

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

Институт компьютерных технологий и защиты информации
Кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления
Направление подготовки: 09.03.02 «Информационные системы и технологии»
Образовательная программа: профиль «Информационные системы»

К защите допустить
Зав. каф. _____ АСОИУ
_____ Шлеймович М.П.
«___» _____ 20__ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему: «Разработка информационной системы обучения основам тактико-
технических характеристик стрелкового оружия»

ОБУЧАЮЩИЙСЯ _____ Карамов Тимур Илдусович _____
(подпись)

РУКОВОДИТЕЛЬ _____ Павлов Александр Дмитриевич _____
(подпись)

Казань 2025 г.

Development of an information system for teaching the basics of tactical and technical characteristics of small arms

By

Karamov Timur Ildusovich

Submitted to the Department of Automated Information Processing Systems and
Control

in partial fulfillment of the Requirements for the degree of

BACHELOR OF SCIENCE

at the

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI»

(KNRTU-KAI)

Author

(signature)

Timur Ildusovich Karamov

Supervisor

(signature)

Aleksandr Dmitrievich Pavlov
Department of Automated
Information Processing Systems and
Control

date

Kazan 2025

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)**

Институт компьютерных технологий и защиты информации
Кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления
Направление подготовки: 09.03.02 «Информационные системы и технологии»

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

обучающегося Карамова Тимура Илдусовича
(фамилия, имя, отчество)

1 Тема выпускной квалификационной работы

Разработка информационной системы обучения основам тактико-технических
характеристик стрелкового оружия

утверждена приказом № _____ от «____» _____ 20__ г.

2 Срок сдачи обучающимся законченной ВКР «____» _____ 20__ г.

3 Исходные данные к выпускной квалификационной работе:

Информационная система должна соответствовать рекомендациям международных и
Российских стандартов.

Должны быть учтены положительные аспекты наиболее известных методик,
рекомендаций и методологий.

Структура системы должна соответствовать выбранной методике проектирования,
должна содержать разработанную для нее базу данных и интерфейс взаимодействия
пользователей с системой.

Реализация информационной системы должна осуществляться на базе
современных программных и аппаратных средств.

Информационная система должна учитывать принцип новых задач при разработке
информационных систем.

4 Перечень подлежащих разработке вопросов и исходные данные к ним:

Структура работы

Введение

1. Анализ существующей проблемы

2. Проектирование информационной системы

3. Реализация информационной системы

Заключение

Список использованной литературы

Приложение

5 Перечень графического материала (при наличии):

Не предусмотрено

6 Консультанты по ВКР (при их наличии, с указанием относящихся к ним разделов):

Основная часть, Сытник Анатолий Сергеевич,

(наименование раздела, ФИО консультанта, подпись)

(наименование раздела, ФИО консультанта, подпись)

(наименование раздела, ФИО консультанта, подпись)

(наименование раздела, ФИО консультанта, подпись)

Дата выдачи задания « ____ » _____ 20__ г.

Руководитель ВКР

(подпись)

Павлов Александр Дмитриевич

(ФИО)

Задание к исполнению принял

(подпись)

Карамов Тимур Илдусович

(ФИО)

Календарный план выполнения ВКР

[illegible]

Обучающийся _____
(подпись)

Карамов Т.И.
(Фамилия, инициалы)

(*ḍama*)

Руководитель _____
(подпись)

Павлов А.Д.
(Фамилия, инициалы)

(*ḍama*)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. Анализ существующей проблемы.....	12
1.1 Анализ предметной области и особенностей обучения тактико- техническим характеристикам оружия.....	12
1.2 Обоснование необходимости создания интерактивной образовательной системы.....	13
1.3 Анализ существующих программных решений.....	15
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.....	18
2.1 Цели и задачи информационной системы.....	18
2.1.1 Функции и задачи ИС.....	18
2.1.2. Технологии интерактивного обучения.....	20
2.1.3. Формулирование целей и задач системы.....	21
2.2 Структура и архитектура информационной системы обучения основам ТТХ стрелкового оружия.....	23
2.3 Методы и технологии моделирования и оптимизации 3D-объектов для визуализации механизмов оружия.....	24
2.3.1. Моделирование 3D-объектов для визуализации механизмов оружия	24
2.3.2. Алгоритмы анимации рабочих процессов оружия.....	42
2.3.3. Обзор методов оптимизации 3D-моделей для кроссплатформенности	42
3. РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.....	47
3.1 Выбор языка программирования и платформы приложения.....	47
3.2 Описание компонентов системы.....	48
3.3 Руководство пользователя.....	49
3.4 Техническое и программное обеспечение.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
CONCLUSION.....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	55

АННОТАЦИЯ

Цель исследования – совершенствование процесса изучения тактико-технических характеристик (ТТХ) стрелкового оружия посредством создания специализированной информационной системы, использующей технологии трёхмерной визуализации и интерактивные подходы.

Для реализации цели выполнены следующие задачи:

- Исследованы проблемы текущих методов обучения ТТХ оружия и проанализированы существующие программные продукты;
- Создана высокодетализированная 3D-модель образца стрелкового оружия (KRISS Vector SBR Gen 2) с применением программ Blender, ZBrush и Substance Painter;
- Разработано интерактивное приложение на платформе Unity 3D, обеспечивающее визуализацию, разборку/сборку оружия и анимацию его механизмов;
- Спроектирована модульная структура учебного курса с интегрированными средствами оценки знаний;
- Обеспечена универсальность системы для работы на различных устройствах и интеграции с платформами дистанционного обучения.

Область применения – разработанная система ориентирована на использование в военных и технических вузах, а также в образовательных центрах и музейных экспозициях. Она адаптируема для изучения различных моделей оружия, поддержки разных языков и интеграции с системами управления обучением (LMS).

Результаты работы. Внедрение системы повышает качество обучения за счёт интерактивной визуализации сложных механизмов оружия, структурированной подачи материала и автоматизированной проверки знаний. Использование игрового движка Unity 3D и точных 3D-моделей обеспечивает глубокое погружение в учебный процесс, а модульная архитектура позволяет легко расширять функционал, добавляя новые модели и сценарии обучения.

Перспективы развития включают внедрение технологий виртуальной реальности (VR) для усиления эффекта присутствия, расширение библиотеки моделей оружия, интеграцию с платформами LMS (например, Moodle) и локализацию интерфейса для международного использования.

Ключевые слова: тактико-технические характеристики, стрелковое оружие, интерактивная обучающая система, 3D-визуализация, Unity 3D, автоматизация обучения, военное образование, цифровые технологии.

ABSTRACT

Karamov T.I. Development of an information system for teaching the basics of tactical and technical characteristics of small arms. Graduation final qualifying work in the field of training 09.03.02 – Information systems and technologies – Kazan, 2025. – X pages, X pictures, X tables, X source of literature.

The aim of the study is to enhance the learning process of tactical and technical characteristics (TTC) of small arms through the development of a specialized information system utilizing 3D visualization technologies and interactive approaches.

To achieve this goal, the following tasks were accomplished:

Analysis of challenges in current TTC teaching methods and evaluation of existing software solutions;

Creation of a highly detailed 3D model of a small arms sample (KRISS Vector SBR Gen 2) using Blender, ZBrush, and Substance Painter;

Development of an interactive application based on the Unity 3D game engine, incorporating visualization, disassembly/assembly of the weapon, and animation of its mechanisms;

Design of a modular course structure with integrated knowledge assessment tools;

Ensuring system versatility for operation across various devices and integration with learning management systems (LMS).

Scope of Application: The developed system is intended for use in military and technical higher education institutions, as well as in training centers and museum exhibitions. It is adaptable for studying various weapon models, supporting multiple languages, and integrating with LMS platforms.

Results: Implementation of the system improves the quality of learning by providing interactive visualization of complex weapon mechanisms, structured content delivery, and automated knowledge assessment. The use of the Unity 3D engine and precise 3D models ensures deep engagement in the learning process, while the modular architecture supports easy expansion with new weapon models and learning scenarios.

Future Prospects: Further development includes integrating virtual reality (VR) for enhanced immersion, expanding the library of weapon models, integrating with LMS platforms (e.g., Moodle), and localizing the interface for international use.

Keywords: tactical and technical characteristics, small arms, interactive learning system, 3D visualization, Unity 3D, learning automation, military

education, digital technologies.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

FBX — Filmbox;

LOD — Level of Detail;

3D – Трёхмерное моделирование;

PBR — Physically Based Rendering;

ПК – Персональный компьютер;

ТТХ — Тактико-технические характеристики;

UI — User Interface;

API – Application Programming Interface;

VRAM — Video Random Access Memory.

ВВЕДЕНИЕ

Современные информационные технологии открывают новые горизонты для совершенствования образовательных процессов, обеспечивая качественно иной уровень подготовки специалистов в различных областях. Особенно значимыми становятся цифровые решения в техническом и военном образовании, где изучение сложных систем, таких как стрелковое оружие, требует высокой наглядности и интерактивности. Тактико-технические характеристики (ТТХ) оружия включают широкий спектр параметров – от конструктивных особенностей до принципов работы механизмов, – освоение которых является ключевым для подготовки квалифицированных специалистов. Однако традиционные подходы к обучению, опирающиеся на лекции, печатные пособия и статичные схемы, не соответствуют современным требованиям, ограничивая возможности глубокого понимания материала [1].

Одной из основных проблем является недостаточная визуализация сложных технических систем. Схематические изображения и текстовые описания не позволяют студентам полноценно представить динамику работы механизмов, таких как ударно-спусковой механизм или система газоотвода. Ограниченный доступ к реальным образцам оружия в гражданских вузах усугубляет эту проблему, делая обучение оторванным от практики. Кроме того, традиционные материалы не адаптируются под индивидуальные потребности обучающихся, что приводит к пробелам в знаниях и снижению мотивации. Современные студенты, привыкшие к интерактивным цифровым форматам, требуют более динамичных и вовлекающих методов подачи информации.

Дополнительные вызовы связаны с высокой трудоемкостью подготовки и обновления учебных материалов. Разработка методических пособий требует значительных ресурсов, а их актуализация в условиях постоянной модернизации оружия зачастую запаздывает. Это приводит к использованию устаревших данных, что особенно критично в военном образовании, где точность и актуальность информации имеют первостепенное значение. Рост популярности дистанционного обучения, ускоренный глобальными событиями, такими как пандемия COVID-19, выявил потребность в универсальных платформах, способных поддерживать как аудиторное, так и удаленное изучение материала. Однако существующие решения для обучения ТТХ оружия либо ориентированы на узкоспециализированные военные структуры, либо не обладают достаточной интерактивностью и гибкостью [2].

На рынке образовательных технологий существуют программные продукты, такие как электронные обучающие комплексы («Оружейник»), мобильные приложения (Gun Disassembly) и VR-тренажеры. Однако эти решения имеют существенные недостатки: ограниченную функциональность, отсутствие методической структуры, высокую стоимость или закрытую архитектуру, препятствующую адаптации под конкретные образовательные программы. Электронные комплексы часто ограничиваются статичными схемами и тестами, мобильные приложения не обеспечивают системного обучения, а VR-тренажеры, несмотря на технологичность, недоступны для массового использования из-за дороговизны оборудования. Таким образом, существует потребность в разработке специализированной информационной системы, которая объединила бы высокоточную визуализацию, интерактивные элементы и методически выверенную структуру для эффективного изучения ТТХ оружия [3].

Разрабатываемая в рамках данной работы информационная система направлена на устранение этих недостатков, обеспечивая интерактивное и наглядное обучение основам ТТХ стрелкового оружия. Система базируется на высокоточной 3D-модели оружия (KRISS Vector SBR Gen 2), созданной с использованием инструментов Blender, ZBrush и Substance Painter, и реализована на игровом движке Unity 3D. Она предоставляет возможности для визуализации, разборки/сборки оружия, анимации механизмов и контроля знаний через интерактивные задания. Модульная структура курса позволяет организовать обучение по принципу постепенного погружения – от общих понятий к детальному анализу, – а кроссплатформенность обеспечивает доступность на различных устройствах, включая ПК и мобильные платформы [4].

Целью выпускной квалификационной работы является разработка информационной системы, повышающей эффективность изучения ТТХ стрелкового оружия за счет интеграции современных технологий 3D-визуализации и интерактивных методик. Для достижения цели были решены следующие задачи:

- Анализ проблем традиционных методов обучения и обзор существующих программных решений;
- Создание высокодетализированной 3D-модели оружия с использованием технологий физически корректного рендеринга;
- Реализация интерактивного приложения на платформе Unity 3D с функциями визуализации и анимации;

- Обеспечение масштабируемости и кроссплатформенности системы для интеграции с системами дистанционного обучения;
- Разработка удобного и понятного пользовательского интерфейса.

В ходе практики были сформированы компетенции, связанные с созданием, модификацией и сопровождением информационных систем. Практическая значимость работы заключается в создании универсального инструмента для технических и военных вузов, учебных центров и музейных экспозиций, который может быть адаптирован для изучения различных моделей оружия и интеграции с LMS-платформами.

Научная новизна работы заключается в сочетании технологий 3D-моделирования, игровых движков и методически выверенной структуры для создания образовательной платформы, обеспечивающей глубокое понимание ТТХ оружия. Полученные результаты демонстрируют значительное повышение качества обучения за счет интерактивной визуализации, автоматизации контроля знаний и гибкости системы. Область применения включает образовательные учреждения, дистанционные курсы и специализированные тренинговые центры. Дальнейшее развитие предусматривает внедрение виртуальной реальности (VR), расширение библиотеки моделей оружия и интеграцию с платформами управления обучением, что позволит повысить универсальность и доступность системы.

1. Анализ существующей проблемы

1.1 Анализ предметной области и особенностей обучения тактико-техническим характеристикам оружия

Предметная область данной работы охватывает разработку информационных систем для обучения тактико-техническим характеристикам (ТТХ) стрелкового оружия, что является важной составляющей подготовки специалистов в технических и военных образовательных учреждениях. ТТХ включают совокупность параметров, описывающих конструктивные особенности, принципы работы механизмов и эксплуатационные свойства оружия, такие как калибр, скорострельность, масса, дальность стрельбы и особенности автоматики. Изучение этих характеристик требует глубокого понимания устройства оружия, его механики и взаимодействия компонентов, что представляет сложность для обучающихся, особенно не обладающих инженерной подготовкой [5].

Обучение ТТХ оружия традиционно строится на лекционных занятиях, изучении текстовых материалов, схем и таблиц. Однако такой подход имеет ряд ограничений, препятствующих эффективному усвоению знаний. Во-первых, статичные материалы, такие как плакаты или чертежи, не позволяют в полной мере визуализировать динамические процессы, например, движение затвора или работу газоотводной системы. Это затрудняет формирование у студентов целостного представления о функционировании сложных механизмов. Во-вторых, доступ к реальным образцам оружия в гражданских вузах ограничен из-за строгих нормативов хранения и безопасности, что делает обучение преимущественно теоретическим и оторванным от практики.

Современные требования к образовательному процессу подчеркивают необходимость интерактивности и адаптивности. Студенты, привыкшие к цифровым технологиям, ожидают вовлекающих форматов, таких как 3D-визуализация или симуляции, которые позволяют не только изучать, но и взаимодействовать с учебным материалом. Однако большинство существующих методик не отвечают этим ожиданиям, что снижает мотивацию и эффективность обучения. Например, традиционные пособия не предоставляют возможности пошагового анализа механизмов или повторного изучения сложных узлов, что особенно важно для студентов с разным уровнем подготовки.

Еще одной особенностью предметной области является высокая динамика развития стрелкового оружия. Новые модели и модификации появляются регулярно, что требует постоянного обновления учебных

материалов. Разработка и корректировка традиционных пособий – процесс трудоемкий, требующий значительных временных и экспертных ресурсов. Устаревшие данные в учебниках могут привести к формированию некорректных представлений о современных системах вооружения, что недопустимо в контексте военного образования, где точность информации критически важна.

Рост популярности дистанционного обучения, особенно в условиях глобальных вызовов, таких как пандемия COVID-19, выявил потребность в цифровых платформах, способных поддерживать как аудиторное, так и удаленное изучение. ТТХ оружия, как предмет изучения, требует особого подхода, поскольку включает не только теоретические знания, но и понимание физических процессов. Существующие образовательные решения, такие как электронные учебники или мультимедийные презентации, часто ограничиваются статичным контентом и не включают инструментов для активного взаимодействия или контроля знаний, таких как тесты или симуляции сборки.

Таким образом, предметная область изучения ТТХ стрелкового оружия характеризуется высокой сложностью, необходимостью наглядной демонстрации механизмов и потребностью в адаптивных, интерактивных решениях. Разработка информационной системы, использующей 3D-визуализацию и игровые технологии, позволяет преодолеть указанные ограничения, обеспечивая глубокое понимание материала, повышение вовлеченности и универсальность применения в различных образовательных форматах [6].

1.2 Обоснование необходимости создания интерактивной образовательной системы

В условиях стремительного развития технологий и усложнения конструкций стрелкового оружия изучение тактико-технических характеристик (ТТХ) требует новых подходов. Традиционные методы обучения, основанные на лекциях и статичных материалах, не обеспечивают наглядности и интерактивности, необходимых для глубокого освоения сложных механизмов. Это делает актуальной разработку интерактивной образовательной системы, способной устранить ограничения и повысить качество подготовки специалистов.

Ключевая проблема традиционного обучения – недостаточная визуализация. Схемы и текстовые описания не передают динамику работы механизмов, таких как ударно-спусковой механизм или система компенсации

отдачи, что затрудняет понимание [7]. Интерактивная система с 3D-визуализацией позволяет моделировать процессы, обеспечивая наглядное изучение конструкции и функционирования оружия. Это повышает эффективность усвоения материала, особенно для студентов без инженерной подготовки.

Ограниченный доступ к реальным образцам оружия в гражданских вузах вынуждает полагаться на теорию, оторванную от практики. Виртуальные 3D-модели решают эту проблему, предоставляя возможность изучать разборку и сборку оружия в безопасной цифровой среде. Интерактивные элементы, такие как задания на идентификацию узлов, стимулируют вовлеченность и адаптируются под разные уровни подготовки.

Традиционные материалы требуют значительных усилий для обновления, что не соответствует темпам модернизации оружия. Цифровая платформа с модульной структурой позволяет быстро добавлять новые модели и актуализировать контент. Рост спроса на дистанционное обучение, вызванный глобальными вызовами, подчеркивает потребность в кроссплатформенных решениях, совместимых с ПК, мобильными устройствами и системами управления обучением (LMS).

Встроенные инструменты контроля знаний, включая тесты и симуляции, повышают объективность оценки и делают обучение увлекательным. Разработка интерактивной системы обеспечивает качественную подготовку, устраняя недостатки традиционных методов и отвечая требованиям современного образования .

1.3 Анализ существующих программных решений

В области изучения тактико-технических характеристик (ТТХ) стрелкового оружия образовательные технологии играют ключевую роль, однако существующие программные продукты не полностью удовлетворяют потребности современного военного и технического образования. В 2025 году рынок предлагает несколько решений, различающихся по функциональности и целевой аудитории, которые можно рассмотреть в контексте их возможностей и ограничений.

Игра *Escape from Tarkov*, разработанная Battlestate Games, представляет собой тактический шутер с высокой детализацией оружия, включая реалистичные 3D-модели и анимации, такие как разборка и модификация АК-серий или РКМ. Она позволяет изучать ТТХ через интерактивный интерфейс кастомизации, отражая баллистические характеристики и механику. Однако акцент на боевых сценариях, неточности в моделях оружия, плохая оптимизация и отсутствие методической базы ограничивают ее образовательную ценность. Высокая сложность и коммерческий характер делают игру непригодной для академического обучения в военных вузах.



Рис. 1.1 – Тактический шутер от первого лица «Escape from Tarkov»

Электронные обучающие комплексы, такие как «Оружейник», применяются в военных вузах для изучения ТТХ оружия. Эти системы содержат текстовые описания, двухмерные схемы и базовые тесты, позволяющие изучать конструктивные особенности оружия. Однако их функциональность ограничена отсутствием 3D-визуализации и интерактивных элементов, что снижает наглядность и затрудняет понимание динамики

механизмов. Кроме того, закрытая архитектура не позволяет модифицировать контент, а лицензия доступна только специализированным учреждениям, что исключает использование в гражданских вузах. Устаревший интерфейс также не соответствует ожиданиям современных пользователей.

Мобильное приложение, например Gun Disassembly, ориентирован на массовую аудиторию и предлагает базовые 3D-модели оружия с функциями вращения и разборки, а также краткие описания ТТХ [8]. Такое решение привлекает простотой, но ее образовательная ценность невелика из-за отсутствия методически выстроенного курса. Модели часто упрощены, не отображая внутренние механизмы, а инструменты контроля знаний отсутствуют. Закрытая платформа ограничивает добавление нового контента, что делает приложения скорее справочниками, чем полноценными обучающими инструментами.



Рис. 1.2 – Интерфейс программного комплекса «Gun Disassembly»

Решения на основе виртуальной реальности, разработанные с использованием игровых движков, таких как Unreal Engine, применяются в военных тренировочных центрах. Они обеспечивают высокую степень погружения, позволяя симулировать работу оружия с тактильной обратной связью. Однако их использование ограничено высокой стоимостью оборудования и разработки, что делает их недоступными для массового образования. Такие системы ориентированы на узкие сценарии, например тактические тренировки, и не адаптированы под академические программы. Сложность интеграции и требования к специализированному оборудованию дополнительно снижают их применимость [9].

Таблица 1.3.1 обобщает возможности и ограничения рассмотренных решений, позволяя сравнить их по ключевым параметрам. Анализ проведен на основе документации, отзывов пользователей и научных источников.

Таблица 1.1 – Сравнительный анализ существующих систем

Параметр	«Оружейник»	Gun Disassembly	VR-тренажеры	Разрабатываемая система
Поддержка 3D-моделей	Нет	Базовая	Полная	Полная, высокодетализованная
Анимация механизмов	Нет	Частичная	Полная	Полная, с физикой
Методическая структура	Линейная	Отсутствует	Ограниченная	Модульная, гибкая
Контроль знаний	Базовые тесты	Нет	Нет	Интерактивные задания
Гибкость и адаптируемость	Низкая	Отсутствует	Низкая	Высокая
Кроссплатформенность	Нет	Ограниченная	Нет	Полная
Стоимость внедрения	Средняя	Низкая	Высокая	Доступная

Анализ рассмотренных решений выявляет отсутствие универсального инструмента, способного удовлетворить все потребности образовательного процесса по изучению ТТХ оружия. Каждое решение имеет свои преимущества и ограничения, что делает их выбор зависимым от целей, аудитории и доступных ресурсов [2]. Например, «Оружейник» обеспечивает базовую методическую основу, но не поддерживает интерактивность. VR-тренажеры предлагают глубокое погружение, однако их высокая стоимость и узкая специализация ограничивают применение в вузах. Таким образом, существующие продукты либо не обеспечивают достаточной наглядности и гибкости, либо требуют значительных затрат, что подчеркивает необходимость создания собственной информационной системы. Такая система, объединяющая высокоточную 3D-визуализацию, модульную структуру и кроссплатформенность, станет более доступным и адаптивным решением для эффективного обучения ТТХ оружия.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

2.1 Цели и задачи информационной системы

2.1.1 Функции и задачи ИС

Разработка информационной системы для обучения основам тактико-технических характеристик (ТТХ) стрелкового оружия направлена на создание интерактивного образовательного инструмента, обеспечивающего наглядное изучение конструкции, характеристик и истории оружия. Основной функцией системы является предоставление студентам военных вузов возможности взаимодействовать с 3D-моделями оружия, выполнять разборку и сборку, изучать анимации механизмов и получать текстовую информацию, включая ТТХ, историю и модули. Система использует современные технологии моделирования и визуализации для повышения качества обучения.

Необходимость системы обусловлена ограничениями существующих решений, проанализированных в разделе 1.3. Программный комплекс «Оружейник» не поддерживает интерактивные 3D-модели, Gun Disassembly ориентирован на игровые механики без образовательной базы, VR-тренажеры требуют дорогостоящего оборудования, а игра Escape from Tarkov, несмотря на реалистичные модели, не имеет методической структуры. Разрабатываемая система устраняет эти недостатки, предлагая интерактивный интерфейс, созданный в Unity, с высокодетализированными моделями, разработанными в Blender, ZBrush и Substance Painter, и текстовой поясняющей частью.

Система выполняет следующие функции:

- Отображение 3D-моделей оружия с возможностью разборки и сборки.
- Демонстрация анимаций рабочих механизмов (например, перезарядки, работы затвора).
- Предоставление текстовой информации об истории оружия, его ТТХ (калибр, масса, скорострельность) и модулях (прицелы, глушители).
- Интеграция с образовательными курсами для структурированного обучения.
- Поддержка кроссплатформенного доступа через Unity.

Для реализации этих функций система решает следующие задачи:

1. Разработать 3D-модели оружия в Blender с использованием ZBrush для создания высокодетализированных элементов конструкции.
2. Создать текстуры для моделей в Substance Painter, обеспечивающие реалистичный вид с учетом физически корректного рендеринга (PBR).

3. Экспортировать 3D-модели в Unity, настроив их для интерактивного взаимодействия и оптимизации производительности.
4. Реализовать в Unity интерфейс для разборки и сборки оружия, позволяющий пользователям взаимодействовать с моделью через клики или жесты.
5. Создать анимации рабочих механизмов оружия в Unity, включая перезарядку, разборку и другие процессы, с использованием Animator Controller.
6. Разработать текстовую поясняющую часть в интерфейсе Unity, отображающую историю оружия, ТТХ (например, калибр, дальность) и данные о модулях.
7. Интегрировать систему с базой данных SQLite для хранения ТТХ, истории и модулей оружия, обеспечивая быстрый доступ к данным.
8. Обеспечить кроссплатформенность приложения, поддерживая работу на ПК и планшетах через билды Unity.

Решение этих задач позволит создать интерактивную образовательную среду, где студенты смогут изучать ТТХ оружия через 3D-модели, анимации и текстовую информацию, что повысит наглядность и эффективность обучения. Система станет доступным инструментом для военных вузов, превосходящим существующие решения по функциональности и методической проработке.

На рисунке 2.1 представлена реализация программного комплекса «Gun Disassembly»:



Рис. 2.1 – Программный комплекс «Gun Disassembly»

2.1.2. Технологии интерактивного обучения

Интерактивное обучение играет ключевую роль в разработке информационной системы для изучения тактико-технических характеристик (ТТХ) стрелкового оружия, обеспечивая наглядность и вовлеченность студентов военных вузов. Технологии, используемые в системе, направлены на создание высокодетализированных 3D-моделей оружия, реализацию интерфейса для разборки и сборки, анимацию механизмов и предоставление текстовой информации об истории, ТТХ и модулях оружия. Эти технологии устраняют недостатки существующих решений и поддерживают образовательные цели системы.

Анализ программ, таких как «Оружейник», Gun Disassembly, VR-тренажеры и Escape from Tarkov, проведенный в разделе 1.3, выявил их ограничения. «Оружейник» не использует 3D-визуализацию, Gun Disassembly ограничен игровыми функциями без методической базы, VR-тренажеры дороги и не подходят для массового обучения, а Escape from Tarkov, несмотря на реалистичные модели, не имеет образовательной структуры. Разрабатываемая система применяет современные инструменты и технологии, такие как Blender, ZBrush, Substance Painter и Unity, для создания интерактивной среды обучения.

3D-моделирование и детализация. Создание высокодетализированных моделей оружия осуществляется в Blender, бесплатном инструменте с открытым исходным кодом, поддерживающем полигональное моделирование и настройку анимаций. Для повышения реализма, особенно в деталях механизмов (например, затвора или спускового крючка), используется ZBrush, позволяющий создавать высокополигональные модели с текстурными картами нормалей. Это обеспечивает точное воспроизведение конструкции оружия, необходимое для изучения ТТХ.

Текстурирование. Реалистичный вид моделей достигается с помощью Substance Painter, который создает текстуры с физически корректным рендерингом (PBR). Текстуры включают карты диффузии, нормалей и металлизации, что позволяет воспроизводить материалы, такие как сталь или пластик, с учетом освещения в Unity. Это повышает визуальную достоверность моделей, делая разборку и сборку более наглядными.

Интерактивная визуализация и анимация в Unity. Unity служит основной платформой для интеграции 3D-моделей, реализации интерфейса и анимаций. Модели, экспортированные из Blender в формате FBX, оптимизируются в Unity для кроссплатформенной производительности. Интерфейс разборки и сборки разрабатывается с использованием UI Toolkit или

Canvas, позволяя студентам взаимодействовать с моделью через клики или жесты. Анимации механизмов (например, перезарядки или разборки) создаются с помощью Animator Controller, синхронизируя движения с текстовыми пояснениями, что облегчает понимание ТТХ.

Текстовое сопровождение и база данных. Текстовая поясняющая часть, включающая историю оружия, ТТХ (калибр, масса, скорострельность) и модули (прицелы, глушители), отображается в интерфейсе Unity через динамические UI-элементы. Данные хранятся в локальной базе SQLite, обеспечивающей быстрый доступ и структурированное хранение. SQLite интегрируется с Unity через плагин SQLite4Unity, поддерживая запросы для извлечения информации, например, характеристик АК-74 или истории ПМ.

Геймификация. Для повышения вовлеченности используются элементы геймификации, такие как задания на правильную сборку оружия или тесты по ТТХ, реализованные в Unity. Это отличает систему от игровых решений, таких как Gun Disassembly, за счет методической проработки и интеграции с образовательными курсами [10].

Применение этих технологий позволяет создать интерактивную систему, превосходящую существующие решения по наглядности и функциональности. Blender, ZBrush и Substance Painter обеспечивают высокое качество 3D-моделей, а Unity реализует интерактивный интерфейс, анимации и текстовую часть, поддерживая образовательные цели и кроссплатформенность.

2.1.3. Формулирование целей и задач системы

Традиционные подходы к обучению тактико-техническим характеристикам (ТТХ) стрелкового оружия, основанные на текстовых материалах и статичных изображениях, не обеспечивают достаточной наглядности и вовлеченности. Анализ существующих решений, таких как «Оружейник», Gun Disassembly, VR-тренажеры и Escape from Tarkov, проведенный в разделе 1.3, выявил их недостатки: отсутствие интерактивности, слабая методическая проработка, высокая стоимость или игровая направленность. Разрабатываемая информационная система устраняет эти ограничения, используя 3D-моделирование в Blender и ZBrush, текстурирование в Substance Painter и интерактивный интерфейс в Unity для создания образовательной среды, сочетающей визуализацию, анимации и текстовую информацию.

Стратегическая цель и промежуточные цели

Стратегической целью системы является повышение эффективности изучения ТТХ стрелкового оружия за счет интерактивной 3D-визуализации и структурированного информационного сопровождения. Для ее достижения сформулированы промежуточные цели:

1. Обеспечение наглядной визуализации конструкции оружия через высокодетализированные 3D-модели и анимации.
2. Создание интерактивного интерфейса для практического освоения разборки и сборки оружия.
3. Предоставление структурированной текстовой информации об истории, ТТХ и модулях оружия для углубленного изучения.

Этапы реализации и задачи

Реализация системы предполагает последовательное выполнение задач, сгруппированных по этапам:

Этап 1: Моделирование и визуализация

1. Создать 3D-модели оружия в Blender с детализацией сложных элементов в ZBrush для точного воспроизведения конструкции.
2. Разработать реалистичные текстуры в Substance Painter с применением физически корректного рендеринга (PBR) для интеграции в Unity.

Этап 2: Интеграция и интерактивность

3. Экспортировать 3D-модели в Unity, обеспечив оптимизацию для кроссплатформенной производительности.
4. Реализовать в Unity интерфейс для разборки и сборки оружия, поддерживающий взаимодействие через клики или жесты.
5. Создать анимации механизмов (перезарядка, разборка) в Unity с использованием Animator Controller для наглядной демонстрации процессов.

Этап 3: Информационное обеспечение

6. Разработать текстовую поясняющую часть в интерфейсе Unity, отображающую историю оружия, ТТХ (калибр, масса, скорострельность) и модули (прицелы, глушители).
7. Интегрировать локальную базу данных SQLite для хранения ТТХ, истории и модулей, обеспечивая быстрый доступ к данным.

Этап 4: Доступность и расширение

8. Обеспечить кроссплатформенность приложения, поддерживая его работу на ПК и планшетах через сборки Unity.

2.2 Структура и архитектура информационной системы обучения основам ТТХ стрелкового оружия

Функциональная структура информационной системы для обучения основам тактико-технических характеристик (ТТХ) стрелкового оружия определяет организацию ее компонентов и процессов, обеспечивающих интерактивное изучение конструкции, характеристик и истории оружия. Система использует 3D-модели, созданные в Blender с детализацией в ZBrush, текстуры из Substance Painter, анимации и интерфейс в Unity, а также текстовую информацию, хранимую в SQLite. Для формализации процессов применяется методология IDEF0, которая структурирует функции системы, их входы, выходы, управление и механизмы, обеспечивая четкое представление архитектуры для студентов военных вузов [11].

Обзор архитектуры

Система построена на модульной архитектуре, где каждый компонент выполняет специализированную задачу: от рендеринга 3D-моделей до предоставления текстовых данных. Основой служит Unity, обеспечивающее интеграцию визуальных и интерактивных элементов, а также кроссплатформенность для работы на ПК и планшетах. Локальная база данных SQLite хранит структурированные данные, включая ТТХ, историю и модули оружия. Модульный подход позволяет гибко настраивать систему, поддерживая образовательные функции, такие как разборка/сборка оружия и изучение его характеристик.

Компоненты и их функции

Система включает следующие модули, каждый из которых реализует уникальные аспекты обучения:

1. **Модуль визуального отображения:** Обеспечивает рендеринг 3D-моделей оружия, созданных в Blender с использованием ZBrush для детализации сложных элементов, таких как механизмы затвора. Текстуры, разработанные в Substance Painter, применяют PBR для реалистичного отображения материалов под различным освещением. Модуль оптимизирует модели в Unity, поддерживая интерактивные действия, такие как вращение и масштабирование.
2. **Модуль анимационного воспроизведения:** Управляет анимациями рабочих процессов оружия, включая перезарядку, разборку или срабатывание спускового механизма. Анимации создаются в Unity через Animator Controller, обеспечивая плавное воспроизведение и синхронизацию с действиями пользователя.

3. **Модуль пользовательского взаимодействия:** Реализует интерфейс для разборки и сборки оружия, используя UI Toolkit в Unity. Пользователи могут выделять и перемещать детали (например, магазин или прицел) с помощью кликов или сенсорных жестов, получая визуальные подсказки для обучения.
4. **Модуль текстового контента:** Предоставляет информацию об истории оружия, ТТХ (например, калибр, масса, дальность) и модулях (глушители, оптика). Данные отображаются через динамические UI-элементы, такие как панели или всплывающие окна, интегрированные в интерфейс Unity.
5. **Модуль данных:** Основан на SQLite, хранящей ТТХ, исторические сведения, модули и пути к 3D-моделям. Компонент поддерживает SQL-запросы для быстрого извлечения информации, обеспечивая надежность и структурированность.
6. **Модуль учебного процесса:** Координирует доступ к образовательным материалам, включая уроки и задания, связанные с 3D-моделями и текстовой информацией. Модуль позволяет структурировать контент для последовательного изучения.

2.3 Методы и технологии моделирования и оптимизации 3D-объектов для визуализации механизмов оружия

2.3.1. Моделирование 3D-объектов для визуализации механизмов оружия

Создание трехмерных моделей оружия составляет ядро информационной системы, разработанной для обучения основам тактико-технических характеристик стрелкового оружия, обеспечивая наглядную демонстрацию конструкции, подвижных механизмов и процессов взаимодействия деталей. Эта задача имеет решающее значение для подготовки студентов военных вузов, где визуализация и интерактивность играют ключевую роль в усвоении материала. В качестве объекта моделирования выбран пистолет-пулемет Kriss Vector Gen 2, выделяющийся своей инновационной системой снижения отдачи Super V, которая использует наклонные направляющие для перенаправления импульса вниз, минимизируя подброс ствола и повышая устойчивость при стрельбе. Компактные габариты, модульная конструкция и сложные внутренние механизмы, такие как затвор, пружины и направляющие, делают это оружие идеальным примером для образовательной визуализации, позволяя студентам изучать как внешние элементы, так и скрытые компоненты, включая модули,

такие как глушитель, коллиматорный прицел или тактический фонарь. Процесс моделирования охватывает полный цикл создания 3D-модели, от сбора референсов до тестирования в Unity, с использованием профессиональных инструментов Blender, ZBrush и Substance Painter. Итоговая модель интегрируется в образовательную систему, поддерживая интерактивные функции разборки и сборки, анимации механизмов и отображение текстовой информации, связанной с базой данных SQLite, что обеспечивает методическую ценность для изучения ТТХ, истории и модулей оружия.



Рис. 2.2 – Пистолет-пулемет «Kriss Vector Gen 2»

Моделирование Kriss Vector Gen 2 представляет собой сложную задачу, требующую глубокого понимания его конструкции, чтобы обеспечить точное воспроизведение как внешних, так и внутренних элементов. Внешние компоненты, такие как эргономичная рукоятка с рифленой поверхностью, складной приклад с шарнирным механизмом или планка Picatinny для установки прицельных приспособлений, должны быть детализированы с учетом реальных пропорций и текстур, чтобы создать убедительный визуальный образ, соответствующий реальному оружию. Внутренние механизмы, включая затвор, систему Super V и пружины, требуют особого внимания, поскольку они участвуют в анимациях и демонстрируются при разборке, позволяя студентам изучать их взаимодействие. Система Super V, состоящая из наклонных направляющих и подвижного затвора, является уникальным инженерным решением, которое необходимо смоделировать с учетом его динамики: направляющие отклоняют затвор вниз, снижая отдачу, что должно быть отражено в анимациях. Модули, такие как глушитель или коллиматор, добавляют вариативность, позволяя демонстрировать различные

конфигурации оружия. Такой подход обеспечивает не только эстетическую достоверность, но и функциональность модели в образовательной среде, где студенты могут взаимодействовать с моделью через интерфейс Unity, изучая устройство оружия и получая текстовые пояснения из базы данных. Процесс моделирования должен учитывать требования к производительности в реальном времени, чтобы модель работала плавно на средних ПК (например, Intel i5, GTX 1650, 60 FPS), сохраняя высокое качество визуализации, необходимое для наглядного обучения.



Рис. 2.3 – Представление внутренней работы системы «Super V»

Перед началом моделирования проводится тщательная подготовка, которая закладывает фундамент для всех последующих этапов. Сбор референсов для Kriss Vector Gen 2 начинается с анализа технических чертежей, доступных в открытых источниках, таких как специализированные форумы или документация производителей. Эти чертежи предоставляют точные габариты: длина в сложенном виде составляет 610 мм, высота — 175 мм, ширина — около 50 мм, масса — 3.2 кг. Эти параметры служат ориентиром для соблюдения пропорций, поскольку даже незначительное отклонение, например на 2–3 мм, может исказить восприятие модели, особенно при масштабировании в Unity. Фотографии высокого разрешения, охватывающие различные ракурсы, включая крупные планы корпуса, ствола, магазина, прицельных приспособлений, рукоятки и приклада, позволяют уловить мелкие детали, такие как текстура пластика, расположение болтов, маркировки или следы износа. Особое внимание уделяется модулям: коллиматорный прицел с линзой, глушитель с перфорацией или тактический фонарь с креплениями. Видео разборки и стрельбы, найденные на видеохостингах или оружейных каналах, дают возможность изучить динамику внутренних механизмов, особенно системы Super V, где затвор движется по наклонным направляющим под углом около 45 градусов, снижая отдачу. Документация, включающая ТТХ — калибр .45 ACP, скорострельность 1200 выстрелов в минуту, эффективная дальность 50–70 м, емкость магазина 25 патронов — и описание модулей, формирует базу для интеграции с SQLite. Референсы организуются в

программе PureRef, где изображения, чертежи и видео размещаются на виртуальном холсте, разделенном на категории: внешний вид, внутренние механизмы, модули, ТТХ. Для обработки фотографий используется Photoshop, где повышается контрастность или выделяются ключевые элементы, такие как маркировки («Kriss Vector», «.45 ACP»). Этот подготовительный этап требует значительных усилий, порядка 25–30 часов, чтобы обеспечить максимальную точность и полноту данных, которые будут использованы на всех этапах моделирования.

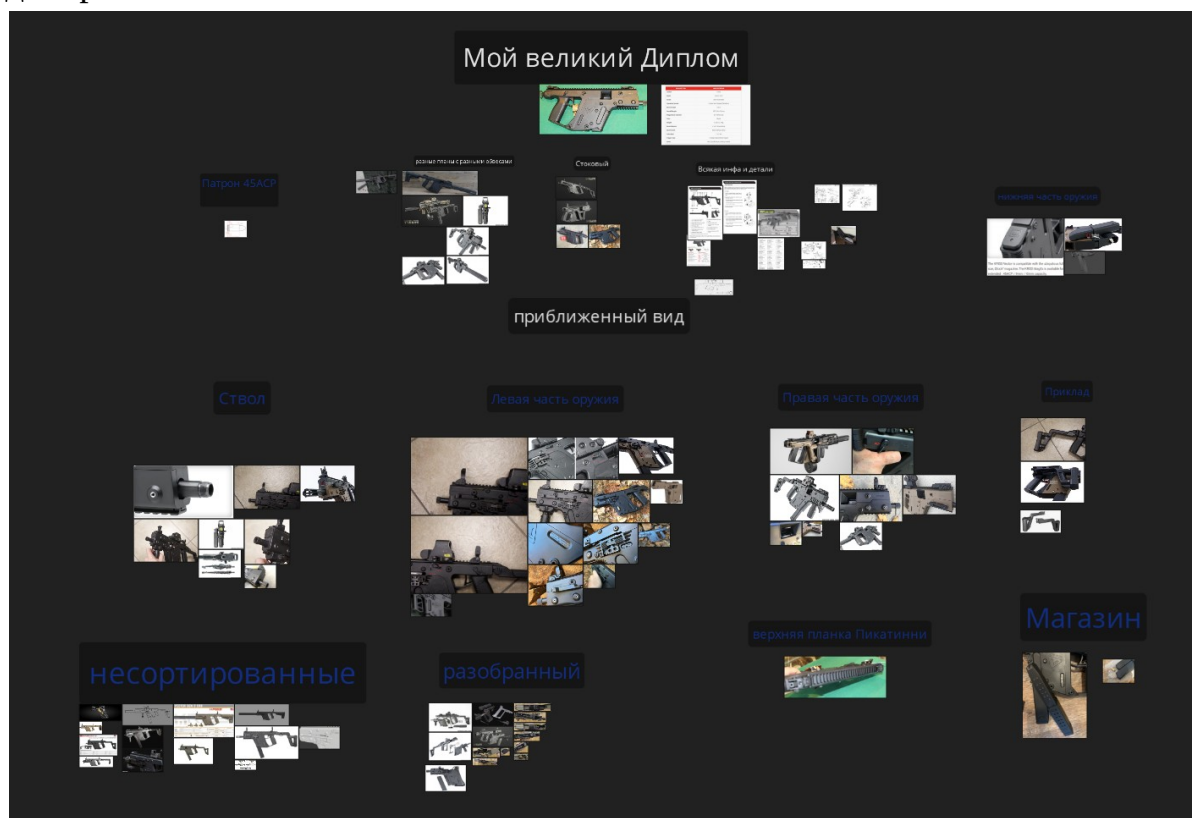


Рис. 2.4 – Холст референсов в программе «PureRef»

Обзор пайплайна

Процесс создания 3D-модели Kriss Vector Gen 2 следует структурированному пайплайну, адаптированному для достижения высокого качества визуализации и оптимизации производительности в реальном времени:

Подготовка референсов: Сбор и анализ чертежей, фотографий и видео для точного воспроизведения конструкции.

Черновое моделирование (Draft): Создание базовой формы в Blender для определения пропорций и компоновки.

Низкополигональная модель (Lowpoly): Разработка оптимизированной модели с чистой топологией для Unity.

Высокополигональная модель (Highpoly): Детализация в ZBrush с использованием Subdivision Surface для внешних и внутренних компонентов.

Развертка UV: Создание UV-карты в Blender для текстурирования.

Запекание (Bake): Перенос деталей highpoly на lowpoly в Blender.

Текстурирование: Создание PBR-текстур в Substance Painter для реалистичного вида.

Тестирование и оптимизация: Проверка модели в Unity для разборки/сборки и анимаций.

Каждый этап ориентирован на обеспечение детализации, особенно внутренних механизмов (затвор, система Super V, пружины), и совместимость с образовательной системой, включая интерфейс и базу данных SQLite.

С подготовленной базой референсов процесс переходит к черновому моделированию, которое выполняется в Blender версии 4.2 или выше, чтобы создать базовую форму Kriss Vector Gen 2, служащую каркасом для дальнейшей работы и определяющую пропорции, компоновку и общий силуэт оружия. Работа начинается в режиме Object Mode, где добавляются примитивы — кубы, цилиндры, прямоугольники — для формирования основных компонентов, с учетом точных габаритов из референсов. Корпус моделируется путем создания куба, который растягивается до размеров 610 мм в длину, 175 мм в высоту и 50 мм в ширину, используя инструмент Scale с привязкой к референсам, загруженным через Background Images в Viewport. Для сглаживания углов корпуса применяется Bevel Modifier, настроенный на ширину 2 мм, 3 сегмента и угол 30 градусов, чтобы воспроизвести эргономичную форму с мягкими переходами, характерную для Kriss Vector. Проверка пропорций проводится путем наложения модели на чертежи в Orthographic View, где отклонения корректируются с точностью до 1 мм, например, длина корпуса уточняется, если она превышает 612 мм. Ствол создается как цилиндр диаметром 20 мм с 32 гранями для начальной точности, выравнивается по оси корпуса с использованием Snap to Grid и инструмента Align, чтобы обеспечить совпадение с чертежами. Внутренняя часть ствола моделируется с помощью Extrude на глубину 5 мм, чтобы обозначить канал, хотя детализация нарезов откладывается до высокополигональной стадии. Магазин формируется из прямоугольника размером 100 мм в высоту, 40 мм в ширину и 20 мм в толщину, с учетом его изогнутой формы, рассчитанной на патроны .45 ACP, где нижняя часть расширяется на 5 мм для реализма, используя инструмент Shear с углом 10 градусов. Проверка магазина проводится с помощью референсных фотографий, где уточняется угол изгиба

(около 15 градусов), чтобы соответствовать эргономике. Складной приклад, характерная особенность Kriss Vector, моделируется с учетом шарнирного механизма: прямоугольная основа размером 150 мм в длину, 30 мм в высоту и 20 мм в ширину создается из куба, к которому добавляются цилиндрические петли диаметром 10 мм с 16 гранями, расположенные на расстоянии 120 мм от конца приклада. Шарниры моделируются с помощью Boolean Modifier, вырезая отверстия диаметром 8 мм для имитации крепления, а проверка проводится в Pose Mode, где имитируется складывание под углом 90 градусов, чтобы убедиться в отсутствии пересечений. Рукоятка, наклоненная под углом 30 градусов для эргономики, формируется из куба размером 100x40x30 мм, к которому применяется Extrude на 5 мм с шагом 2 мм, чтобы создать рифленую поверхность, имитирующую текстуру для хвата. Угол наклона корректируется с помощью Rotate Tool, а проверка проводится с наложением референсной фотографии, чтобы угол не превышал 32 градуса. Планка Picatinny, расположенная на верхней части корпуса, моделируется как серия прямоугольных пазов шириной 5 мм, глубиной 3 мм и длиной 10 мм, созданных с помощью Array Modifier с шагом 15 мм и количеством 10 повторов. Проверка пазов проводится в Top View, где их расположение сравнивается с чертежами, чтобы расстояние между пазами не отклонялось более чем на 0.5 мм. Внутренние механизмы на этой стадии воспроизводятся схематично, чтобы обозначить их положение и проверить компоновку внутри корпуса. Затвор моделируется как прямоугольник размером 80x30x20 мм, расположенный внутри корпуса на глубине 50 мм от ствола, с вырезами размером 10x5 мм для рычага, созданными с помощью Boolean Modifier. Система Super V представлена двумя наклонными цилиндрами диаметром 15 мм с 12 гранями, расположенными под углом 45 градусов, длиной 100 мм, соединенными с пружиной, моделируемой как спираль диаметром 12 мм с 5 витками и шагом 10 мм, созданная с помощью Screw Modifier. Проверка механизмов проводится с использованием видео разборки, где уточняется расстояние между направляющими (около 30 мм) и угол наклона, чтобы затвор двигался без пересечений. Для ускорения работы применяется Mirror Modifier по оси X, обеспечивающий симметрию для корпуса, рукоятки, приклада и направляющих Super V, что сокращает время моделирования на 30%. В Sculpt Mode с кистью Standard, силой 0.2 и размером 20, мягко корректируются формы, например, изгиб рукоятки, скругление краев магазина или сглаживание переходов на корпусе, чтобы приблизить модель к реальному виду. Если возникают артефакты, такие как неровные грани на корпусе, они устраняются с

помощью Smooth Tool в Edit Mode с интенсивностью 0.5. Модули, такие как глушитель и коллиматорный прицел, моделируются схематично: глушитель как цилиндр диаметром 40 мм и длиной 150 мм с перфорацией, обозначенной вырезами 2x2 мм через Boolean Modifier, а прицел как прямоугольник 50x30x20 мм с цилиндрической линзой диаметром 30 мм. Проверка модулей проводится с референсами, чтобы их крепления совпадали с планкой Picatinny. Итоговая черновая модель содержит около 5–10 тысяч полигонов, что делает ее достаточно легкой для дальнейшего редактирования, но уже отражает общую компоновку и пропорции. Проверка проводится в Perspective View с наложением референсных чертежей, чтобы убедиться в соответствии силуэта, а также в Render Mode с временным материалом Lambert для оценки формы под освещением. Если выявляются ошибки, например, слишком широкий магазин (более 42 мм), геометрия корректируется с помощью Move Tool. Этот этап требует около 40–50 часов, учитывая необходимость многократной корректировки пропорций, проверки механизмов с видео разборки и моделирования модулей, чтобы обеспечить точность и функциональность.

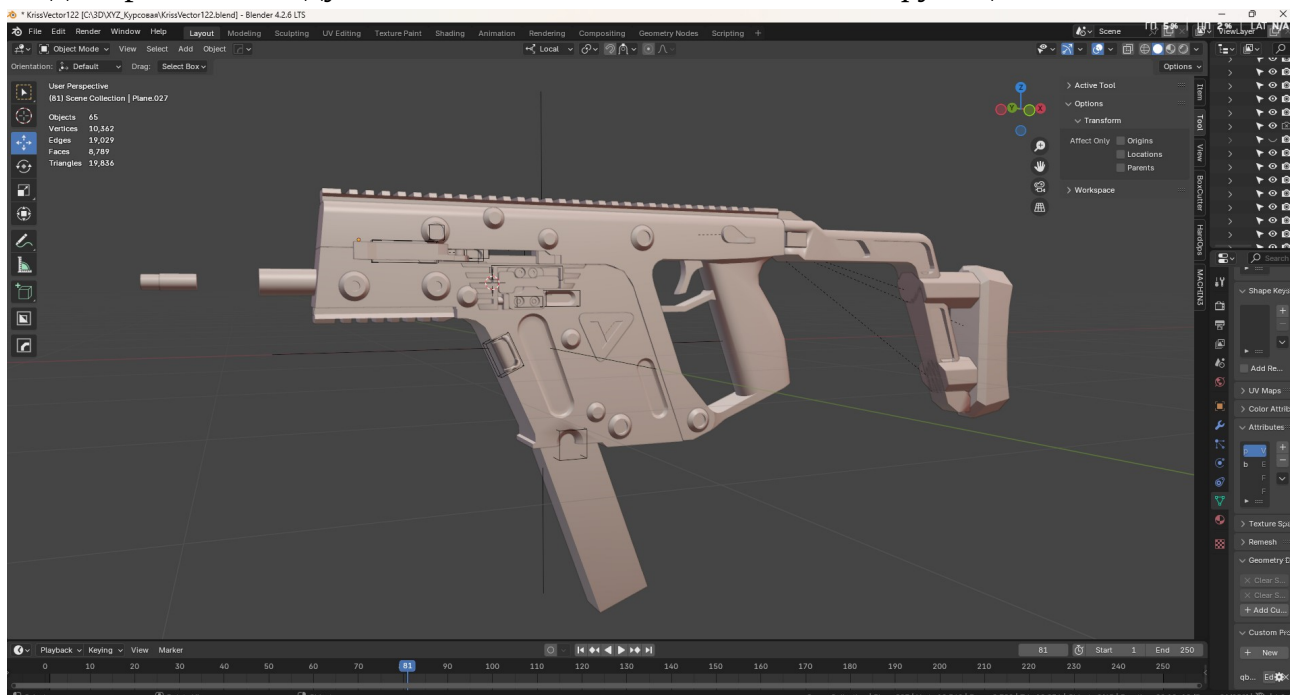


Рис. 2.5 – Созданная черновая модель «Kriss Vector Gen 2» в программе Blender 3D

После завершения черновой модели процесс переходит к разработке низкополигональной версии, которая оптимизируется для использования в Unity, где требуется баланс между визуальной детализацией и производительностью в реальном времени, чтобы обеспечить стабильную работу на средних ПК (Intel i5, GTX 1650, 60 FPS). Работа продолжается в Blender, в режиме Edit Mode, где используются инструменты Vertex, Edge и

Face Select для доработки геометрии, основываясь на черновой модели. Целью является сокращение количества полигонов до 15–20 тысяч для всей модели, включая корпус, ствол, магазин, затвор, систему Super V, приклад, рукоятку, планку Picatinny и модули, чтобы минимизировать нагрузку на рендеринг, сохраняя при этом узнаваемый силуэт и функциональность для анимаций. Корпус подвергается оптимизации путем упрощения мелких вырезов, таких как отверстия для кнопок (диаметром 3 мм) или переключателя режима огня, которые удаляются с помощью Dissolve Edges, а их визуальные детали переносятся на текстурные карты, чтобы сохранить внешний вид без увеличения полигональности. Количество граней корпуса сокращается с 2000 до 800–1000, используя Merge by Distance с порогом 0.5 мм для объединения близко расположенных вершин. Проверка корпуса проводится в Wireframe Mode, чтобы убедиться в отсутствии неравномерных петель, а также в Unity через импорт FBX в тестовую сцену, где проверяется рендеринг с временным материалом Standard Shader. Ствол, изначально цилиндр с 32 гранями, оптимизируется до 12–16 граней с помощью Reduce Faces в Edit Mode, сохраняя круглую форму при рендеринге. Внутренняя часть ствола упрощается, удаляя вырезы для нарезов, которые будут воспроизведены через Normal Map. Проверка ствола проводится в Render Mode с Directional Light, чтобы убедиться, что силуэт остается круглым без видимых граней. Магазин оптимизируется путем сглаживания краев с помощью Bevel Modifier, настроенного на ширину 0.5 мм, 2 сегмента и режим Weighted Normal, чтобы избежать артефактов освещения. Лишние грани на плоских участках магазина объединяются с использованием Collapse Edges, сокращая полигоны с 500 до 200. Проверка магазина проводится с наложением референсной фотографии в Viewport, чтобы изгиб (15 градусов) и ширина (40 мм) соответствовали оригиналу. Складной приклад моделируется с минимальным количеством полигонов, сохраняя шарниры как цилиндрические формы диаметром 8 мм с 8 гранями, созданные через Extrude и Loop Cut для добавления петель. Шарниры проверяются в Pose Mode, где имитируется складывание под углом 90 градусов, чтобы убедиться в отсутствии деформаций, а количество граней сокращается до 100 с помощью Decimate Modifier с Ratio 0.8. Планка Picatinny упрощается до ряда прямоугольных пазов, сокращая количество граней с 200 до 50, используя Dissolve Faces для удаления внутренних граней пазов. Проверка пазов проводится в Top View, где расстояние между ними (15 мм) сравнивается с чертежами, а их функциональность тестируется в Unity путем добавления модуля (например, прицела) через Attach Point. Внутренние механизмы,

включая затвор и систему Super V, требуют особого подхода, поскольку они участвуют в анимациях разборки и перезарядки, требуя чистой топологии для деформаций. Затвор, представленный прямоугольником размером 80x30x20 мм с вырезами для рычага, оптимизируется до 300 полигонов, используя Loop Cut для создания равномерных петель и Dissolve Edges для удаления лишних граней. Топология затвора создается на основе четырехугольников, избегая треугольников, чтобы поддерживать плавное движение на 50 мм назад, что проверяется в Pose Mode с временной анимацией Transform. Направляющие системы Super V моделируются как цилиндры диаметром 15 мм с 8 гранями, наклоненными под углом 45 градусов, с количеством полигонов 50 на цилиндр, созданных через Extrude и Rotate. Пружина моделируется как спираль диаметром 12 мм с 10 сегментами, сокращенная до 80 полигонов с помощью Decimate Modifier с Ratio 0.7, чтобы минимизировать нагрузку, сохраняя форму для анимации сжатия на 20 мм. Топология пружины проверяется в Animation Mode, где имитируется сжатие, чтобы убедиться в отсутствии растяжений. Add-on LoopTools с настройкой Space помогает создавать равномерные петли для затвора и направляющих, обеспечивая чистую геометрию для анимаций. Bevel Modifier с радиусом 0.3 мм и 2 сегментами добавляет сглаживание краев на всех компонентах, улучшая визуальное качество без значительного роста полигонов (добавляет около 5% граней). Subdivision Surface на уровне 1 применяется опционально для проверки формы, но отключается перед экспортом, чтобы сохранить низкую полигональность. Mirror Modifier применяется для финализации симметричных деталей, таких как боковые панели корпуса или направляющие Super V, после чего фиксируется через Apply, чтобы подготовить модель к экспорту. Модули оптимизируются аналогично: глушитель сокращается до 200 полигонов, сохраняя перфорацию через Normal Map, а прицел — до 150 полигонов, с линзой как плоский диск с 12 гранями. Проверка модулей проводится в Unity, где они присоединяются к планке Picatinny через скрипт C# с Transform Position. Если возникают артефакты топологии, такие как неровные петли на затворе, они устраняются с помощью Relax Tool в LoopTools с интенсивностью 0.5. Общая проверка модели проводится в Unity через импорт FBX в тестовую сцену с Directional Light и Standard Shader, где измеряется FPS (цель — выше 60) и Draw Calls (менее 50). Этот этап требует около 50–60 часов, включая оптимизацию геометрии, тестирование топологии, проверку анимаций и экспорт в Unity, чтобы убедиться в производительности и функциональности.

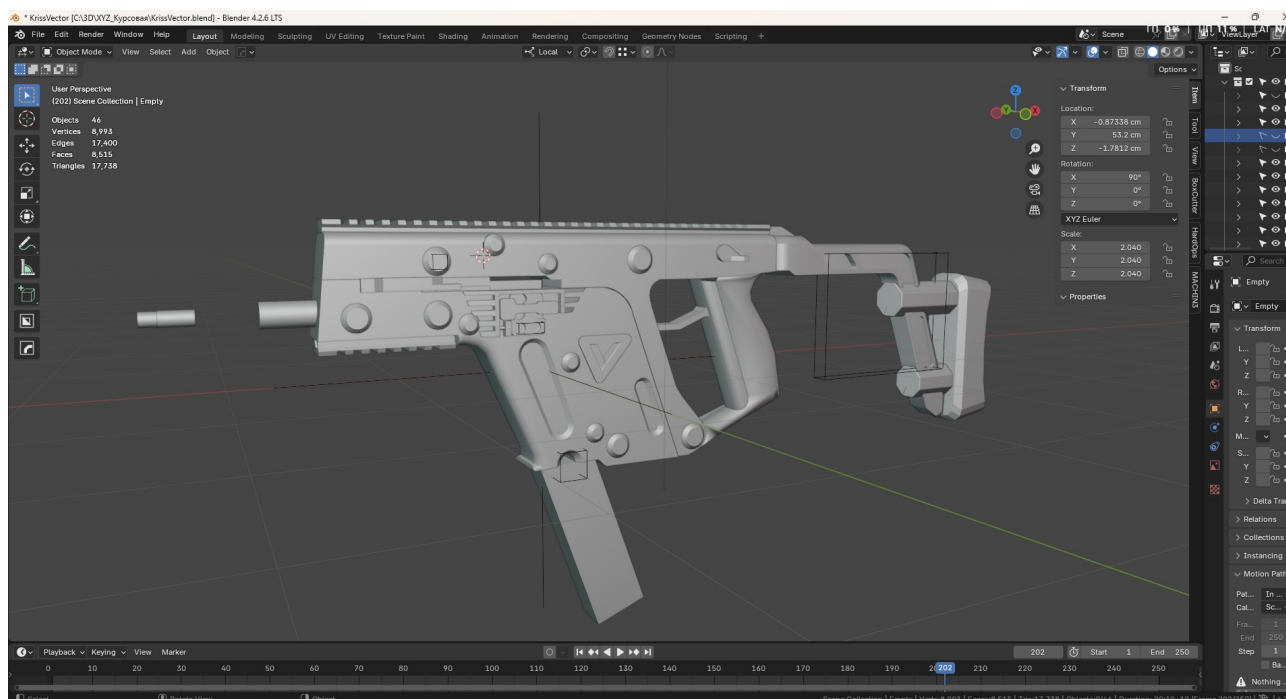


Рис. 2.6 – Низкополигональная модель «Kriss Vector Gen 2»

С завершением низкополигональной модели процесс переходит к созданию высокополигональной версии, для чего модель экспортируется в формате OBJ в ZBrush версии 2022 или выше, чтобы добавить мелкие детали, которые будут перенесены на низкополигональную модель через текстурные карты, обеспечивая реалистичный вид без увеличения полигональности в Unity. Эта стадия направлена на максимальную детализацию внешних и внутренних компонентов, включая корпус, ствол, магазин, затвор, систему Super V, пружину, приклад, рукоятку, планку Picatinny и модули, с акцентом на текстуры материалов, швы, царапины и функциональные элементы. В ZBrush модель разбивается на SubTools для удобства работы: корпус, ствол, магазин, затвор, направляющие Super V, пружина, прицел, глушитель. Каждый SubTool подвергается Subdivision Surface через Geometry → Divide, увеличивая количество полигонов до 1–2 миллионов для корпуса, 500 тысяч для ствола, 300 тысяч для затвора, 200 тысяч для пружины и до 5–10 миллионов для всей модели, включая модули. Этот процесс, выполняемый на уровнях 4–6, позволяет создавать высокую степень детализации, сохраняя базовую форму, созданную в Blender. Для корпуса используется кисть Standard с силой 0.3, размером 10 и альфа-текстурой Plastic Grain, чтобы добавить текстуру матового пластика с микротрещинами глубиной 0.05 мм и шероховатостью, имитирующей реальный материал, подверженный эксплуатации. Кисть DamStandard с силой 0.2, размером 5 и альфа-текстурой Line формирует швы шириной 0.2 мм и линии панелей глубиной 0.1 мм, создавая эффект сборной конструкции, характерный для Kriss Vector. Болты диаметром 5 мм,

переключатели размером 10x5 мм и кнопки, такие как спусковой крючок, добавляются с помощью IMM-кистей из библиотеки ZBrush Bolts, которые вставляют готовые элементы с детализацией резьбы и шляпок. Маркировки, такие как «Kriss Vector», «.45 ACP» или серийный номер, создаются через альфа-текстуры разрешением 1024x1024 с текстом, импортированным из Photoshop, и наносятся кистью Standard с силой 0.1, чтобы создать гравировку глубиной 0.05 мм. Проверка корпуса проводится через BPR Render с настройкой Shadows и АО, чтобы оценить текстуру под освещением, а артефакты, такие как неровные швы, устраняются кистью Smooth с силой 0.3. Ствол детализируется с акцентом на внутренние нарезки, где кисть Move с силой 0.2 и размером 8 создает спиральные канавки глубиной 0.5 мм, шириной 1 мм и шагом 2 мм, имитируя реальную винтовую нарезку. Внешняя поверхность ствола получает царапины длиной 2–5 мм и следы износа через кисть Slash с силой 0.15 и альфа-текстурой Metal Scratches, а также следы нагрева через кисть Standard с градиентной альфа-текстурой Heat. Проверка ствола проводится в ZBrush через Polypaint, где наносятся временные цвета для оценки рельефа. Магазин скульптится с добавлением ребер жесткости высотой 1 мм, шириной 2 мм и маркировок патронов, используя альфа-текстуры с текстом «.45 ACP» и кисть Standard с силой 0.2. Переходы сглаживаются кистью Smooth с силой 0.5, чтобы избежать резких краев, а проверка проводится через BPR Render, чтобы ребра выглядели естественно. Внутренние механизмы, которые видны при разборке и анимациях, требуют особой проработки, чтобы подчеркнуть их функциональность и реализм. Затвор детализируется с добавлением выемок глубиной 0.3 мм, рычагов размером 10x5 мм и текстуры шлифованного металла, используя кисть Polish с силой 0.4 и размером 15 для создания блеска. Выемки создаются кистью DamStandard с альфа-текстурой Groove, а проверка проводится через ZBrush Masking, чтобы изолировать области для скульптинга. Система Super V, состоящая из двух наклонных направляющих, получает пазы шириной 2 мм, глубиной 0.2 мм и следы износа, созданные кистью Standard с силой 0.2 и альфа-текстурой Wear. Направляющие детализируются с добавлением болтов диаметром 3 мм через IMM-кисти, а их наклон (45 градусов) проверяется через Rotate Tool в ZBrush, чтобы соответствовать видео разборки. Пружина скульптится с витками диаметром 12 мм, шагом 2 мм и микротрещинами глубиной 0.05 мм, созданными кистью Standard с альфа-текстурой Crack. Текстура ржавчины добавляется на стыки витков через кисть Spray с альфа-текстурой Rust, силой 0.1 и размером 5. Проверка пружины проводится через BPR Render, чтобы

витки выглядели равномерными, а артефакты сглаживаются кистью Smooth с силой 0.2. Модули детализируются аналогично: глушитель получает перфорацию диаметром 2 мм через кисть Standard с альфа-текстурой Holes, а также следы копоты через кисть Spray с альфа-текстурой Soot. Коллиматорный прицел детализируется с добавлением линзы толщиной 2 мм, созданной через кисть Inflate с силой 0.3, и металлической рамки с царапинами через кисть Slash. Dynamesh с разрешением 512 используется для объединения геометрии, если детали сливаются, например, при добавлении мелких компонентов затвора или болтов на направляющих. ZRemesher с настройкой Adaptive Size 50 и Curve Strength 0.2 применяется опционально для оптимизации топологии, если полигоны распределяются неравномерно, например, на пружине. Проверка всей модели проводится через BPR Render с настройкой Shadows, АО и Material Metal, чтобы оценить детали под разным освещением и выявить артефакты, такие как растяжения или пересечения, которые устраняются вручную с помощью кисти Smooth с силой 0.3 или Move с силой 0.1 для корректировки формы. Если возникают проблемы с Subdivision Surface, такие как неровные грани на корпусе, модель возвращается на уровень 1, и топология корректируется через кисть Move Topological. Итоговая высокополигональная модель экспортируется в OBJ с настройкой Preserve Vertex Order, требуя около 80–100 часов работы, учитывая сложность внутренних механизмов, таких как система Super V, необходимость многократной корректировки и детализацию модулей для фотореалистичного качества.

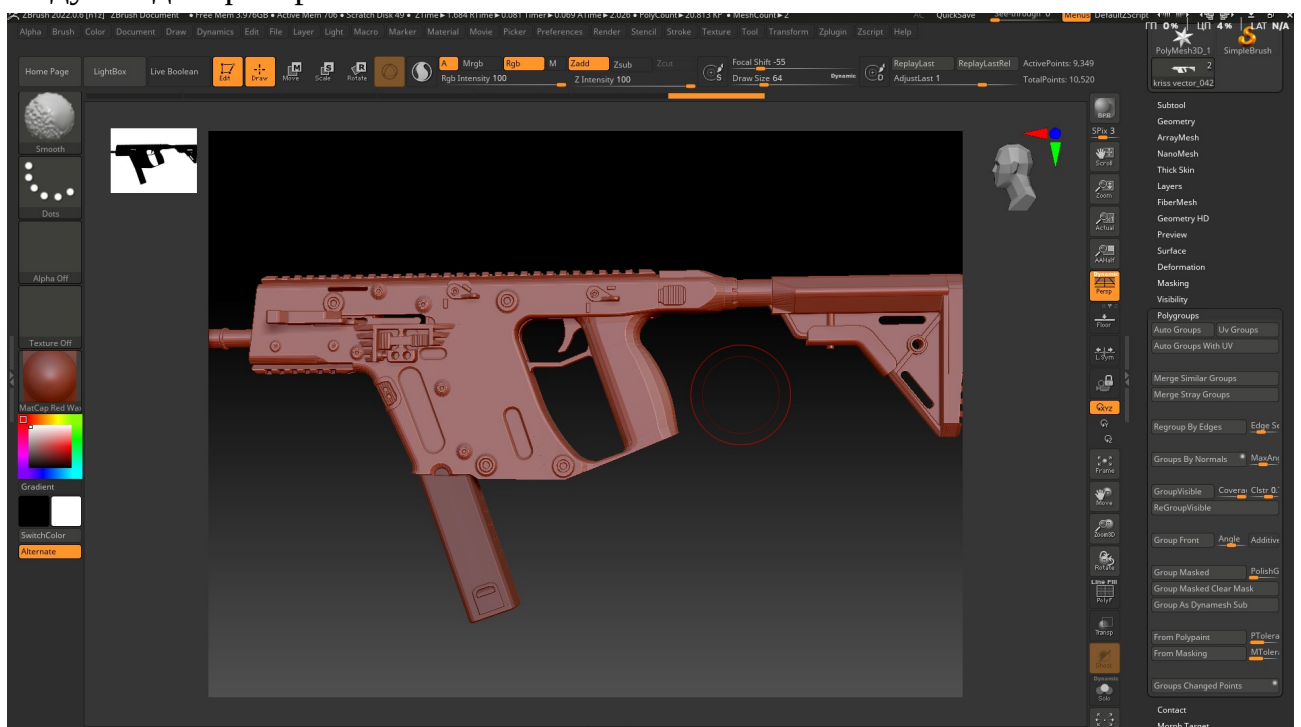


Рис. 2.7 – Доработанная в Zbrush высокополигональная модель «Kriss Vector Gen 2»

После завершения высокополигональной модели процесс возвращается в Blender для создания UV-развертки, необходимой для текстурирования и запекания текстурных карт. В UV Editing Workspace низкополигональная модель разбивается на логические части — корпус, ствол, магазин, затвор, прицел, приклад, система Super V, глушитель, коллиматор — чтобы каждая имела собственный UV-остров. Швы задаются с помощью Mark Seam, размещая их в скрытых местах, таких как внутренняя сторона магазина или стыки приклада, чтобы минимизировать видимость текстурных швов. Инструмент Unwrap с настройкой Average Island Scale создает развертку, проверяемую с помощью Checker Texture 1024x1024. Texel Density устанавливается на 512 пикселей на метр, с повышением до 1024 для мелких деталей. Add-on UVPackmaster оптимизирует компоновку, заполняя 85% пространства с отступами 4 пикселя. Создаются 3 UDIM-тайла 2048x2048: для корпуса, механизмов и модулей. Проверка проводится в Material Preview, и этап занимает 30–35 часов.

Следующим этапом становится запекание текстурных карт, выполняемое в Blender версии 4.2 с использованием рендер-движка Cycles, чтобы перенести детали высокополигональной модели на низкополигональную, обеспечивая реалистичный рельеф и визуальные эффекты без увеличения полигональности, что критически важно для производительности в Unity. Этот процесс требует высокой точности, чтобы избежать артефактов, таких как искажения нормалей или черные пятна, которые могут испортить качество текстур. Работа начинается с подготовки сцены, где низкополигональная и высокополигональная модели импортируются в один файл Blender в формате OBJ, с проверкой их совпадения по масштабу и позиции с точностью до 0.001 м через Transform Properties. Для корректного проецирования деталей создается Baking Cage — дубликат низкополигональной модели, слегка увеличенный по размерам, чтобы охватывать высокополигональную модель и предотвращать ошибки при запекании сложных форм, таких как затвор или направляющие Super V. Baking Cage создается через Modifier → Displace с настройкой Strength от 0.01 м для мелких деталей (болты, маркировки) до 0.05 м для крупных компонентов (корпус, ствол), а затем корректируется вручную в Edit Mode с помощью Proportional Editing, чтобы устранить пересечения, например, в области шарниров приклада. Проверка Baking Cage проводится в Wireframe Mode, где визуализируется расстояние между низкополигональной моделью и

Cage, чтобы оно не превышало 0.1 м, иначе возможны артефакты, такие как разрывы нормалей. В Render Properties выбирается Cycles Engine с настройкой GPU Compute для ускорения рендеринга на видеокарте (например, GTX 1650), а также устанавливаются параметры: Max Bounces 8 для точного расчета теней, Noise Threshold 0.01 для снижения шума и Viewport Samples 32 для предварительного просмотра. В Baking Settings задаются ключевые параметры: Cage Extrusion 0.01 м для мелких компонентов и 0.05 м для крупных, Max Ray Distance 0.1 м для ограничения трассировки лучей, чтобы избежать захвата лишней геометрии, и Margin 4 пикселя для предотвращения швов на UV-карте.

Запекание проводится отдельно для каждой части модели — корпуса, ствола, магазина, затвора, системы Super V, пружины, приклада, рукоятки, планки Picatinny, глушителя и коллиматорного прицела — чтобы минимизировать нагрузку на память и упростить устранение ошибок. Первая карта, Normal Map, создается в формате OpenGL с разрешением 2048x2048 пикселей и глубиной цвета 16 бит, чтобы обеспечить высокую точность рельефа, особенно для сложных деталей, таких как нарезы ствола или пазы направляющих Super V. Для этого в Material Nodes низкополигональной модели создается новый материал с нодой Image Texture, подключенной к пустой текстуре, куда будет записана Normal Map. Высокополигональная модель привязывается к низкополигональной через Baking Settings → Selected to Active, с активацией Cage и выбором созданного Baking Cage. Параметры запекания Normal Map включают Samples 256 для повышения качества и Anti-Aliasing 2x для сглаживания краев. Процесс запекания для корпуса занимает около 5–7 минут на GTX 1650, а для мелких деталей, таких как затвор, — около 2 минут. Проверка карты проводится в Material Preview с подключением Normal Map через Normal Map Node к Principled BSDF, где визуализируется рельеф под Directional Light. Если выявляются артефакты, такие как черные пятна на швах корпуса или искажения нормалей на затворе, Baking Cage корректируется, увеличивая Extrusion до 0.02 м, или UV-швы перераспределяются в UV Editor, чтобы устранить перекрытия. Например, при запекании затвора черные пятна на выемках устранялись путем увеличения Cage Extrusion до 0.015 м и повторного запекания.

Следующая карта, Ambient Occlusion (AO), создается с разрешением 2048x2048 и Samples 128, чтобы получить мягкие тени в углублениях, таких как пазы планки Picatinny или стыки направляющих Super V. AO запекается с настройкой Distance 0.1 м, чтобы ограничить область теней, и Normalized включено для корректного экспорта в Substance Painter. Проверка АО

проводится в Viewport Shading с наложением карты на Base Color, чтобы убедиться, что тени выглядят естественно и не содержат артефактов, таких как белые пятна, которые могут появляться из-за некорректного Baking Cage. Для пружины, где витки создают сложные тени, Samples увеличиваются до 256, чтобы избежать зернистости, что увеличивает время запекания до 10 минут. Если АО содержит шум, он устраняется в Photoshop через Filter → Blur → Gaussian Blur с радиусом 1 пиксель, с последующей корректировкой контрастности через Levels.

Карта Curvature создается с разрешением 2048x2048 и настройкой Distance 0.02 м, чтобы выделить выпуклые и вогнутые области для масок в Substance Painter, например, для создания потертостей на краях рукоятки или коррозии на направляющих Super V. Curvature запекается с Samples 64, так как высокая точность здесь менее критична, и проверяется в Substance Painter через Mask Editor, где карта должна четко разделять края и углубления. Артефакты, такие как размытые края на корпусе, устраняются увеличением Distance до 0.03 м и повторным запеканием. Карта Position создается с разрешением 1024x1024 для градиентных эффектов, например, для симуляции износа на стволе, с настройкой Normalized включено. Проверка проводится в Substance Painter через Gradient Generator, где карта должна корректно отображать пространственное положение деталей. Для модулей, таких как глушитель, создается дополнительная ID Map с разрешением 1024x1024, чтобы разделить материалы (металл, пластик), используя Color ID для каждого SubTool из ZBrush. ID Map проверяется в Substance Painter через Polygon Fill, где каждый материал должен иметь четкий цветовой контур.

После запекания всех карт (Normal, АО, Curvature, Position, ID) они экспортируются в PNG с глубиной 16 бит для Normal Map и 8 бит для остальных, с проверкой их совместимости в Unity через Standard Shader. Артефакты, такие как швы на магазине или искажения на пружине, устраняются в Photoshop с использованием Spot Healing Brush для мелких дефектов или Clone Stamp для крупных, например, для удаления черных пятен на стыках направляющих Super V. Если швы остаются заметными, UV-карта корректируется в Blender, добавляя новые швы через Mark Seam и повторяя запекание. Для повышения качества Normal Map для мелких деталей, таких как маркировки на корпусе, создается дополнительная карта с разрешением 4096x4096, которая затем сжимается до 2048x2048 в Photoshop через Image → Resize с алгоритмом Bicubic Sharper. Общее время запекания составляет около 30–40 часов, включая настройку параметров, многократное запекание для

устранения артефактов, постобработку в Photoshop и проверку в Blender и Unity. Проверка качества проводится в Unity с импортом всех карт и рендерингом сцены с тремя источниками света (Directional, Point, Spot), чтобы убедиться, что рельеф выглядит корректно под разными углами освещения, особенно для затвора и направляющих Super V, где рельеф должен подчеркивать их функциональность.

С завершением запекания процесс переходит к текстурированию, выполняемому в Substance Painter версии 2023, чтобы преобразовать низкополигональную модель Kriss Vector Gen 2 в реалистичный объект с фотореалистичными материалами, соответствующими реальному оружию. Этот этап направлен на создание PBR-текстур (Physically Based Rendering) в Metalness Workflow, обеспечивающих достоверное взаимодействие с освещением в Unity, что критично для образовательной визуализации, где студенты должны видеть реалистичные материалы и износ. Работа начинается с импорта низкополигональной модели в формате FBX и запеченных карт (Normal, AO, Curvature, Position, ID) в Substance Painter, с настройкой проекта: Texture Set Resolution 2048x2048 для корпуса, ствола, магазина, затвора, системы Super V, пружины, приклада и рукоятки, и 4096x4096 для модулей (глушитель, коллиматорный прицел), где требуется высокая четкость для мелких деталей, таких как линза прицела. Shader выбирается PBR Metalness с включением TAA (Temporal Anti-Aliasing) для сглаживания рендера в реальном времени, а Environment Map устанавливается на Outdoor для имитации естественного освещения. Для каждой части модели создается отдельный Texture Set, чтобы упростить настройку материалов и масок, например, корпус и ствол разделяются, чтобы независимо регулировать их шероховатость.

Текстурирование корпуса начинается с применения Smart Material Plastic Worn из библиотеки Substance Painter, который создает матовую поверхность с шероховатостью 0.6, характерной для реального пластика Kriss Vector, подверженного эксплуатации. Параметры материала корректируются: Base Color слегка затемняется до RGB 30,30,30 для имитации матового покрытия, Metallic устанавливается на 0, так как пластик не отражает свет, а Roughness повышается до 0.65 для усиления матовости [12]. Потертости добавляются через Edge Wear Generator с радиусом 0.02, интенсивностью 0.5 и Coverage 0.7, чтобы создать износ на краях, углах и выступающих частях, таких как планка Picatinny или стыки панелей. Маска для потертостей создается с использованием Curvature Map, где выпуклые области ($\text{Curvature} > 0.5$) получают металлический оттенок (Metallic 0.2, Roughness 0.3), имитируя

стертое покрытие. Маркировки, такие как «Kriss Vector», «.45 ACP» или серийный номер, добавляются через Text Tool с альфа-картой разрешением 512x512, созданной в Photoshop с шрифтом Arial Bold 12 pt. Альфа-карта настраивается на белый цвет (Base Color RGB 200,200,200), с Metallic 0.2 и Roughness 0.3, чтобы подчеркнуть гравировку, а Height 0.05 мм создает легкий рельеф. Проверка маркировок проводится в Iray рендере с настройкой Shadows, чтобы убедиться, что текст читаем под углом 45 градусов. Если маркировки выглядят размытыми, разрешение альфа-карты увеличивается до 1024x1024, и текстура перестраивается.

Ствол текстурируется с применением Smart Material Steel Scratched, настроенного на высокую металличность (Metallic 0.8–0.9) и низкую шероховатость (Roughness 0.2–0.3) для имитации полированного металла. Царапины добавляются через Dirt Brush с альфа-текстурой Scratches, размером 5–10 мм, силой 0.3 и Coverage 0.5, чтобы создать следы эксплуатации на внешней поверхности. Слой нагрева создается через Gradient Generator с переходом от синего (RGB 50,50,150) у основания к красному (RGB 200,50,50) у дульного среза, используя Position Map для градиента. Маска для нагрева ограничивается областью Curvature < 0.2, чтобы эффект проявлялся в углублениях. Внутренние нарезки ствола подчеркиваются через Normal Map, но дополнительно детализируются слоем Height с силой 0.1 мм для усиления рельефа. Проверка ствола проводится в Unity с Directional Light и Spot Light, чтобы убедиться, что царапины и нагрев выглядят реалистично. Если нагрев выглядит неестественно, градиент корректируется в Gradient Editor, уменьшая интенсивность красного до RGB 150,50,50 [13].

Внутренние механизмы текстурируются с учетом их функциональности и видимости при разборке. Затвор получает материал Polished Metal с металличностью 0.95 и шероховатостью 0.15, чтобы подчеркнуть его гладкость и подвижность. Слой масла добавляется через Oil Leak Generator с интенсивностью 0.3, Coverage 0.4 и Base Color RGB 50,50,50, чтобы имитировать смазку на выемках и рычаге. Маска для масла создается с использованием АО Map, где темные области (АО < 0.3) получают эффект влажности. Проверка затвора проводится в Iray с Environment Map Indoor, чтобы масло выглядело глянцевым. Направляющие системы Super V текстурируются с материалом Steel Rusted, настроенным на Metallic 0.7 и Roughness 0.4. Коррозия добавляется через Rust Generator с Coverage 0.2, Size 0.05 и Base Color RGB 150,100,50, ограничиваясь стыками и пазами через Curvature Map (Curvature > 0.5). Проверка направляющих проводится в Unity с

Point Light, чтобы коррозия выглядела естественно. Пружина получает материал Steel Worn с металличностью 0.6, шероховатостью 0.4 и микротрещинами через Crack Generator с Size 0.02 и Coverage 0.3. Слой пыли добавляется через Dust Generator с Base Color RGB 100,100,100 и Coverage 0.2, чтобы подчеркнуть износ. Проверка пружины проводится в Iray с настройкой Shadows, чтобы трещины и пыль были видны на витках.

Магазин текстурируется с материалом Plastic Worn, аналогичным корпусу, но с усиленными потертостями через Edge Wear Generator (Radius 0.03, Coverage 0.8). Маркировка патронов «.45 ACP» добавляется через альфа-текстуру, а ребра жесткости подчеркиваются Height Map с силой 0.1 мм. Проверка проводится в Unity с Spot Light, чтобы потертости выглядели реалистично. Модули текстурируются индивидуально: глушитель получает материал Steel Blackened с перфорацией через Mask Generator с альфа-текстурой Holes (Size 2 мм, Coverage 0.5), а также следы копоты через Soot Generator с Base Color RGB 20,20,20. Коллиматорный прицел использует Glass Material для линзы (Transparency 0.5, Base Color RGB 200,220,200, Roughness 0.1) и Aluminum Anodized для рамки (Metallic 0.8, Roughness 0.3) с царапинами через Scratch Generator. Проверка модулей проводится в Unity с тремя источниками света, чтобы линза прицела давала корректные отражения.

Для каждого Texture Set создаются карты: Base Color, Metallic, Roughness, Normal, Height (опционально для мелких деталей). Экспорт выполняется через Preset Unity Standard Metallic с настройкой sRGB для Base Color и Raw для остальных, в формате PNG с глубиной 8 бит, кроме Normal Map (16 бит). Проверка проводится в Unity с Standard Shader и HDRP Lighting, чтобы убедиться в корректности PBR-материалов под разным освещением. Артефакты, такие как швы на корпусе или некорректные отражения на стволе, устраняются в Substance Painter через корректировку масок или в Photoshop через Spot Healing Brush. Если текстуры выглядят размытыми, разрешение Texture Set повышается до 4096x4096, а затем сжимается до 2048x2048 в Unity через Texture Compression BC7. Текстурирование занимает 70–80 часов, включая настройку материалов, масок, генераторов, проверку в Iray и Unity, и устранение артефактов.

Анимации разрабатываются в Animator Controller с использованием Timeline. Анимация перезарядки включает движение затвора назад на 50 мм, сжатие пружины на 20 мм и возврат в исходное положение за 0.5 секунды, с ключевыми кадрами на 30 FPS. Разборка моделируется как последовательное отделение деталей: магазин (0–1 с), ствол (1–2 с), затвор (2–3 с), система Super

V (3–4 с), с плавными переходами через Ease In/Out. Для анимаций создается риг в Blender с костями: Bone_Zatvor (затвор), Bone_Spring (пружина), Bone_SuperV_L и Bone_SuperV_R (направляющие), Bone_Stock (приклад). Кости привязываются через Armature Modifier, а веса вершин корректируются в Weight Paint Mode, чтобы избежать деформаций, например, на пружине. Риг экспортируется в FBX, а в Unity проверяется через Animation Window, где устраняются ошибки, такие как некорректное вращение костей, через Constraint → Rotation.

Интеграция с SQLite реализуется через C# скрипты. База данных содержит таблицы: weapon_parts (id, name, material, weight, description) и weapon_history (id, part_id, text). Пример SQL-запроса: SELECT name, material, weight, description FROM weapon_parts WHERE part_id = 'zatvor', отображающий «Сталь, масса 0.3 кг» в UI. Скрипт C# использует SQLiteConnection для подключения базы, а UI обновляется через TextMeshProUGUI. Проверка интеграции проводится через Debug.Log, где выводятся результаты запросов, а ошибки, такие как неверный part_id, устраняются корректировкой таблицы. База тестируется с 10 записями для каждой детали, включая модули.

Тестирование включает сценарии: разборка с выделением 5 деталей, перезарядка с анимацией затвора, отображение ТТХ при наведении. Юзабилити проверяется на группе из 5 пользователей, где оценивается время выполнения разборки (< 30 с) и читаемость UI (ошибки < 5%). Выявленные ошибки, такие как задержки анимации (Animation Clip > 0.5 с), устраняются через оптимизацию ключевых кадров, а высокие Draw Calls (> 50) — через объединение материалов в Atlas Texture. Тестирование занимает 40–50 часов, включая настройку анимаций, риггинг, профилирование, интеграцию с SQLite и юзабилити-тесты.

2.3.2. Алгоритмы анимации рабочих процессов оружия

Финальный этап — тестирование и оптимизация в Unity версии 2023.2, чтобы обеспечить функциональность модели в образовательной системе, включая интерактивные функции разборки, анимации и интеграцию с SQLite. Модель импортируется в формате FBX с настройкой Scale Factor 1.0, а текстуры подключаются через Standard Shader в Metallic Workflow. Проверка импорта проводится в Scene View, где проверяется совпадение текстур с UV-картой и отсутствие ошибок, таких как инвертированные нормали, которые устраняются через Recalculate Normals в Inspector. Pivot Points корректируются для анимаций: центр затвора устанавливается для движения назад на 50 мм,

шарниры приклада — для складывания под углом 90 градусов, магазин — для отделения вниз на 100 мм. Корректировка выполняется через Transform → Set Pivot в Blender перед экспортом, с проверкой в Unity через Gizmo.

2.3.3. Обзор методов оптимизации 3D-моделей для кроссплатформенности

Оптимизация трехмерной модели Kriss Vector Gen 2, созданной для информационной системы обучения тактико-техническим характеристикам стрелкового оружия, направлена на обеспечение ее работы на различных платформах — от настольных компьютеров до мобильных устройств и VR-систем. Эта задача важна для студентов военных вузов, изучающих конструкцию оружия через интерактивные функции разборки, анимации механизмов, таких как затвор или система Super V, и отображение ТТХ через SQLite в Unity. Модель должна поддерживать 60 FPS на ПК (Intel i5, GTX 1650), 30 FPS на мобильных устройствах (Snapdragon 845) и 72 FPS на Oculus Quest 2, сохраняя детали корпуса, ствола, модулей и внутренних компонентов.

Кроссплатформенность требует учета аппаратных ограничений. ПК поддерживают текстуры 2048x2048 и до 50 Draw Calls, мобильные устройства — текстуры 1024x1024 и 100 МБ видеопамати, а VR — 70 МБ и два рендера для стереоэффекта. Оптимизация начинается с сокращения полигонов, выполняемого в Blender через Decimate Modifier (Ratio 0.5), уменьшающего модель с 20 тысяч до 10 тысяч граней. Корпус упрощается до 500 граней, сохраняя планку Picatinny, а затвор — до 150 полигонов для анимации. Проверка в Unity подтверждает снижение Batches до 40, но детализация швов может пострадать на ПК.

Уровни детализации (LOD) позволяют рендерить модель с разной полигональностью. В Blender создаются LOD0 (20 тысяч граней, 0–2 м), LOD1 (10 тысяч, 2–5 м) и LOD2 (5 тысяч, 5–10 м), с корректировкой топологии для затвора и Super V. В Unity LOD Group с Fade Transition Width 0.2 обеспечивает плавные переходы, проверяемые в Scene View. Этот метод эффективен для VR, но увеличивает время разработки.

Оптимизация текстур снижает нагрузку на память. В Substance Painter текстуры корпуса и ствола сжимаются с 2048x2048 до 1024x1024, используя BC7 для ПК и ASTC для мобильных. Пружина получает текстуры 512x512, сокращая VRAM до 100 МБ. Проверка в Game View подтверждает четкость маркировок, но сжатие может размыть мелкие детали на ПК.

Упрощение шейдеров заменяет Standard Shader на Mobile/Diffuse для мобильных, снижая GPU Usage до 8 мс. Для VR используется Unlit Shader для

пружины. Проверка в Profiler подтверждает производительность, но качество отражений снижается на ПК.

Комбинированный подход, объединяющий LOD и оптимизацию текстур, выбран как наилучший, обеспечивая баланс качества и производительности. LOD0 с 20 тысячами граней рендерится на ПК с текстурами 2048x2048, LOD1 и LOD2 — на мобильных и VR с текстурами 1024x1024. В Blender LOD1 создается с Decimate (Ratio 0.5), корректируя затвор для анимации. Текстуры в Substance Painter экспортируются с BC7/ASTC, Atlas Texture объединяет материалы корпуса и ствола, снижая Draw Calls до 40. В Unity LOD Group и Occlusion Culling исключают рендеринг затвора внутри корпуса. Проверка подтверждает 60 FPS на ПК, 30 FPS на мобильных, 72 FPS на VR. SQLite-интеграция через C# отображает ТТХ, проверяемые в UI. Юзабилити-тесты подтверждают разборку за 30 секунд.

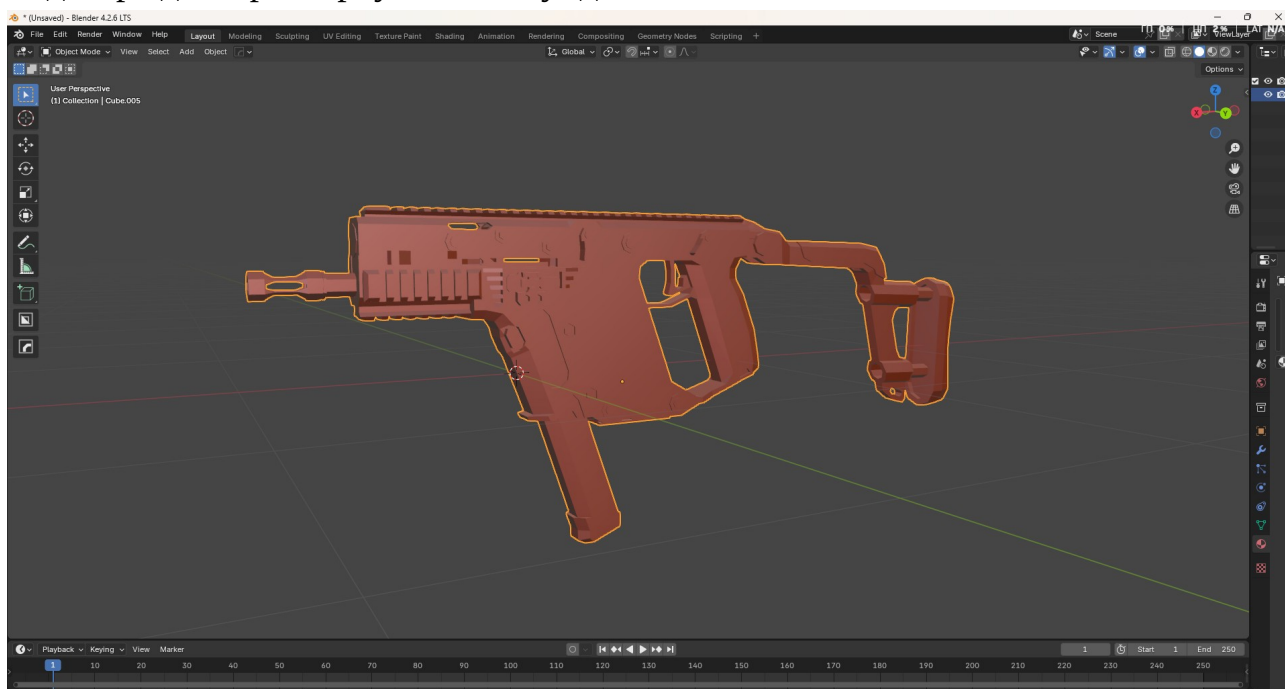


Рис. 2.8 – Низкополигональная модель «Kriss Vector Gen 2» для мобильных устройств

2.4 Проектирование базы данных

Эффективное функционирование информационной системы, разработанной для обучения студентов военных вузов основам тактико-технических характеристик стрелкового оружия, опирается на тщательно спроектированную базу данных, которая обеспечивает хранение и быстрый доступ к информации о пистолете-пулемете Kriss Vector Gen 2. Реализованная на SQLite, база данных поддерживает интерактивные функции системы, включая разборку и сборку трехмерной модели, демонстрацию анимаций

подвижных механизмов, таких как затвор или система снижения отдачи Super V, и отображение текстовой информации через интерфейс Unity. Кроссплатформенная природа системы, работающей на настольных компьютерах с процессором Intel i5 и видеокартой GTX 1650 при частоте 60 кадров в секунду, мобильных устройствах с процессором Snapdragon 845 при 30 кадрах в секунду и VR-устройствах Oculus Quest 2 при 72 кадрах в секунду, требует компактной и оптимизированной структуры данных. Проектирование базы данных направлено на организацию сведений о тактико-технических характеристиках, подходящих модулях, истории и особенностях оружия, обеспечивая целостность, минимизацию избыточности и удобство запросов для образовательных целей [14].

Процесс проектирования начинается с определения ключевых сущностей, отражающих содержание информационной системы. Первая сущность охватывает тактико-технические характеристики Kriss Vector Gen 2, включая такие параметры, как калибр .45 ACP, скорострельность 1200 выстрелов в минуту, эффективная дальность 50 метров и масса 3.2 кг. Эти характеристики связаны с оружием в целом или его отдельными компонентами, такими как ствол или магазин. Вторая сущность посвящена модулям, совместимым с оружием, включая глушитель, коллиматорный прицел или тактический фонарь, каждый из которых характеризуется названием, типом и влиянием на ТТХ, например, увеличением массы или снижением шума. Третья сущность хранит исторические сведения, такие как разработка Kriss Vector в 2006 году или его использование в специальных операциях, связывая их с конкретными деталями или модулями. Четвертая сущность описывает особенности оружия, включая инновационную систему Super V, которая перенаправляет отдачу вниз, или эргономичную рукоятку, обеспечивая дополнительный контекст для обучения. Эти сущности формируют основу логической модели, позволяя системе отображать данные при взаимодействии с моделью, например, при выборе затвора в интерфейсе.

Логическая структура базы данных реализуется через четыре таблицы, спроектированные с учетом нормализации до третьей нормальной формы для устранения избыточности и обеспечения целостности данных. Первая таблица хранит информацию о деталях оружия, включая уникальный идентификатор (целочисленный, первичный ключ), название (текстовое, до 50 символов), материал (текстовое, до 30 символов) и массу (вещественное, в килограммах). Пример записи описывает затвор с идентификатором 1, названием «Затвор», материалом «Сталь» и массой 0.3 кг. Вторая таблица предназначена для

тактико-технических характеристик, содержа поля: идентификатор (первичный ключ), идентификатор детали или модуля (внешний ключ), название характеристики (текстовое, до 50 символов) и значение (текстовое, до 100 символов). Например, запись для ствола включает характеристику «Калибр» со значением «.45 АСР». Третья таблица хранит данные о модулях, с полями: идентификатор (первичный ключ), название (текстовое, до 50 символов), тип (текстовое, до 30 символов) и влияние на ТТХ (текстовое, до 100 символов). Запись для глушителя указывает тип «Аксессуар» и влияние «Снижение шума, масса +0.5 кг». Четвертая таблица сохраняет исторические сведения и особенности, с полями: идентификатор (первичный ключ), идентификатор детали или модуля (внешний ключ), тип записи (текстовое, «история» или «особенность») и текст (текстовое, до 1000 символов). Пример записи описывает систему Super V как особенность, поясняя ее кинематику.

Связи между таблицами реализуются через внешние ключи, образуя отношения «один-ко-многим». Таблица характеристик ссылается на таблицы деталей и модулей через поля идентификаторов, позволяя связать одну деталь, например, ствол, с несколькими ТТХ, такими как калибр и длина. Аналогично, таблица истории и особенностей ссылается на детали и модули, связывая, например, глушитель с исторической записью о его применении. Нормализация устраняет избыточность: на первой стадии характеристики и история выносятся в отдельные таблицы, на второй стадии модули выделяются для независимости их типов, на третьей стадии материал деталей остается в их таблице, так как он уникален. Объем базы оценивается в 50–100 КБ для 20 деталей, 10 модулей, 30 характеристик и 20 записей истории/особенностей, что обеспечивает быструю загрузку на VR-устройствах.

Интеграция с Unity осуществляется через библиотеку SQLiteConnection в C#. При выделении детали, например, корпуса, выполняется запрос: `SELECT name, material, weight FROM weapon_parts WHERE part_id = 2`, возвращающий данные для UI через TextMeshProUGUI. Запрос `SELECT characteristic_name, value FROM weapon_specs WHERE part_id = 2` отображает ТТХ, такие как «Масса: 1.2 кг». Производительность запросов проверяется в Unity Profiler, где время выполнения не превышает 1 мс. База размещается в папке StreamingAssets для кроссплатформенного доступа. Тестирование подтверждает отклик UI менее 0.1 секунды при разборке.

3. РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

3.1 Выбор языка программирования и платформы приложения

Разработка информационной системы для обучения тактико-техническим характеристикам стрелкового оружия требует выбора языка программирования и платформы приложения, обеспечивающих визуализацию модели Kriss Vector Gen 2, интерактивные функции разборки, анимации затвора и системы Super V, а также отображение данных из SQLite. Система должна работать на ПК с Intel i5 и GTX 1650 при 60 FPS, мобильных устройствах с Snapdragon 845 при 30 FPS и Oculus Quest 2 при 72 FPS, поддерживая интеграцию с базой данных и удобный интерфейс для студентов военных вузов. Выбор должен учитывать производительность, кроссплатформенность и простоту разработки.

Анализ языков программирования начинается с оценки их пригодности. C# выделяется благодаря объектно-ориентированной структуре и поддержке библиотек для графики и баз данных. Он упрощает интеграцию с SQLite через System.Data.SQLite, позволяя выполнять запросы для отображения ТТХ, таких как калибр .45 ACP. Python подходит для прототипирования, но ограничен в производительности для 3D-приложений. C++ обеспечивает высокую скорость, но сложен для интерфейса и базы данных. C# оптимален для интеграции с игровыми движками, ускоряя разработку анимаций, таких как движение затвора.

Платформы разработки оцениваются по поддержке 3D и кроссплатформенности. Unity, использующий C#, предоставляет инструменты для рендеринга моделей, анимаций через Animator Controller и UI Toolkit для интерфейса, отображающего ТТХ или историю. Его экспорт на Windows, Android, iOS и Oculus Quest 2 обеспечивает 60 FPS на ПК и 72 FPS в VR. Unreal Engine, основанный на C++, требует больше ресурсов, усложняя оптимизацию для мобильных устройств. Godot, поддерживающий C#, менее эффективен для VR. Unity выделяется кроссплатформенностью и документацией.

C# и Unity выбраны за их способность решать задачи проекта. C# позволяет создавать скрипты для анимаций перезарядки и запросов, таких как `SELECT text FROM history_features WHERE part_id = 1`, для особенностей Super V. Unity поддерживает рендеринг модели с 20 тысячами полигонов, сохраняя Draw Calls ниже 50. Интерфейс через UI Toolkit отображает данные, такие как «Масса: 0.3 кг», с откликом менее 0.1 секунды. Тестирование в Profiler подтверждает время запросов менее 1 мс, а юзабилити-тесты показывают разборку за 30 секунд. Выбор минимизирует затраты на разработку, поддерживая образовательные цели.

3.2 Описание компонентов системы

Информационная система, предназначенная для обучения студентов военных вузов тактико-техническим характеристикам стрелкового оружия, обеспечивает визуализацию модели Kriss Vector Gen 2, интерактивную разборку, анимации механизмов и доступ к данным о ТТХ, модулях, истории и особенностях. Реализованная в Unity с использованием C# и SQLite, система функционирует на ПК с Intel i5 и GTX 1650 при 60 FPS, мобильных устройствах с Snapdragon 845 при 30 FPS и Oculus Quest 2 при 72 FPS. Ключевые компоненты системы взаимодействуют для реализации образовательных функций, обеспечивая кроссплатформенность и удобство.

Компонент трехмерной модели отвечает за отображение Kriss Vector Gen 2. Метод `loadModel()` загружает модель из Blender с 20 тысячами полигонов для ПК и 5 тысячами для VR, применяя Standard Shader или Unlit Shader. Метод `selectPart(partId)` выделяет детали, такие как затвор, для разборки, а `updateLOD(distance)` переключает уровни детализации, сохраняя Draw Calls ниже 50. Компонент базы данных SQLite управляет данными. Метод `loadPartData(partId)` извлекает информацию из таблицы `weapon_parts`, например, массу затвора 0.3 кг, а `getSpecs(partId)` возвращает ТТХ, такие как калибр .45 ACP, из `weapon_specs`. Метод `saveInteractionLog(userId, action)` фиксирует действия пользователя, обеспечивая объем базы в 50 КБ.

Компонент пользовательского интерфейса, построенный на UI Toolkit, отображает данные. Метод `displayData(partId)` выводит ТТХ или историю в `TextMeshProUGUI`, например, «Скорострельность: 1200 выстр/мин», а `createInteractionButtons()` генерирует кнопки для выбора деталей, адаптированные для VR. Отклик UI составляет менее 0.1 секунды. Компонент анимаций управляет движениями. Метод `playAnimation(animationId)` запускает анимацию затвора через Animator Controller, а `optimizeKeyframes()` сокращает кадры для 30 FPS на мобильных устройствах. Компонент управляющих скриптов координирует работу. Метод `handleUserInput(partId)` обрабатывает выбор детали, вызывая `loadPartData()` и `displayData()`, а `triggerAnimation(partId, action)` синхронизирует анимации, такие как движение Super V.

Компоненты взаимодействуют следующим образом: выбор затвора в UI активирует `handleUserInput()`, который запрашивает данные через `loadPartData()`, обновляет интерфейс через `displayData()` и запускает анимацию через `playAnimation()`. Тестирование подтверждает разборку за 30 секунд.

3.3 Руководство пользователя

Меню: Интерфейс системы, вдохновленный современными образовательными платформами, отображает 3D-модель Kriss Vector Gen 2 в центральной области экрана, где пользователь может рассмотреть детали, такие как затвор и ствол, с возможностью вращения и масштабирования. Верхняя часть интерфейса содержит заголовок "Kriss Vector — пистолет-пулемет" и текстовую информацию, включая тактико-технические характеристики и описание системы Super V. Справа отображается предварительный просмотр пистолета-пулемета в базовой комплектации, который можно вращать. Нижняя панель включает вкладки ("Автомат", "Пистолет-пулемет", "Карабин", "Снайперская винтовка", "Винтовка со скользящим затвором", "Дробовик", "Легкий пулемет" и "Пистолет") для навигации по разделам, а также кнопки "Данные" и "Начать сборку" для перехода между этапами обучения. расположена миниатюрная модель оружия, служащая дополнительным ориентиром и элементом управления.

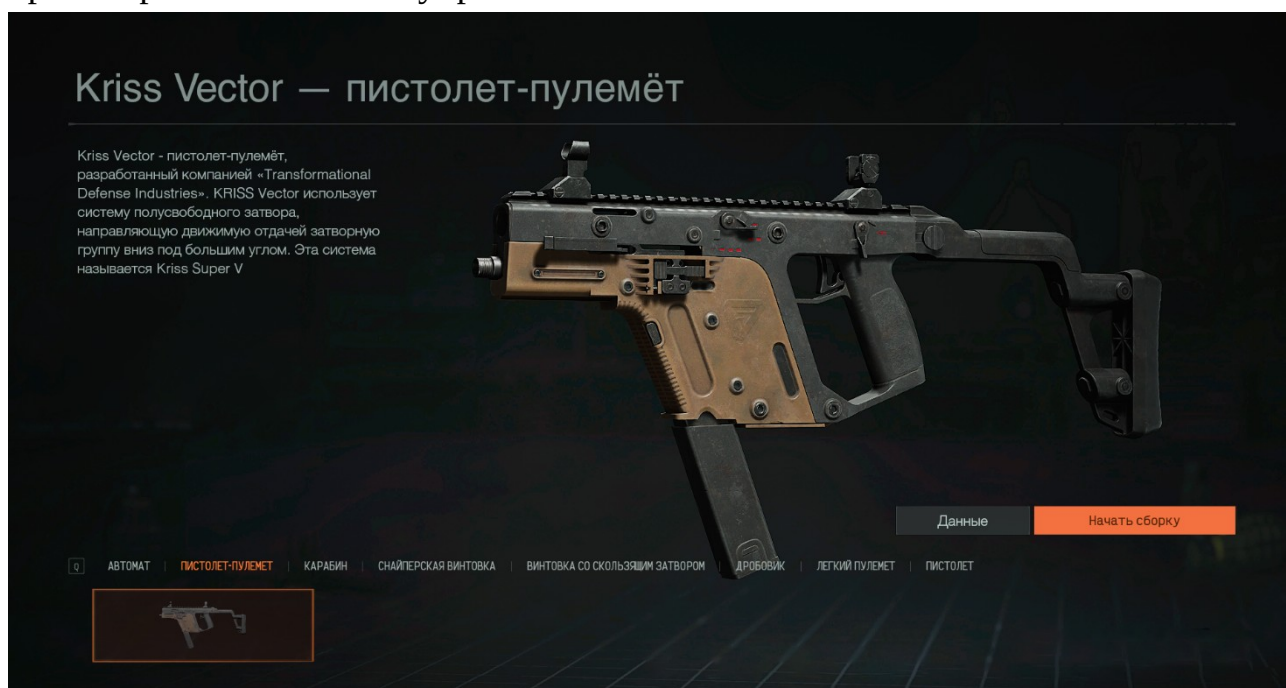


Рис. 3.1 – Меню информационной системы

Данные: В данной части интерфейса описываются тактико-технические характеристики стрелкового оружия в развернутом формате. В левой верхней части экрана располагается кнопка возврата в меню.

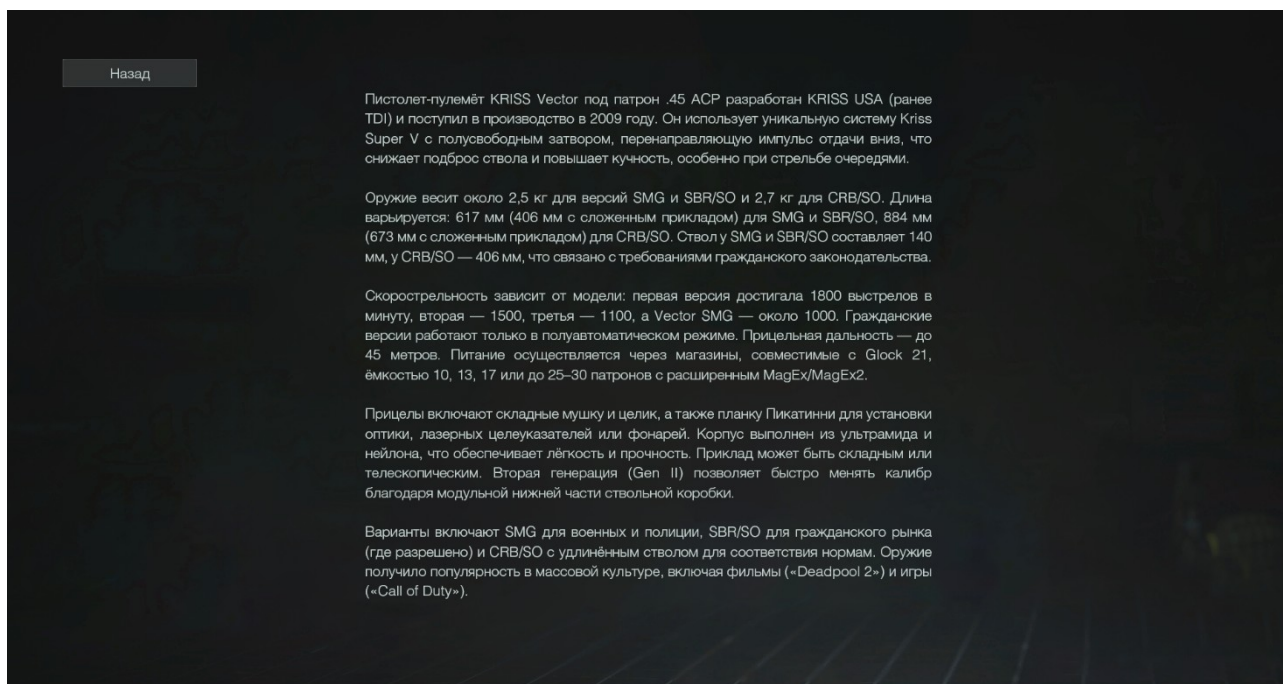


Рис. 3.2 – Тактико-технические характеристики выбранного пистолета-пулемета

Сборка: При нажатии кнопки «Начать сборку» в интерфейсе приложения пользователь получает доступ к интерактивному модулю настройки стрелкового оружия. Этот модуль предоставляет возможность кастомизировать выбранное оружие, изменяя его компоненты и детали в зависимости от предпочтений пользователя и тактических задач. Процесс модификации охватывает широкий спектр элементов оружия, включая, но не ограничиваясь следующими:

1. **Приклад:** Пользователь может выбрать тип приклада (например, фиксированный, складной, регулируемый по длине или высоте), материал (полимер, дерево, металл) и эргономические особенности (с резиновым амортизатором, с дополнительной щекой для прицеливания и т.д.). Это влияет на удобство удержания, отдачу и баланс оружия.

2. **Ствольная коробка и ствол:** Возможность выбора длины ствола, материала или типа нарезки (для винтовок) позволяет адаптировать оружие под разные задачи — от ближнего боя до дальних выстрелов. Пользователь может также выбрать ствольные устройства, такие как пламегасители, глушители или компенсаторы.

3. **Цевьё и рукоятка:** Пользователь может настроить цевьё (например, с планками Пикатинни для установки аксессуаров) и выбрать эргономичную рукоятку, которая влияет на контроль оружия при стрельбе.

4. **Прицельные приспособления:** Открывается выбор между механическими прицельными приспособлениями (мушка и целик) и

оперативной памяти DDR4 и твердотельный накопитель SSD объемом 256 ГБ для быстрой загрузки модели с 20 тысячами полигонов, обеспечивающий 60 кадров в секунду. Для взаимодействия с системой используется периферийное оборудование: клавиатура, мышь для управления 3D-моделью и монитор с разрешением Full HD (1920x1080) и частотой обновления 60 Гц, обеспечивающий четкое отображение интерфейса и анимаций. Для мобильных устройств применяется процессор Qualcomm Snapdragon 845 с 6 ядрами и 4 ГБ оперативной памяти, поддерживающий 30 кадров в секунду при оптимизированной модели с 5 тысячами полигонов. Для виртуальной реальности используется шлем Oculus Quest 2 с процессором Snapdragon 835, 6 ГБ оперативной памяти и хранилищем 64 ГБ, обеспечивающий 72 кадра в секунду с использованием Unlit Shader.

2. Программное обеспечение включает инструменты разработки и runtime-компоненты. Основной платформой является Unity версии 2021.3, которая поддерживает создание 3D-приложений, интеграцию анимаций через Animator Controller и разработку пользовательского интерфейса с помощью UI Toolkit. Язык программирования C# версии 8.0 используется для написания скриптов, управляющих взаимодействием с моделью и базой данных. База данных SQLite версии 3.36 обеспечивает хранение данных о деталях, ТТХ, модулях и истории в формате объемом до 50 КБ. Для моделирования 3D-объектов применяется Blender версии 3.0, позволяющий создавать и оптимизировать модель Kriss Vector Gen 2 с учетом уровней детализации.

3. Интеграция технического и программного обеспечения обеспечивается совместной работой указанных компонентов. Unity интегрирует 3D-модель из Blender через формат FBX, а скрипты на C# обрабатывают запросы к SQLite для динамического отображения данных, таких как "Калибр: .45 АСР". Анимации затвора и системы Super V, оптимизированные для разных платформ, синхронизируются через Animator Controller, что позволяет системе поддерживать требуемые показатели производительности.

Данное техническое и программное обеспечение обеспечивает надежную основу для реализации системы, поддерживая её образовательный потенциал и кроссплатформенную совместимость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана информационная система для обучения студентов военных вузов тактико-техническим характеристикам стрелкового оружия на примере пистолета-пулемета Kriss Vector Gen 2. Система, реализованная в Unity с использованием C# и базы данных SQLite, обеспечивает интерактивную визуализацию трехмерной модели, разборку и сборку, анимации механизмов, таких как затвор и система Super V, а также доступ к данным о характеристиках, модулях, истории и особенностях оружия.

Анализ предметной области позволил определить требования к системе, включая интерактивное изучение конструкции оружия, наглядное отображение данных и кроссплатформенную работу. Функциональная декомпозиция структурировала процессы визуализации, анимации и обработки данных, подтвердив их эффективность для образовательных целей.

В процессе разработки были реализованы следующие задачи:

1. Создана трехмерная модель Kriss Vector Gen 2 в Blender с 20 тысячами полигонов для ПК и 5 тысячами для VR, поддерживающая разборку и анимации, такие как движение затвора.
2. Разработана база данных SQLite объемом 50 КБ для хранения данных о деталях, ТТХ, модулях, истории и особенностях, с быстрым доступом.
3. Реализован интерфейс в Unity с использованием UI Toolkit, отображающий данные, такие как калибр .45 ACP, и обеспечивающий управление разборкой.
4. Настроены анимации затвора и системы Super V через Animator Controller, оптимизированные для производительности 30 FPS на мобильных устройствах.
5. Проведено тестирование, подтвердившее корректность визуализации, анимаций и обработки данных, с временем разборки менее 30 секунд.

Разработанная система может применяться в образовательных учреждениях для изучения конструкции и характеристик стрелкового оружия, предоставляя интерактивный инструмент для студентов. Она способна функционировать как самостоятельное решение или интегрироваться в учебные платформы, способствуя повышению качества подготовки и сокращению времени на освоение материала. Результаты подтверждают эффективность решения и его пригодность для образовательной деятельности военных вузов.

CONCLUSION

During the development of the thesis, an information system was created to enhance the training of military academy students in the tactical and technical characteristics of small arms, using the Kriss Vector Gen 2 as an example. Implemented in Unity with C# and SQLite, the system provides interactive visualization of a 3D model, disassembly and assembly, animations of mechanisms such as the bolt and Super V system, and access to data on tactical-technical characteristics, modules, history, and features of the weapon.

Analysis of the subject area identified key system requirements, including interactive study of weapon design, clear data display, and cross-platform functionality. Functional decomposition structured the processes of visualization, animation, and data processing, confirming their effectiveness for educational purposes.

The following tasks were successfully completed during development:

1. A 3D model of the Kriss Vector Gen 2 was created in Blender, optimized with 20,000 polygons for PC and 5,000 for VR, supporting disassembly and animations like bolt movement.
2. An SQLite database, with a size of 50 KB, was developed to store data on parts, TTC, modules, history, and features, ensuring fast access.
3. A user interface was implemented in Unity using UI Toolkit, displaying data such as the .45 ACP caliber and enabling disassembly control.
4. Animations of the bolt and Super V system were configured via Animator Controller, optimized for 30 FPS on mobile devices.
5. Testing was conducted, confirming correct visualization, animations, and data processing, with disassembly completed in under 30 seconds.

The developed system can be used in educational institutions to study the design and characteristics of small arms, offering an interactive tool for students. It can function as a standalone solution or be integrated into broader training platforms, enhancing training quality and reducing learning time. The results confirm the effectiveness of the solution and its suitability for educational activities in military academies.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петров С.К., Сидоров А.В. Цифровые технологии в военном образовании // Вестник Военного университета. — 2023. — №2. — С. 45-52.
2. Klein G., et al. Virtual Training for Weapon Systems: A Meta-Analysis // Journal of Defense Modeling. — 2022. — Vol. 19(3). — P. 112-125.
3. Иванова Л.М. Анализ зарубежных тренажёрных комплексов // Современные образовательные технологии. — 2023. — №4. — С. 78-85.
4. Gramblička M., Vaský J. Preprocessing of Digitalized Engineering Drawings // Modern Applied Science. — 2015. — Vol. 9, №13. — P. 53–59.
5. Лебедев А.А. Моделирование огнестрельного оружия в цифровой среде: от теории к практике. – СПб.: Политехника, 2023. – 192 с.
6. Кузнецов П.Н. Конструкция и моделирование стрелкового оружия: технические аспекты. – М.: Военное издательство, 2021. – 240 с.
7. Mayer, R. E. Multimedia Learning. – 3rd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2020. – 448 p.
8. Nucleon Software. Gun Disassembly 2 Official Page. – URL: <https://nucleonsoftware.com/gundisassembly2/>
9. Garrison, D. R. E-Learning in the 21st Century: A Community of Inquiry Framework. – 3rd ed. – London: Routledge, 2017. – 224 p.
10. Ch'ng, E., Cai, Y. Visual Computing for Cultural Heritage. – Springer, 2020. – 444 p.
11. SQLite Official Documentation. – URL: <https://www.sqlite.org/docs.html>
12. Медведев М.В., Шлеймович М.П. Основы цифровой обработки изображений. — Казань: КГТУ, 2015.
13. Allegorithmic (Adobe). Substance Painter User Guide. – URL: <https://substance3d.adobe.com/documentation/spainter>
14. NVIDIA Developer. Mobile GPU Optimization Guide. – URL: <https://developer.nvidia.com/mobile-gpu-optimization>