя с цифровым двойником; тестирование и валидация решения.

Актуальность проекта обусловлена стремительным развитием технологий цифровых двойников и виртуальной реальности, которые все чаще применяются в инженерии, образовании и научных исследованиях. Использование цифрового двойника позволяет минимизировать затраты на физическое тестирование, ускорить процесс отладки алгоритмов и повысить эффективность обучения работе с роботами. Особенно это важно в условиях ограниченных ресурсов и высоких требований к надежности и безопасности робототехнических систем.

Область применения данного программного продукта охватывает широкий круг пользователей — от инженеров и разработчиков, которым необходимо тестировать алгоритмы и моделировать различные сценарии поведения роботов, до образовательных учреждений, где продукт может использоваться как учебный инструмент для практической подготовки студентов. Также он будет полезен исследователям, стартапам и малому бизнесу, заинтересованным в снижении стоимости и времени разработки робототехники.

Ожидается, что по завершении проекта будет создан функциональный прототип цифрового двойника робота в VR-среде, позволяющий проводить симуляции, управлять моделью в режиме реального времени и реализовывать различные сценарии взаимодействия. Планируется, что продукт обеспечит удобство тестирования новых идей, поддержку автономных функций и возможность расширения с учетом будущих требований. Это сделает его перспективным решением для использования в научных, образовательных и коммерческих целях.

## 1. Основная часть

Роль: Тимлид

ФИО: Юлдашов Диор Шахназарович

Группа: РИ-320915

При выполнении проекта была взята роль тимлидера. Основными обязанностями являлись организация встреч с руководителем и членами группы, координация сроков исполнения заданий и своевременное информирование участников о приближении установленных временных рамок. Осуществлялось распределение обязанностей между участниками команды, оказание помощи в проведении анализа материала и составлении отчетов, активное участие в формировании перечня вопросов для проведения проблемных интервью.

С целью повышения эффективности планирования разработан детальный календарный график мероприятий на протяжении учебного семестра, созданный в среде Microsoft Excel. Под руководством автора выполнены необходимые презентационные материалы и видеоматериалы, используемые в ходе промежуточных проверок проекта, монтаж которых проведен посредством программы CapCut. Несмотря на небольшую численность коллектива — три человека — реализация данной роли предполагала высокую степень ответственности и необходимость тщательной проработки деталей.

Реализация указанного проекта способствовала существенному развитию профессиональных качеств в области управления проектами, совершенствованию коммуникативных способностей, улучшению навыков временной организации и взаимодействия в команде. Дополнительно было приобретено умение эффективно применять современные цифровые средства, что существенно повысило качество и эффективность проектной деятельности. Опыт, полученный в процессе выполнения задания, имеет

большое значение для дальнейшего профессионального роста и совершенствования компетенции, необходимой для успешного участия в проектах подобного типа.

Роль: аналитик

ФИО: Крымский Артур Ринатович

Группа: РИ-320949

В рамках проекта была выполнена работа по нескольким ключевым направлениям, связанным с созданием цифрового двойника робота:

#### 1. Разработка камеры для цифрового двойника

Оказывалась помощь в проектировании и интеграции виртуальной камеры, обеспечивающей визуальное восприятие цифрового двойника. Камера используется для имитации зрения робота и взаимодействия с объектами в симуляционной среде.

#### 2. Тестирование цифрового двойника

Проводилось тестирование поведения цифрового двойника в виртуальной среде. Осуществлялась проверка корректности работы, взаимодействия с элементами симуляции, а также фиксация и анализ возникающих ошибок.

#### 3. Описание функциональных возможностей

Были подробно описаны основные функции цифрового двойника, включая:

- анимацию движения гусениц;
- работу камеры и ориентацию головы;
- распознавание чёрной линии и движение по заданной траектории;
- управление клешнёй и захват объектов.

Описание включало назначение каждой функции, её принцип действия и возможное применение в рамках симуляционной модели.

#### 4. Анализ рынка и целевой аудитории

Проведён анализ существующих решений и изучена целевая аудитория. Полученные данные позволили выделить конкурентные преимущества проекта и определить направления его дальнейшего развития.

#### 5. Проведение проблемного интервью с заказчиком

Проведено проблемное интервью с заказчиком с целью уточнения требований, ожиданий и ключевых задач проекта. Это дало возможность скорректировать функциональные приоритеты цифрового двойника и повысить соответствие разработки запросам пользователя.

Роль: Unity-разработчик

ФИО: Мещеряков Владислав Олегович

Группа: РИ-320915

Выполнены следующие шаги:

- Подготовка технической основы для дальнейшей работы.
- Установка необходимого ПО.
- Выбор технологий для разработки.
- Работа с 3D-моделью точной копии робота.
- создание модели в Blender.
- интеграция модели в проект Unity.
- настройка компонентов для реализации управления.
- написание скриптов для компонентов.

Реализовано:

- Управление роботом, его рукой и клешней.
- Добавление скелета для 3D модели робота.
- Камера робота и управление ей.
- Датчик дистанции до объектов в камере робота.
- Анимация гусениц робота.
- Система полуавтопилота робота.

## **1.1. Разбор требований заказчика**

В ходе проведения проблемного интервью были выявлены ключевые требования заказчика к функциональности цифровой модели робота.

Заказчик выразил следующие ожидания:

- реалистичная имитация работы датчика линии — чтобы цифровой двойник точно реагировал на изменение положения относительно линии, аналогично реальному роботу;
- точная манипуляция движением — необходимо обеспечить плавное и достоверное поведение робота при движении, включая повороты, остановки и движение по траектории;
- возможность проброса изображения с камеры — для полноценной симуляции восприятия окружающей среды, требуется передача видеопотока с виртуальной камеры на интерфейс пользователя.

Указанные требования стали основой для планирования и описания функциональных возможностей цифрового двойника в рамках проекта.



## 1.2. Анализ конкурентов

Критерий	Наш проект	RoboDK	Siemens	UnityRobotics	VPL	IsaacSim
VR-поддержка	✓ Да	✗ Нет	✗ Нет	⚠ Опционально	✗ Нет	⚠ Ограничено
Ориентация на обучение	✓ Да	⚠ Частично	✗ Нет	⚠ Частично	✓ Да	✗ Нет
Доступность	✓ Высокая	✗ Низкая	✗ Низкая	✓ Да	✓ Да	✗ Низкая
Гибкость и кастомизация	✓ Высокая	⚠ Средняя	✗ Низкая	✓ Высокая	✗ Низкая	✓ Высокая
Простота освоения	✓ Да	⚠ Нет	✗ Нет	✗ Нет	✓ Да	✗ Нет

## 1.3. Обзор архитектуры программного продукта

Проект представляет собой симуляцию робота на гусеничном ходу с манипулятором (клешней) и камерой, разработанный в Unity. Архитектура построена на компонентно-ориентированном подходе, характерном для Unity, с использованием MVC-подобной структуры для разделения логики, управления и представления.

### **1.3.1. Основные компоненты и их связи**

#### **1. Модель робота**

##### **1. Гусеничный движитель:**

- Физика движения реализована через Rigidbody.
- Для коллизий используется комбинация Box Collider (основной корпус) и Mesh Collider (детализированные элементы).
- Управление направлением InputAction (вперед/назад, поворот).

##### **2. Манипулятор (клешня)**

- Состоит из нескольких ArticulationBody или Hinge Joint для имитации сочленений.
- Управление: InputAction для ввода управления.

##### **3. Камера**

- Виртуальная камера, прикрепленная к роботу с возможностью поворота.

#### **2. Система управления**

##### **1. Ввод пользователя**

- Обработка клавиатуры/геймпада через Unity Input System.

##### **2. Логика движения**

- Преобразует ввод в команды для гусениц.

### 3. Логика манипулятора

- Управление клешней (захват, вращение, перемещение).

## 3. Физика и окружение

### 1. Unity Physics (Rigidbody, Colliders)

- Реализация реалистичного взаимодействия с объектами.
- Объекты для захвата, тестовая площадка.

### 1.3.2. Обоснование архитектурного решения

#### 1. Компонентный подход:

- Unity изначально заточена под GameObject + Component, что удобно для роботосимуляции.
- Каждая часть робота (гусеницы, клешня, камера) — отдельный компонент, что упрощает переиспользование кода.

#### 2. MVC-подобная структура:

- Четкое разделение на Model (робот), Controller (управление), View (FPV).
- Позволяет легко заменять логику (например, перейти с ручного управления на автономное).

## 1.4. Методология разработки

Разработка цифрового двойника велась с использованием итеративного подхода, сочетающего элементы гибкой методологии Agile и

прототипирования. Такой подход позволил на каждом этапе вносить улучшения на основе обратной связи и текущих результатов тестирования. В качестве основной среды разработки использовался Unity, так как она обеспечивает достаточную гибкость для работы с VR-технологиями, позволяет реализовать управление, визуализацию и физику модели.

На первом этапе были собраны данные из проблемного интервью, проведённого с представителями целевой аудитории. Это позволило определить, какие функции наиболее важны для пользователей, а также — какие ограничения и требования следует учитывать. На основе полученных данных была составлена архитектура цифрового двойника и определён список базовых функций для реализации MVP (минимально жизнеспособного прототипа).

#### **1.4.1. Процесс разработки**

##### **1. Управление роботом**

- Было изучено, какие типы скриптов в Unity можно использовать для реализации движения объектов. Особое внимание уделялось `HorizontalMovement.cs` и `AxisRotation.cs`, которые были адаптированы под движение корпуса, поворот руки и клешни.
- Скрипты были привязаны к соответствующим частям 3D-модели робота: корпус, рука, клешня.
- Реализовано пошаговое управление:
  - Вперёд/назад: клавиши W/S
  - Поворот корпуса: клавиши A/D
  - Вращение руки: клавиши Q/E
  - Поворот клешни: клавиши Z/X
  - Открытие/закрытие клешни: клавиша Space

##### **2. Дополнительные модули**

###### **1. Анимация гусениц**

- Реализована анимация движения гусениц, синхронизированная с перемещением модели.
- Обеспечена согласованность направления движения и визуального эффекта вращения.

## 2. Физическая модель и взаимодействие с окружением

- Настроены компоненты Rigidbody и Collider для моделирования веса, инерции и столкновений.
- Робот теперь корректно реагирует на столкновения с объектами сцены, может их отталкивать.
- Улучшена устойчивость модели при наклонах и при касании других тел.

## 3. Захват объектов клешнёй

- Внедрена система захвата и удержания объектов клешнёй робота.
- Учтена различная масса и форма объектов, что делает захват реалистичным и интерактивным.
- Протестирована надёжность фиксации предметов при движении.

## 4. Камера и ориентация головы

- Установлена камера первого лица (FPV), смонтированная в «голове» робота.
- Камера выполняет измерение расстояний до объектов с помощью Raycasting.
- Реализована синхронизация направления взгляда камеры с поворотом головы — робот «смотрит» в нужном направлении.

## 5. Режим полуавтопилота (линейное следование)

- Добавлен режим автономного следования по линии на поверхности.
- Разработан простой алгоритм распознавания чёрной линии и поворотного управления.
- Обеспечен переключатель между ручным и автоматическим режимами.

## 3. Используемые технологии

- Unity — основная среда разработки и визуализации.
- C# — написание логики, управление, взаимодействие.
- Unity Physics (Rigidbody, Collider, Raycasting) — физика и столкновения.
- Animator и Shader Graph — анимация и визуальные эффекты (гусеницы, захват).
- Custom AI Logic — трекинг линии.
- Camera & Raycasting — датчики дистанции и ориентация в пространстве.

### 1.4.2. Результаты тестирования и выявленные ошибки

Тестирование проводилось поэтапно — после каждой новой функциональной реализации. Использовался ручной тестинг в среде Unity с URP (Universal Render Pipeline). Были протестированы следующие сценарии:

Этап	Проверка	Результат
Движение вперёд/назад, поворот корпуса	W/S, A/D	Успешно
Вращение руки и клешни	Q/E, Z/X	Успешно

Работа камеры и датчика	Наведение на объект	Успешно
Трекинг по черной линии	Навигация по сцене	Успешно (в простых условиях)
Открытие клешни	Space	Успешно

**Выявленные ошибки:**

- При первоначальной настройке вращение клешни конфликтовало с поворотом всей руки — решено пересмотром родительской иерархии объектов.
- На раннем этапе камера "проваливалась" внутрь модели — устранено путём корректной привязки к крепёжной точке головы.
- Слишком резкое движение корпуса при повороте — устранено добавлением ограничения скорости поворота и сглаживания через Lerp-функции.
- Сбои в анимации гусениц — решено пересмотром логики запуска анимации в зависимости от скорости трансформации.

## 1.5. Календарный план проекта

На рис. 1 представлен календарный план проекта.

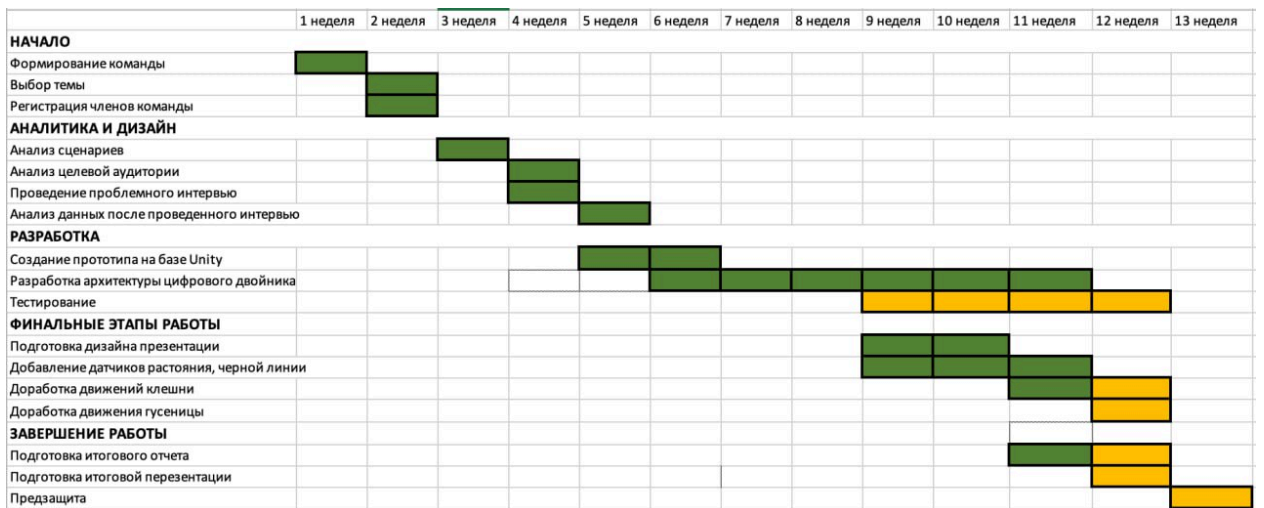


рис. 1 (Календарный план проекта)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате реализации проекта по созданию цифрового двойника робота в VR-среде для проведения симуляционных испытаний, была достигнута основная цель — разработка функционального прототипа, который отвечает ключевым потребностям и требованиям, выявленным в ходе проблемного интервью. Проект успешно выполнил поставленные задачи, включая разработку архитектуры цифрового двойника, создание прототипа на базе Unity, реализацию сценариев взаимодействия пользователя с моделью и тестирование решения.

Актуальность проекта подтверждается растущим интересом к технологиям цифровых двойников и виртуальной реальности, которые находят применение в различных областях, таких как инженерия, образование и научные исследования. Создание цифрового двойника позволяет значительно сократить затраты на физическое тестирование, ускорить процесс отладки алгоритмов и повысить эффективность обучения, что особенно важно в условиях ограниченных ресурсов и высоких требований к надежности робототехнических систем.

Оценка соответствия программного продукта поставленным требованиям показала, что разработанный цифровой двойник успешно выполняет функции, необходимые для тестирования алгоритмов и моделирования различных сценариев поведения роботов. Продукт охватывает широкий круг пользователей, включая инженеров, разработчиков, образовательные учреждения и исследователей, что подтверждает его универсальность и практическую ценность.

Качество программного продукта было оценено на основе результатов тестирования, в ходе которого были выявлены некоторые незначительные дефекты, касающиеся производительности в условиях высокой нагрузки и логики взаимодействия компонентов. Эти недостатки, хотя и не критичные, могут оказывать влияние на общую работоспособность системы, особенно в



сценариях, требующих высокой точности. Рекомендуется провести дополнительную оптимизацию кода и улучшение алгоритмов взаимодействия для повышения стабильности и производительности.

В качестве предложений по улучшению продукта и его дальнейшему развитию можно выделить следующие направления:

- Расширение функционала: Внедрение дополнительных сценариев и возможностей для более сложных симуляций, что позволит пользователям глубже исследовать поведение робота в различных условиях.
- Интеграция с внешними системами: Разработка API для взаимодействия с другими программными продуктами и системами, что обеспечит более широкие возможности для анализа данных и интеграции в существующие производственные процессы.
- Обучение и поддержка пользователей: Создание обучающих материалов и системы поддержки для пользователей, что поможет им максимально эффективно использовать возможности цифрового двойника.

Проект по созданию цифрового двойника робота в VR-среде не только достиг поставленных целей, но и открыл новые горизонты для дальнейшего развития и улучшения, что позволит значительно повысить его ценность для пользователей и заказчиков.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баранов, А. В. Виртуальная реальность: технологии и приложения / А. В. Баранов. — М.: Наука, 2020. — 256 с.
2. Кузнецов, И. А. Основы разработки игр на Unity / И. А. Кузнецов. — СПб.: Питер, 2019. — 320 с.
3. Лебедев, С. В. Моделирование и симуляция в виртуальной реальности / С. В. Лебедев. — Екатеринбург: УрФУ, 2021. — 180 с.
4. Михайлов, А. Н. Виртуальная реальность в образовании: возможности и перспективы / А. Н. Михайлов. — М.: Издательство МГУ, 2022. — 210 с.
5. Никифоров, Д. В. Unity 3D: создание игр и приложений / Д. В. Никифоров. — Казань: Казанский университет, 2020. — 300 с.
6. Петров, В. И. Технологии виртуальной реальности: от теории к практике / В. И. Петров. — Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2021. — 250 с.
7. Сидоров, А. А. Моделирование робототехнических систем в среде Unity / А. А. Сидоров. — Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2020. — 220 с.
8. Тихомиров, А. С. Виртуальная реальность: принципы и технологии / А. С. Тихомиров. — Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2019. — 300 с.
9. Федоров, И. П. Основы проектирования виртуальных симуляторов / И. П. Федоров. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 240 с.
10. Шевченко, Е. В. Виртуальная реальность и ее применение в инженерии / Е. В. Шевченко. — Екатеринбург: УрГЭУ, 2022. — 190 с.
- 11.

## ПРИЛОЖЕНИЕ ПРОЕКТА

### 1. Демонстрация сценариев работы.

