

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра информационных и управляющих систем
Направление подготовки 09.03.04 - «Программная инженерия»
Направленность (профиль) образовательной программы Программная инженерия

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ А.В. Бушманов
«____» _____ 2025г

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Разработка 3D-модели Албазинской крепости

Исполнитель
студент группы 1105-об

(подпись, дата)

В.В. Ковжун

Руководитель
профессор, доктор техн. наук

(подпись, дата)

И.Е. Ерёмин

Консультант по безопасности и
экологичности
доцент, канд. техн. наук

(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
инженер кафедры

(подпись, дата)

В.Н. Адаменко

Благовещенск 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра Информационных и управляющих систем

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____ А.В. Бушманов
«_____» _____ 2025 г

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента: В.В. Ковжун

1. Тема выпускной квалификационной работы: Разработка 3D-модели Албазинской крепости (утверждено Приказом от 10.04.2025 №980-уч)
2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта): 10.06.2025
3. Содержание выпускной квалификационной работы: анализ предметной области; освоение программного и технического обеспечения; разработка алгоритма решения; применение результата на практике.
4. Перечень материалов приложения: диаграмма прецедентов, диаграмма классов, диаграмма последовательности
5. Дата выдачи задания: 02.10.2024

Руководитель выпускной квалификационной работы: _____

Ерёмин И.Е. профессор кафедры ИиУС, доктор техн. наук, профессор

(фамилия, имя, отчество, должность, уч. степень, уч. звание)

Задание принял к исполнению (02.10.2024): _____

(Подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 82 страницы, 46 рисунков, 24 источников.

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ, ДИАГРАММЫ

В рамках работы были сформулированы требования к программному средству для создания интерактивной 3D-модели Албазинской крепости, на основе которых была составлена спецификация требований.

В процессе проектирования была выбрана архитектура, включающая три ключевые диаграммы: диаграмму прецедентов, диаграмму классов и диаграмму последовательностей. Реализация проекта выполнена с использованием современных технологий и программных средств, таких как Unity и инструменты трехмерного моделирования, что обеспечивает высокую детализацию модели, удобство взаимодействия пользователя с приложением.

Целью работы является разработка интерактивной 3D-модели Албазинской крепости, которая позволит сохранить историческое наследие и создать инструмент для его популяризации и изучения. Программа направлена на предоставление пользователям возможности исследовать крепость виртуально, изучать её архитектурные особенности и исторический контекст через интуитивно понятный интерфейс.

Задачами дипломной работы являются: анализ предметной области и объекта исследования; освоение программного и технического обеспечения для создания 3D-моделей; разработка алгоритмов и методов решения задачи моделирования; закрепление практических знаний в области разработки программного обеспечения; развитие навыков проектирования архитектуры программного средства.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	8
1 Анализ предметной области и объекта исследования	10
1.1 Предметная область	10
1.2 Объект исследования: Албазинская крепость	13
1.3 Существующие решения аналогичных задач	19
2 Системный анализ и выбор программных средств	26
2.1 Общая схема работы	26
2.2 Обзор программного обеспечения	27
2.3 Детальная схема работы	37
3 Разработка программного продукта	42
3.1 Подготовка 3D модели	42
3.1.1 Доработка 3D модели	42
3.1.2 Создание развёрток, назначение материалов	44
3.1.3 Разработка низкополигональной модели	46
3.1.4 Экспорт модели	47
3.2 Текстурирование модели	48
3.2.1 Добавление текстурных карт	49
3.2.2 Создание текстур	50
3.2.3 Запекание текстур	51
3.3 Интеграция модели	52
3.3.1 Импорт модели, материалов, текстур	52
3.3.2 Создание ландшафта	54
3.4 Архитектура проекта и реализация интерактивности	56
3.4.1 Архитектурный проект	57

3.4.2	Настройка камеры и управления	60
3.4.3	Разработка пользовательского интерфейса	62
4	Безопасность и экологичность	65
4.1	Безопасность	65
4.1.1	Эргономичность рабочего пространства за ПЭВМ	65
4.1.2	Физические упражнения для поддержания здоровья	66
4.1.3	Требования к помещению	69
4.1.4	Требования к микроклимату рабочего места с ПЭВМ	70
4.1.5	Требования к уровням шума и вибрации	71
4.1.6	Требования к освещению на рабочих местах с ПЭВМ	72
4.1.7	Требования к организации рабочих мест с ПЭВМ	73
4.2	Экологичность	74
4.3	Чрезвычайные ситуации	75
	Заключение	77
	Библиографические ссылки	79
	Библиографический список	80

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей бакалаврской работе использованы ссылки на следующие стандарты и нормативные документы:

ГОСТ 2.309-73. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки.

ГОСТ 2.052-2015 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

ГОСТ 2.502-2018. Единая система конструкторской документации. Компьютерное моделирование и техническое зрение.

ГОСТ Р 57412-2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Albedo Map – текстура, определяющая базовый цвет поверхности модели без учета освещения и отражений.

Ambient Occlusion (АО) – карта затенения, используемая для добавления теней в углублениях модели, что делает ее более детализированной и реалистичной.

Asset – ресурс в Unity, представляющий собой объекты, текстуры, материалы, скрипты или другие элементы, используемые в проекте.

Baking (Запекание текстур) – процесс передачи деталей высокополигональной модели на низкополигональную версию через генерацию карт нормалей, АО и других текстурных карт.

FBX – формат файлов, используемый для обмена 3D-моделями между различными программами, поддерживающий геометрию, текстуры и анимации.

LOD (Level of Detail) – механизм оптимизации графики, при котором сложность модели уменьшается с увеличением расстояния до камеры.

Normal Map (Карта нормалей) – текстура, используемая для имитации мелких деталей на поверхности модели без увеличения количества полигонов.

PBR (Physically Based Rendering) – технология рендеринга, основанная на физических законах взаимодействия света с материалами, обеспечивающая высокий уровень реалистичности текстур.

Roughness Map – текстура, определяющая степень шероховатости поверхности, что влияет на рассеивание света.

UV-развертка – процесс "разворачивания" 3D-модели на 2D-плоскость для наложения текстур, позволяющий точно нанести детали на поверхность объекта.

ВВЕДЕНИЕ

Албазинская крепость, основанная в XVII веке, является важным историческим и культурным памятником России, олицетворяющим эпоху освоения Дальнего Востока и взаимодействия различных культур. Актуальность разработки виртуальной 3D-модели данной крепости обусловлена несколькими ключевыми факторами.

Албазинская крепость играет важную роль в истории России и ее колонизации Дальнего Востока. Виртуальная 3D-модель позволит более эффективно сохранять и популяризировать это наследие, делая его доступным для широкой аудитории [1].

Виртуальные модели являются мощным инструментом в образовательном процессе. Они могут использоваться в школах и университетах для изучения истории, архитектуры и культурного наследия, что способствует формированию интереса к истории среди молодежи.

Создание 3D-модели Албазинской крепости может привлечь внимание туристов и исследователей, желающих узнать больше о данном объекте. Виртуальные экскурсии могут стать частью туристических маршрутов, что в свою очередь будет способствовать развитию местной экономики.

Использование современных технологий моделирования и визуализации позволяет создать высококачественные и реалистичные представления исторических объектов. Это открывает новые горизонты для исследователей и архитекторов, позволяя проводить анализ и реконструкцию объектов на основе достоверных данных.

В условиях изменения климата и человеческой деятельности многие исторические памятники подвергаются риску утраты. Виртуальная 3D-модель может служить средством документирования состояния крепости и ее элементов, что важно для будущих реставрационных работ.

Виртуальная 3D-модель открывает возможности для создания интерактивных приложений, которые позволят пользователям самостоятельно

исследовать крепость, изучать ее историю и архитектурные детали. Это может включать в себя элементы дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR), что сделает опыт более увлекательным и запоминающимся [2].

Виртуализация исторических объектов делает их доступными для людей по всему миру, независимо от их местоположения. Это способствует интернационализации культурного наследия и позволяет людям из разных стран узнать о российской истории и культуре.

3D-модели могут стать основой для дальнейших научных исследований в области археологии, истории и культурологии. Они могут использоваться для анализа изменений в архитектуре, планировке и функциональности крепости на протяжении веков.

Таким образом, разработка виртуальной 3D-модели Албазинской крепости является актуальной задачей, которая сочетает в себе элементы сохранения культурного наследия, образования, туризма и использования современных технологий. Это исследование не только обогатит научное сообщество, но и внесет вклад в популяризацию исторического наследия России.

1 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Предметная область

Историческая информатика, находясь на стыке истории и информатики, представляет собой динамично развивающуюся область научного знания. Она фокусируется на применении информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) для решения исторических задач, анализа исторических данных и создания новых форм представления исторического знания.

Исторический источник – основной объект изучения истории. Историческая информатика предлагает новые инструменты для работы с источниками: базы данных, геоинформационные системы (ГИС), методы компьютерного анализа текста, изображения и звука. Цифровые методы обработки исторических источников позволяют проводить количественный анализ данных, выявлять скрытые закономерности и связи, визуализировать исторические процессы и создавать интерактивные карты и хронологии.

Историческая информатика охватывает несколько ключевых направлений:

- цифровые архивы и базы данных: создание и поддержка цифровых архивов, которые содержат документы, фотографии, карты и другие источники информации. Это позволяет исследователям легко находить и анализировать материалы [3]:

- визуализация данных: использование графических методов для представления исторических данных. Это может включать карты, временные шкалы и интерактивные модели, которые помогают лучше понять контекст и взаимосвязи между событиями;

- моделирование исторических процессов: применение компьютерных моделей для симуляции исторических событий или процессов. Это позволяет исследователям тестировать гипотезы и анализировать последствия различных факторов;

– цифровые гуманитарные науки: интеграция методов и подходов из гуманитарных наук с современными технологиями, что открывает новые горизонты для исследования культуры, искусства и общества.

Виртуальные модели играют ключевую роль в исторической информатике, предоставляя возможность визуализировать и реконструировать исторические объекты и события. Создание виртуальных моделей, таких как албазинская крепость, позволяет не только сохранить культурное наследие, но и сделать его доступным для широкой аудитории. Виртуальные модели могут быть использованы для образовательных целей, а также для научных исследований, позволяя историкам и археологам изучать объекты в деталях, которые невозможно получить из традиционных методов [4].

Виртуальная реконструкция – это процесс создания цифровых моделей исторических объектов, позволяющих визуализировать их внешний вид и функциональность. Данный метод широко применяется для реконструкции археологических памятников, архитектурных сооружений, исторических городов и ландшафтов (рис. 1).



Рисунок 1 – 3D-модель

Игровой движок Unity предоставляет мощные инструменты для создания интерактивных 3D-моделей и сред. Его использование в проекте по

созданию виртуальной модели албазинской крепости позволяет интегрировать элементы геймификации, что делает процесс изучения более увлекательным и доступным. Unity поддерживает различные платформы, что позволяет достигать широкой аудитории и предоставляет возможность исследовать модель как на компьютерах, так и на мобильных устройствах.

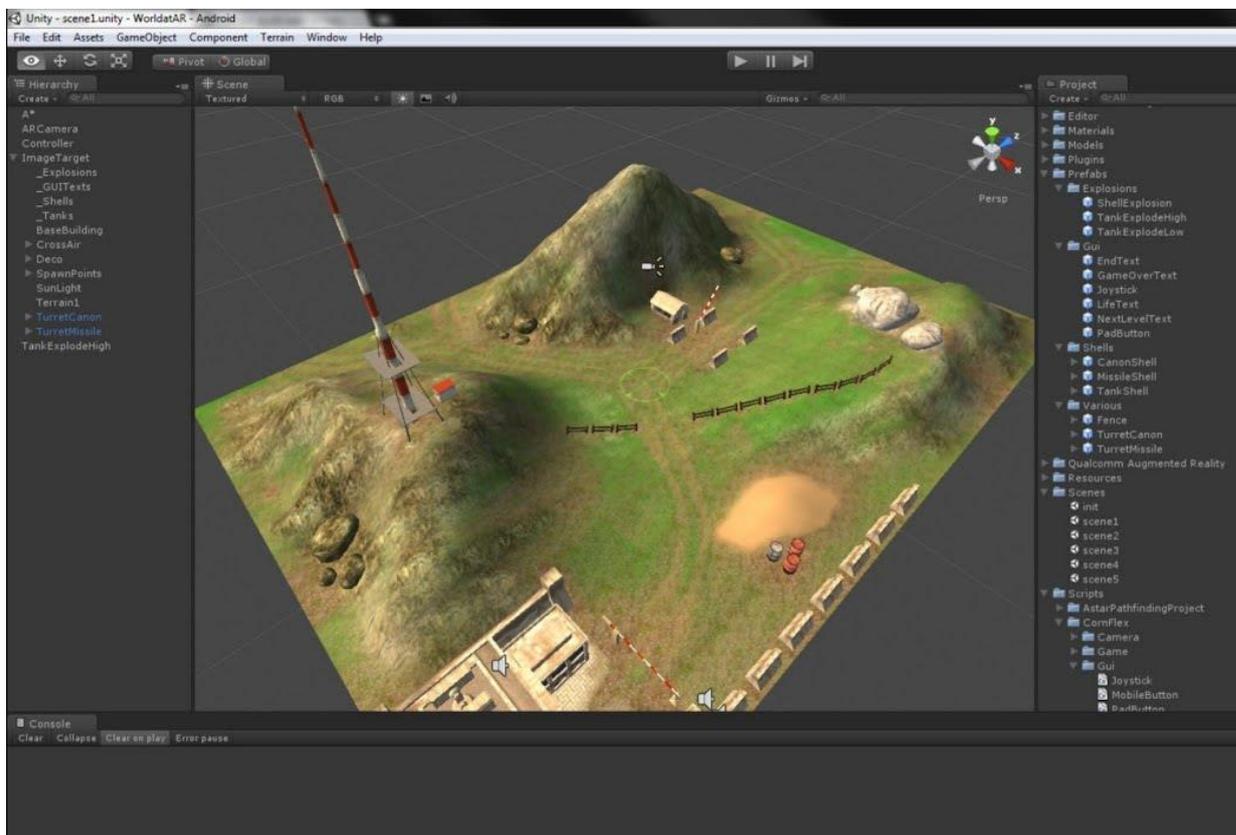


Рисунок 2 – 3D-модель в Unity

Методология исследования включает в себя комплексный подход, сочетающий исторический анализ, археологические данные и методы компьютерного моделирования. Ожидаемые результаты включают создание интерактивной виртуальной модели Албазинской крепости, позволяющей изучать ее архитектурные особенности, исторический контекст и проводить виртуальные экскурсии.

Создание виртуальной модели Албазинской крепости на базе игрового движка Unity имеет научное, образовательное и культурное значение. Данная работа способствует популяризации исторического знания, созданию новых интерактивных образовательных ресурсов и развитию виртуальной

археологии. Перспективы дальнейшего развития включают расширение функционала виртуальной модели, интеграцию ее с другими информационными системами и создание виртуальной среды для проведения исторических реконструкций.А

1.2 Объект исследования: Албазинская крепость

Албазинская крепость – это исторический комплекс, построенный в XVII веке на территории современного Китая (вблизи города Хэйхэ). Она была центром российского военного присутствия в Восточной Азии, играла важную роль в освоении Дальнего Востока и в русско-китайских отношениях. История археологических исследований Албазинского городища берет свое начало с первого амурского сплава, организованного графом Муравьевым-Амурским в 1854 году [5]. Наиболее значимые результаты были получены в ходе стационарных археологических работ, проводимых различными экспедициями. Результаты исследований были занесены на топографический план, который постепенно дополнялся и уточнялся последующими экспедициями.

Албазинский острог был основан в 1665 году казачьим атаманом Никифором Черниговским на месте Даурского городка Якса, захваченного ранее отрядом Ерофея Хабарова в 1651 году. Несмотря на короткий период существования (до 1689 года), его развитие можно разделить на три этапа: Малый Острог (1665–1682), Большой Острог (1682–1685) и деревянно-земляная крепость (1686–1689). Хотя исторических данных немало, многие аспекты архитектурной реконструкции остаются малоизученными из-за фрагментарности источников.

Современные технологии, такие как онтологическое моделирование, позволили воссоздать облик острога на первых двух этапах. Цель данного исследования – реконструкция сооружений последнего этапа его существования. Археологические раскопки охватили около 15% территории Албазинского городища, выявив остатки крепостных стен, башен, церкви и братских могил. Однако этих данных недостаточно для полного анализа. Важным источником информации является гравюра из книги Н. Витсена, изображающая осаду 1686

года. Этот документ, наряду с воспоминаниями китайского полководца Лантан, помогает восстановить общую картину событий.

После подписания Нерчинского договора в 1689 году территория острога стала зоной отчуждения, что способствовало сохранности некоторых его элементов. Первая топографическая карта Албазина, составленная Р. Мааком в 1855 году, описывает остатки острога как земляной вал с рвами и следами башен. Архивные документы описывают Албазинскую крепость как «земляной город» с двойной стеной, заполненной землей. Археологические находки, такие как остатки плетня, подтверждают, что основой крепости была тыновая конструкция. Бастионы, изображенные на гравюре Витсена, вероятно, использовались для фланкирующего огня. Угловые башни, судя по данным, не выступали за пределы стен, чтобы не мешать обороне.

Крепость отличалась уникальной архитектурой, включавшей в себя:

- деревянные стены и башни: крепость была построена из толстых бревен, образующих мощные стены, высотой до 5 метров. стены были усилены земляным валом и дополнены башнями, которые обеспечивали круговой обзор и возможность ведения огня в разных направлениях;
- главные ворота: крепость имела единственные ворота, расположенные на южной стороне. они были защищены двумя башнями и служили для входа и выхода гарнизона, а также для транспортировки грузов;
- жилые и оборонные постройки: внутри крепости располагались казармы, жилые дома, церкви, склады, арсеналы, а также различные хозяйственные постройки. дома были деревянные, срубные, одно- или двухэтажные, крытые тесом;
- система водоснабжения и канализации: для обеспечения гарнизона питьевой водой и гигиенических условий в крепости была предусмотрена система водоснабжения из колодцев и источников, а также деревянная система канализации для отвода сточных вод;
- защитный ров: вокруг крепости был вырыт ров, который затруднял доступ вражеских войск и создавал дополнительный барьер.

Особенности планировки:

- прямоугольная форма: крепость имела прямоугольную форму, что было типично для русских укреплений того времени;
- функциональность: планировка крепости была простой, но функциональной, основное внимание было уделено обороноспособности и комфортному проживанию гарнизона.

История археологических исследований Албазинского городища начинается с первого амурского сплава, организованного графом Муравьевым-Амурским в 1854 году. В 1855 году место городища посетил исследователь Приамурья Р. Маак, составивший первую топографическую схему. Однако наиболее ценными являются результаты стационарных археологических работ, проведенных в разное время: Амурским отрядом Северо-Азиатской экспедиции (1974-1976, 1979-1980 гг., рук. Сухих В.В., Глинский С.В.); Амурской археологической экспедицией (1988-1997 гг., рук. Артемьев А.Р.); Албазинской археологической экспедицией (2011-2022 гг., рук. Черкасов А.Н.).

Экспедиция Сухих заложила две перпендикулярные линии разведочных шурфов, которые стали основой для топографической привязки всех последующих раскопов. Были обнаружены колодец с множеством артефактов и южная проездная башня. Результаты исследований наносились на план, который развивался последующими экспедициями.

Экспедиция Артемьева подробно исследовала северную часть острога, обнаружив юго-восточную башню и другие сооружения. Экспедиция Черкасова выявила остатки Воскресенской церкви. Однако сравнение топографических планов выявило расхождения, вероятно, из-за несовершенства методов географической привязки ранних экспедиций (рис. 3).

Артефакты Албазинского острога относятся к его последней конфигурации – деревоземляной крепости, построенной поверх остатков деревянного острога, сожженного маньчжурами в 1685 году. Например, раскоп северо-восточной башни деревянного острога помогает определить расположение углы тыновой ограды крепости. Раскоп южной проездной башни указывает на

вероятное расположение южной стены крепости.

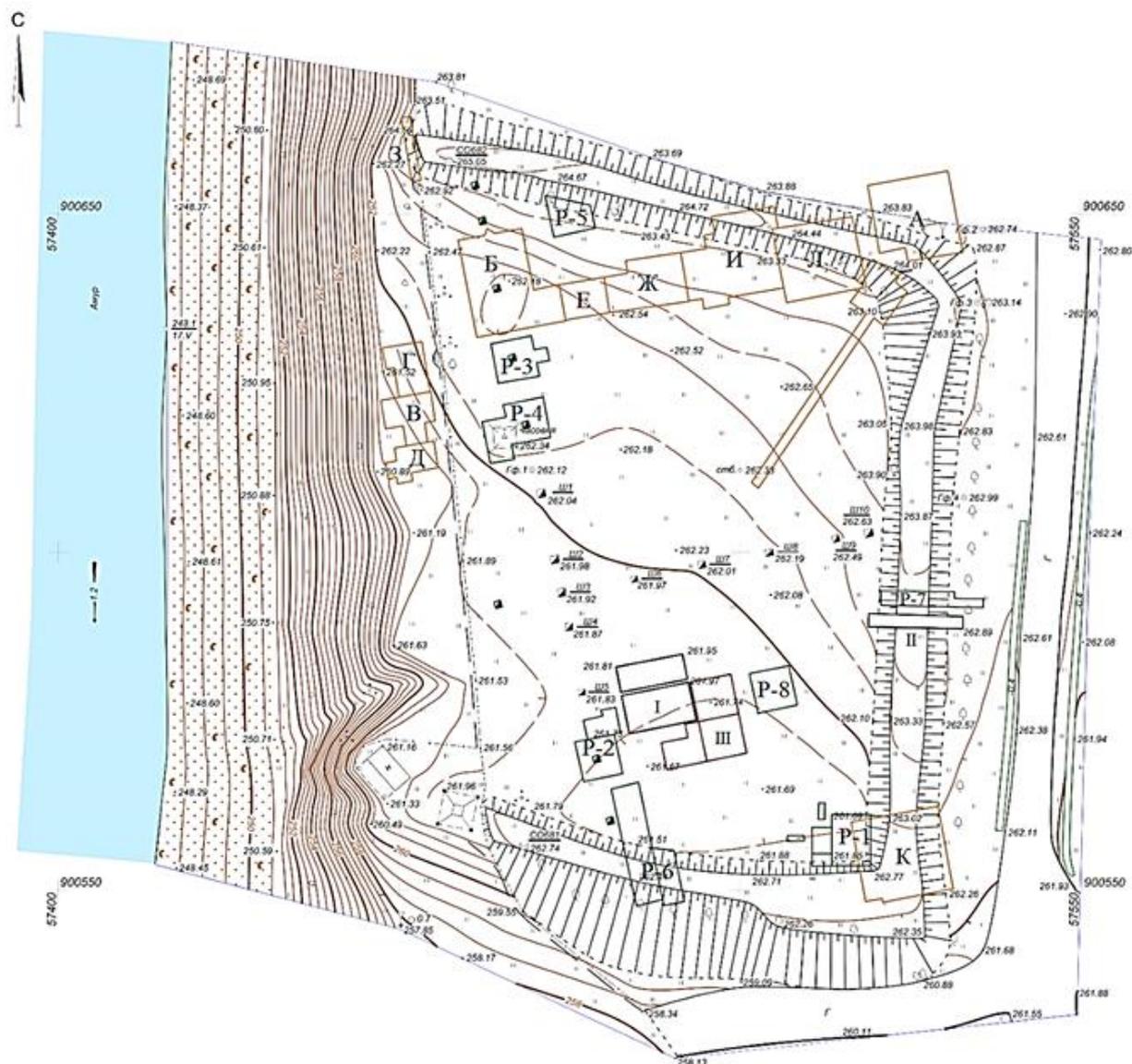


Рисунок 3 – Синтетический топографический план

Среди объектов, относящихся к позднему этапу, выделяются жилые полуземлянки, обнаруженные экспедициями Артемьева и Черкасова. Их стены ориентированы по сторонам света, а размеры схожи, что позволяет предположить использование типовой конструкции.

Для расширения данных авторы включили в анализ первый топографический план острога, составленный Р. Мааком в 1855 году. Согласно его описанию, длина валов составляла 36 и 40 саженей, что коррелирует с современными данными. Ширина стены крепостной ограды, согласно архивным записям, составляла 4 сажени. План Маака не показывает бастионных выступов,

что противоречит карте второй осады, опубликованной Н. Винсеном в 1705 году.

На основе этих данных авторы предложили модель устройства Албазинской крепости. Бастионы, вероятно, были внутренними площадками размером 4х4 сажени, а угловые блокгаузы оставались неизменными. Восточная проездная башня также была реконструирована (рис. 4).

Сравнение расположения полуземлянок на плане Маака и современных раскопах выявило их корреляцию. Землянка из раскопа «В» оказалась внутри крепостной ограды, что уточняет ее расположение (рис. 5).

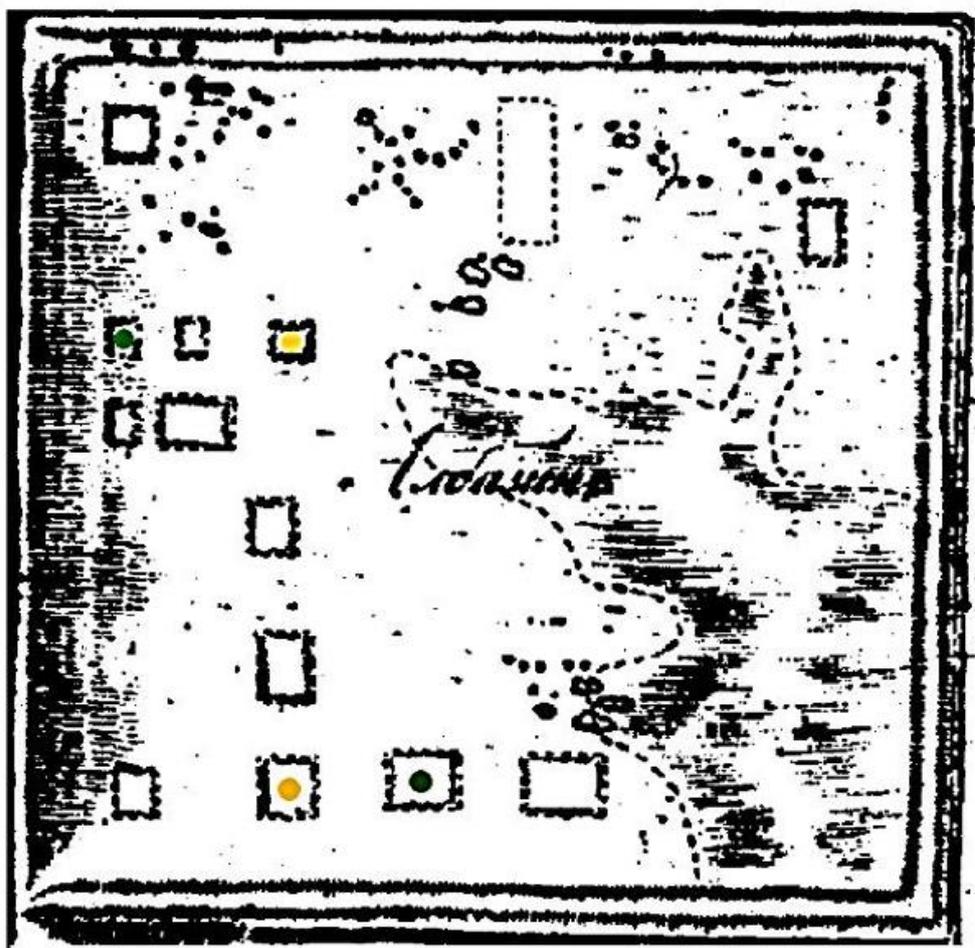


Рисунок 4 – Топографический план, составленный в 1855 году

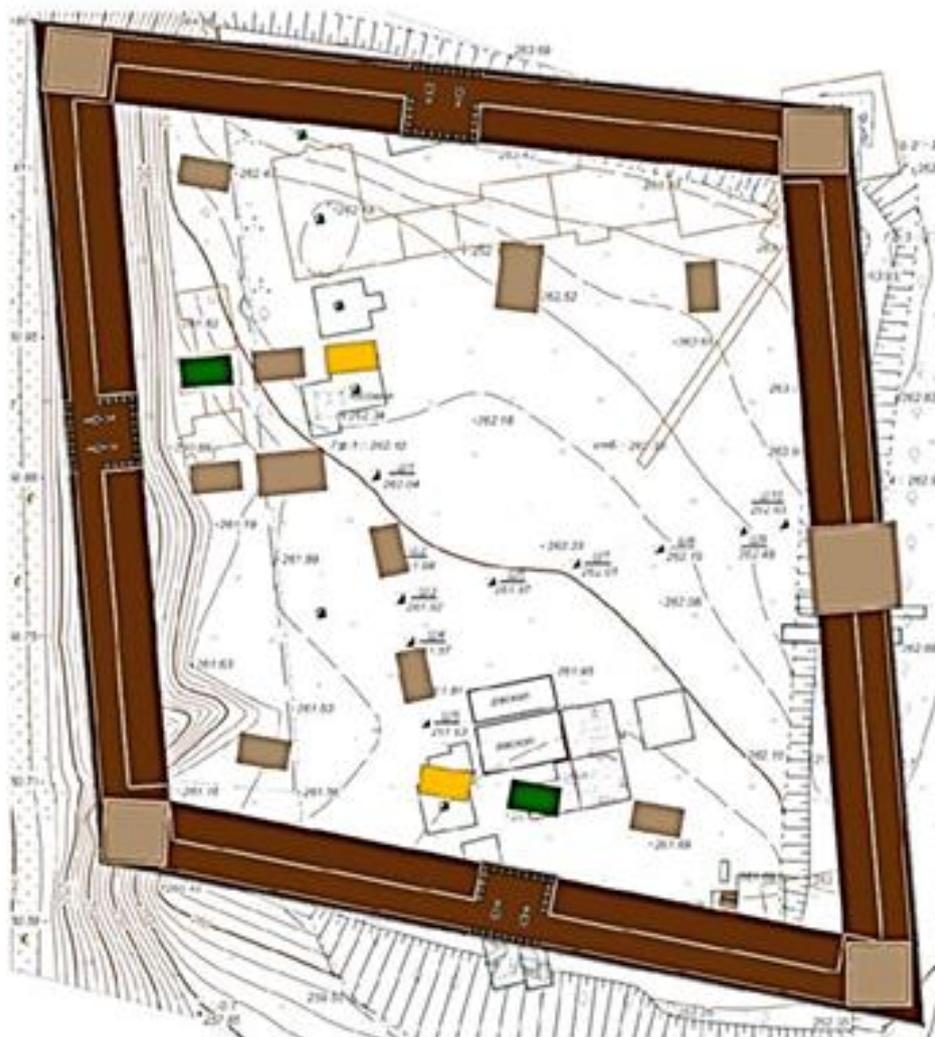


Рисунок 5 – Авторская модель на фоне общего плана раскопок

На момент второй осады Албазина в крепости находилось 826 человек, способных участвовать в обороне, включая 713 военных и остальных – взрослых мужчин из семей крестьян и охотников. Исходя из раскопок жилых полуземлянок, в каждой могло размещаться около 20 человек, что требовало примерно 40 землянок для гарнизона и отдельного жилища для воеводы. Однако из-за необходимости постоянного нахождения защитников на боевых позициях реальное количество жилищ должно было быть вдвое больше.

На топографическом плане городища подтверждено наличие 13 жилых полуземлянок. Для достижения желаемого количества в 21 землянку необходимо определить оптимальное местоположение еще восьми построек, учитывая внутреннюю дорогу крепости и топологию уже выявленных сооружений. Наиболее рациональное решение представлено на рисунке 6.



Рисунок 6 – Гипотетическая модель общего устройства Албазинской крепости 1686 г

1.3 Существующие решения аналогичных задач

Разработка виртуальных 3D-моделей исторических объектов, таких как крепости, замки и другие архитектурные памятники, является важным направлением в области цифрового сохранения культурного наследия. Современные технологии, включая игровые движки, позволяют создавать интерактивные и детализированные реконструкции, которые могут использоваться в образовательных, научных и туристических целях. В данном разделе рассматриваются существующие решения и методы, применяемые для создания виртуальных

3D-моделей, а также их адаптация для разработки модели Албазинской крепости на игровом движке Unity. Сделаю обзор существующих решений.

Пример 1: 3д-модель Албазинского острога Амурского государственного университета (АмГУ), 2015 год (рис. 7). Модель была создана в рамках научно-исследовательского проекта студентами и преподавателями АмГУ с целью использования в учебных целях. Разработка началась со сбора архивных материалов, исторических чертежей и описаний крепости, что позволило воссоздать её внешний облик. Основное внимание уделялось базовым архитектурным элементам: стенам, башням и воротам. Моделирование выполнялось в программе 3ds Max или Blender, где были созданы упрощенные геометрические формы без мелких деталей, таких как деревянные конструкции. Текстуры наносились с использованием простых методов, без применения современных технологий, таких как PBR. Готовая модель была экспортирована в формат, подходящий для просмотра на старых версиях программного обеспечения. Пользователям предоставлялась возможность только вращать модель, без возможности взаимодействия. Несмотря на академическую ценность, модель имеет низкую детализацию и несовместима с современными платформами, что ограничивает её применение.



Рисунок 7 – Проект Амурского государственного университета

Пример 2: Проект исторического музея г. Благовещенска, 2018 год (рис. 8). Эта модель была разработана для демонстрации в музее как часть выставки, посвященной истории Албазинской крепости. Процесс создания начался с анализа исторических карт, археологических данных и описаний ландшафта. Особое внимание уделялось не только самой крепости, но и окружающей среде, включая реку Амур и холмы, чтобы показать исторический контекст. Моделирование выполнялось в программе SketchUp или 3ds Max, где крепость и ландшафт создавались отдельно, а затем интегрировались в единую сцену. Текстуры создавались на основе фотографий реальных материалов, таких как камень и земля. Готовая модель была экспортирована в формат, подходящий для демонстрации через проектор или монитор в музее. Однако она осталась статичной, без интерактивных функций, и не была оптимизирована для онлайн-платформ, что ограничило её доступность для удаленных пользователей.

Пример 3: Модель энтузиастов-историков (форум "История Дальнего Востока"), 2020 год (рис. 9). Модель была создана группой энтузиастов-историков, которые стремились максимально точно воссоздать облик крепости на основе архивных данных, чертежей и археологических находок. Разработка велась в программе Blender или 3ds Max, где особое внимание уделялось мелким деталям, таким как деревянные конструкции и внутренние помещения. Модель получилась высокополигональной, что обеспечило высокую историческую достоверность, но потребовало мощного оборудования для просмотра. Текстуры создавались вручную, что повысило реалистичность, однако модель не была адаптирована для игровых движков или онлайн-платформ. Готовая модель распространялась бесплатно через форум, что сделало её доступной для исследователей и энтузиастов. Несмотря на высокую детализацию, модель не имеет интерактивности и пользовательского интерфейса, что ограничивает её функциональность.



Рисунок 8 – Проект исторического музея

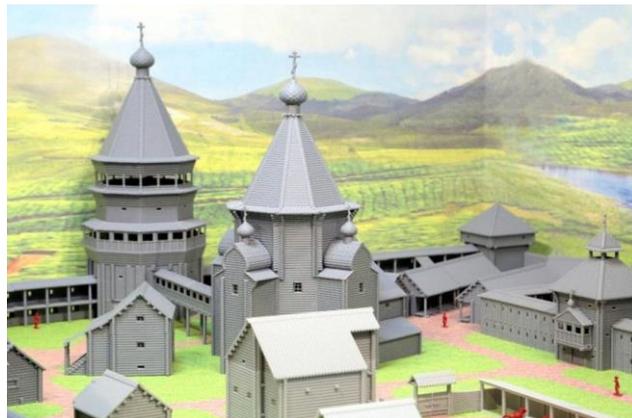


Рисунок 9 – Модель энтузиастов-историков

Пример 4: Профессиональная студия "Digital History" создала интерактивную модель крепости для образовательных целей с использованием современных технологий. Процесс разработки начался со сбора архивных материалов, исторических чертежей и археологических данных. Моделирование выполнялось в Blender или Maya, где применялись технологии PBR для создания реалистичных текстур. После завершения моделирования проект был интегрирован в Unity, что позволило добавить интерактивные функции, такие как исследование объектов, получение информации о них и перемещение по территории крепости. Модель была оптимизирована для работы в реальном

времени, что сделало её совместимой с различными устройствами. Однако доступ к модели ограничен: она доступна только через специальное приложение, что требует лицензии для использования. Высокая стоимость разработки также ограничивает её широкое распространение.

Для создания точной модели необходимо провести тщательный анализ архивных данных, включая карты, чертежи, описания и фотографии. В случае с Албазинской крепостью важным источником информации являются карты Маака и данные археологических раскопок. Это позволит точно воссоздать расположение зданий, стен и других элементов крепости.

Использование данных археологических раскопок позволяет уточнить расположение и конструкцию зданий, а также их внутреннее устройство. Например, данные о жилых полуземлянках Албазинской крепости могут быть использованы для создания точной модели.

Для создания 3D-моделей часто используются программы автоматизированного проектирования (CAD), такие как AutoCAD, SketchUp или Blender. Эти программы позволяют создавать точные геометрические модели, которые затем могут быть импортированы в игровой движок.

В таблице 1 представлен анализ существующих моделей. На основе этого можно сделать вывод, что полноценной интерактивной модели Албазинской крепости, доступной широкой аудитории, на данный момент не существует. Все рассмотренные модели имеют значительные ограничения: от низкой детализации и устаревших технологий до высокой нагрузки на систему и закрытого доступа.

Отсутствие единой модели, объединяющей высокую историческую достоверность, детализацию, интерактивность и доступность, делает разработку новой модели актуальной. Албазинская крепость является важным памятником культурного наследия России, символизирующим освоение Дальнего Востока, однако её цифровая реконструкция остается недостаточно изученной и реализованной.

Новая модель должна быть универсальной, подходящей для образовательных целей, туризма и научных исследований. Она должна предоставлять возможность не только визуализировать крепость, но и взаимодействовать с ней, получая информацию о её элементах. При этом важно обеспечить оптимизацию под современные платформы, включая онлайн-доступ и совместимость с игровыми движками, такими как Unity.

Таблица 1 – Анализ существующих моделей

Критерий	Модель АмГУ (2015)	Проект музея Благовещенска (2018)	Модель энтузиастов (2020)	Проект "Digital History" (2021)
Цель	Образовательная	Туристическая	Историческая реконструкция	Образовательная
Детализация	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Интерактивность	Только вращение	Отсутствует	Отсутствует	Полная (перемещение, информация)
Историческая достоверность	Умеренная	Умеренная	Высокая	Высокая
Оптимизация под платформы	Устаревшие технологии	Не оптимизирована	Не оптимизирована	Совместима с Unity
Доступность	Открытая	Открытая	Открытая	Закрытая
Нагрузка на систему	Низкая	Средняя	Высокая	Оптимизирована

Таким образом, предлагается создать интерактивную 3D-модель Албазинской крепости, основанную на архивных данных, чертежах и

археологических находках XVII века. Модель должна включать все ключевые элементы крепости и окружающий ландшафт, использовать современные технологии, такие как PBR, для создания реалистичных текстур, и предоставлять пользователям возможность свободно перемещаться по территории, выбирая объекты для получения информации. Создание низкополигональной версии обеспечит работу на слабых устройствах, а открытый доступ сделает её доступной для широкой аудитории.

Новая модель станет первой полноценной интерактивной реконструкцией Албазинской крепости XVII века, объединяющей преимущества всех существующих моделей и устраняющей их недостатки. Она заполнит пробел в области цифровой реконструкции исторических объектов и станет универсальным инструментом для популяризации культурного наследия, образования и научных исследований.

2 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

2.1 Общая схема работы

Виртуальная реконструкция исторических объектов, таких как Албазинская крепость, представляет собой сложный процесс, требующий применения современных технологий и методик. Ниже на рисунке 10 представлена блок-схема общей схемы работы.

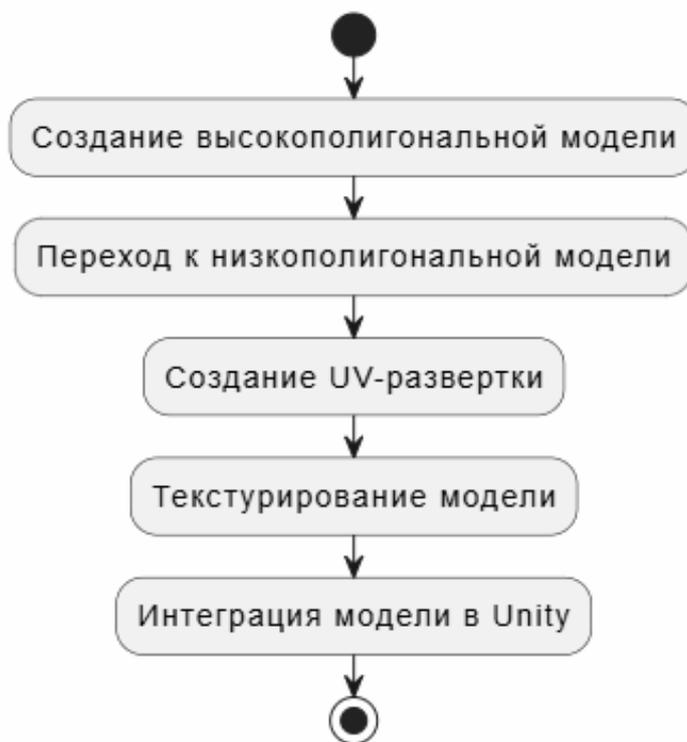


Рисунок 10 – Общая схема работы

Блок-схема отражает общий процесс создания виртуальной модели Албазинской крепости, начиная с первоначального этапа разработки и заканчивая её интеграцией в игровой движок Unity. Процесс стартует с создания высокополигональной модели, которая служит основой для максимально точной передачи геометрии и мельчайших деталей исторического объекта. Далее выполняется переход к низкополигональной модели, что подразумевает оптимизацию геометрии, создание карт нормалей и освещения, а также улучшение текстур для снижения нагрузки на вычислительные ресурсы без потери визуального качества. На следующем этапе создаётся UV-развертка, обеспечивающая корректное расположение текстур на поверхности модели. После этого

осуществляется текстурирование, где используются современные технологии, такие как PBR-материалы, для придания модели реалистичного внешнего вида. Завершающим этапом является интеграция модели в Unity, где проводится настройка материалов, освещения, добавление интерактивных элементов и оптимизация производительности для обеспечения плавной работы проекта на различных платформах. Конечным результатом становится интерактивная и оптимизированная модель Албазинской крепости, готовая к использованию в образовательных, научных и туристических целях. Каждый этап схемы логически связан с предыдущим и последующим, что подчеркивает системный подход к реализации проекта и достижению баланса между визуальной достоверностью и технической эффективностью.

2.2 Обзор программного обеспечения

Создание виртуальной модели Албазинской крепости на базе игрового движка Unity – это сложный и многогранный процесс, который требует использования специализированного программного обеспечения на различных этапах разработки. От выбора инструментов зависит не только качество итогового продукта, но и эффективность работы над проектом, а также возможность реализации всех поставленных задач, таких как создание реалистичной 3D-модели, текстурирование, интеграция в игровой движок и обеспечение интерактивности для пользователей.

В данной главе будет проведен обзор программного обеспечения, которое может быть использовано для 3D-моделирования, текстурирования, а также для реализации виртуальной реальности и работы с игровыми движками. Особое внимание будет уделено программам, которые были выбраны для данного проекта: Blender для 3D-моделирования и Unity в качестве игрового движка. Также будет обоснован выбор программы для 3D-текстурирования, которая обеспечивает высокое качество текстур и материалов, необходимых для исторической реконструкции.

Виртуальная модель Албазинской крепости, созданная на базе Unity, должна быть не только визуально привлекательной, но и оптимизированной

для работы в реальном времени. Это особенно важно для проектов, которые предполагают использование в образовательных целях, виртуальных турах или интерактивных приложениях. Поэтому выбор программного обеспечения играет ключевую роль в успешной реализации проекта.

В данном разделе будут рассмотрены следующие категории программного обеспечения: программы для 3D-моделирования: Blender, Autodesk 3ds Max, Maya; программы для 3D-текстурирования: Adobe Photoshop, Substance Painter, GIMP; игровые движки и средства виртуальной реальности: Unity, Unreal Engine.

Для каждой категории будут описаны основные функции, достоинства и недостатки программ.

Программное обеспечение для 3D-моделирования.

Blender – это бесплатное и открытое программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации, рендеринга и постобработки. Оно поддерживает весь цикл создания 3D-контента, включая моделирование, скульптинг, текстурирование, анимацию и симуляции. Blender активно используется как профессионалами, так и любителями благодаря своей гибкости и мощному функционалу (рис. 11).

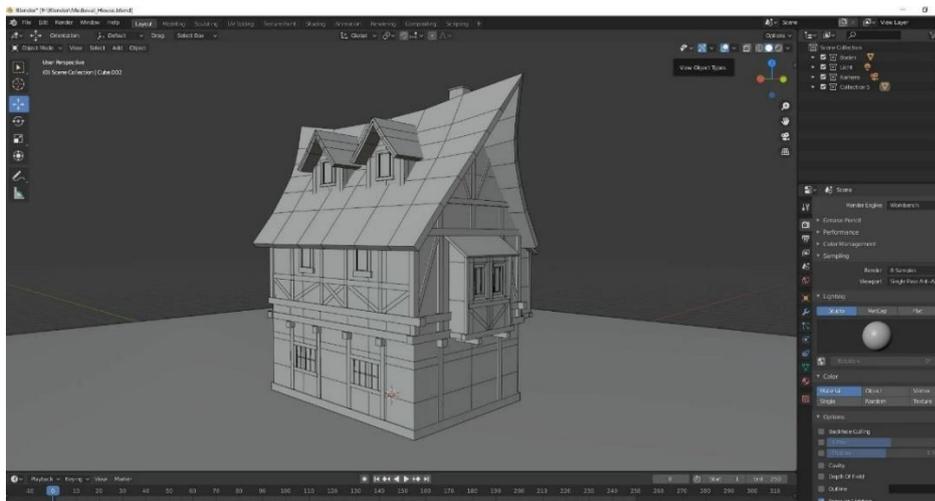


Рисунок 11 – Blender

Достоинства:

- бесплатность и открытый исходный код;
- поддержка всех этапов создания 3d-контента;

- широкий набор инструментов для моделирования, включая полигональное моделирование, скульптинг и nurbS;
- поддержка большого количества форматов файлов (obj, fbx, stl и др.);
- активное сообщество и регулярные обновления;
- встроенный движок для рендеринга cycles, поддерживающий реалистичную визуализацию;
- возможность создания сложных анимаций и симуляций, таких как жидкости, дым и ткани.

Недостатки:

- сложность интерфейса для новичков;
- меньшая интеграция с профессиональными pipelines по сравнению с коммерческими аналогами;
- ограниченная поддержка некоторых специализированных функций, таких как продвинутые инструменты для архитектурной визуализации.

3ds Max – это профессиональное программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации и визуализации. Оно широко используется в игровой индустрии, архитектуре и кинопроизводстве. 3ds Max предлагает мощные инструменты для создания сложных моделей и анимаций (рис. 12).



Рисунок 12 – Autodesk 3ds Max

Достоинства:

- высокое качество инструментов для моделирования и анимации;
- широкая интеграция с другими продуктами autodesk (maya, autocad);
- поддержка плагинов для расширения функционала;
- широкое использование в индустрии;
- мощные инструменты для архитектурной визуализации и создания сложных сцен.

Недостатки:

- высокая стоимость лицензии;
- сложность освоения для начинающих;
- требовательность к ресурсам компьютера;
- ограниченная поддержка открытых форматов файлов по сравнению с blender.

Маю – это профессиональное программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации и визуализации, разработанное Autodesk. Оно широко используется в киноиндустрии, игровой разработке и создании визуальных эффектов (рис. 13).

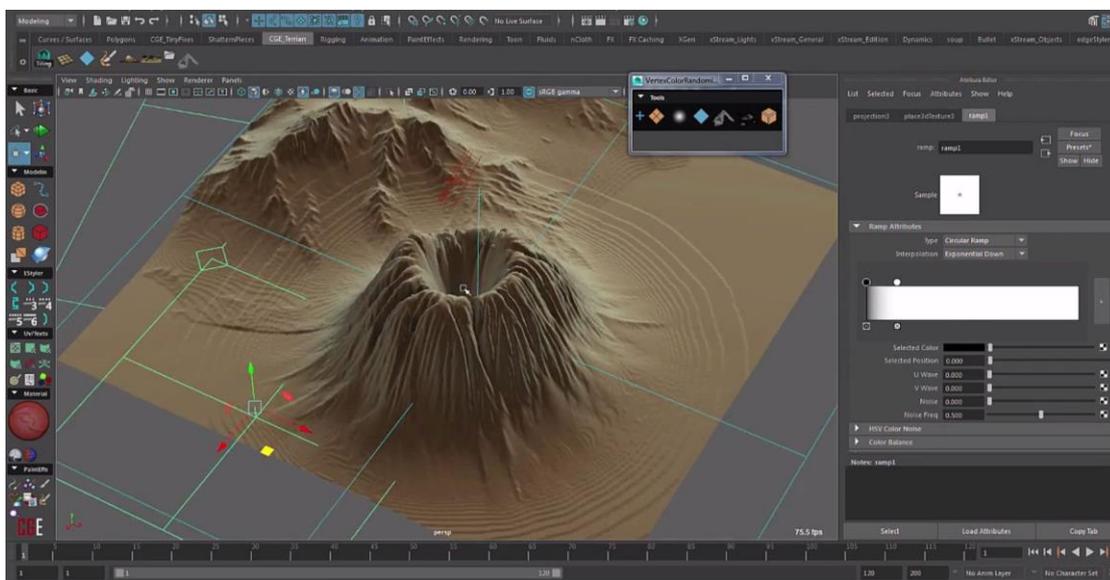


Рисунок 13 – Маюа

Достоинства:

- мощные инструменты для анимации и симуляции;
- широкая интеграция с другими продуктами autodesk;

- поддержка сложных проектов и высокополигональных моделей;
- высокое качество инструментов для создания персонажей и анимации;

Недостатки:

- высокая стоимость лицензии;
- сложность интерфейса;
- требовательность к ресурсам компьютера;
- ориентация на профессиональные студии, что делает её менее доступной для небольших проектов.

Для 3D-моделирования был выбран Blender благодаря своей бесплатности, открытости и широкому набору инструментов, которые охватывают все этапы создания 3D-контента. Активное сообщество и регулярные обновления делают его надежным выбором, а поддержка экспорта в форматы, совместимые с Unity, упрощает интеграцию модели в игровой движок. Хотя 3ds Max и Maya предлагают более продвинутые инструменты для архитектурной визуализации, их высокая стоимость и сложность освоения делают их менее подходящими для данного проекта.

Программное обеспечение для 3D-текстурирования.

Adobe Photoshop – это профессиональный графический редактор, который широко используется для создания и редактирования текстур. Хотя Photoshop не является специализированным инструментом для 3D-текстурирования, он позволяет создавать высококачественные текстуры и редактировать UV-развертки (рис. 14).

Достоинства:

- широкий набор инструментов для работы с изображениями;
- поддержка слоев и масок для сложного редактирования;
- интеграция с другими продуктами adobe;
- возможность создания текстур с высокой детализацией.

Недостатки:

- отсутствие специализированных инструментов;
- высокая стоимость лицензии;
- ограниченная поддержка pbr-материалов.

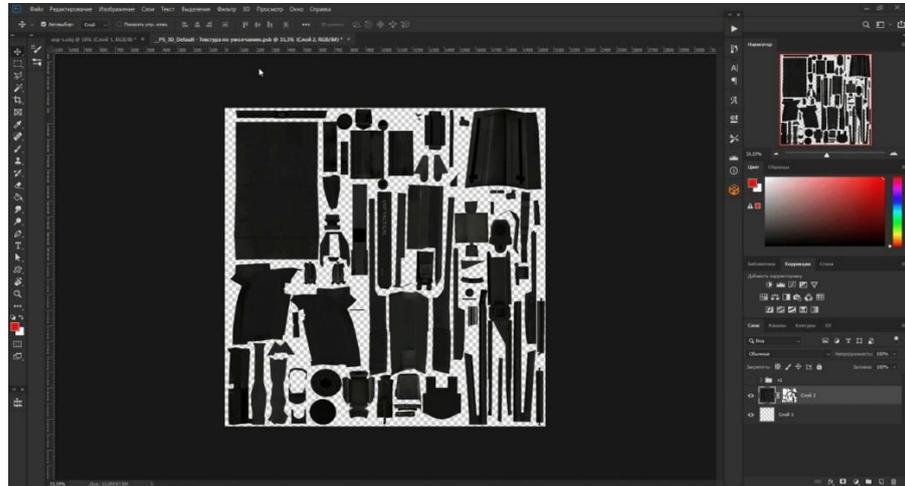


Рисунок 14 – Adobe Photoshop

Substance Painter – это профессиональный инструмент для 3D-текстурирования, который позволяет создавать реалистичные текстуры с использованием PBR (Physically Based Rendering) материалов. Программа широко используется в игровой индустрии и кино (рис. 15).

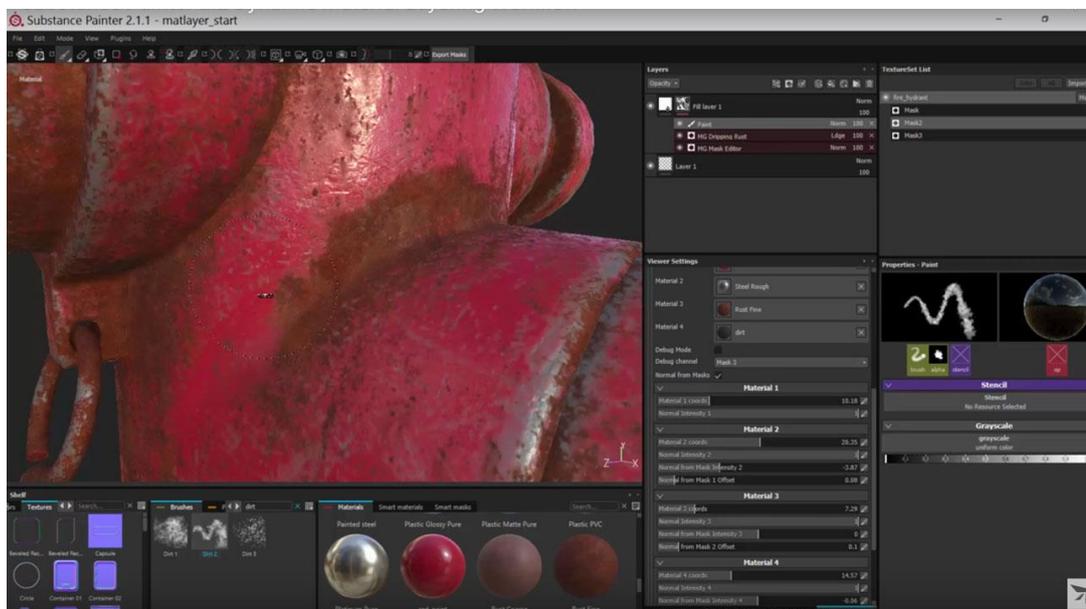


Рисунок 15 – Substance Painter

Достоинства:

- мощные инструменты для создания pbr-материалов;

- поддержка смарт-материалов, которые автоматически адаптируются к форме модели;
- интеграция с большинством 3d-редакторов и игровых движков;
- возможность работы с uv-развертками и создание текстур в реальном времени;
- поддержка экспорта текстур в форматы, совместимые с unity и unreal engine.

Недостатки:

- высокая стоимость лицензии;
- требовательность к ресурсам компьютера;
- необходимость обучения для эффективного использования всех функций.

GIMP – это бесплатный графический редактор с открытым исходным кодом. Он предлагает базовые инструменты для создания и редактирования текстур, но уступает профессиональным решениям (рис. 16).

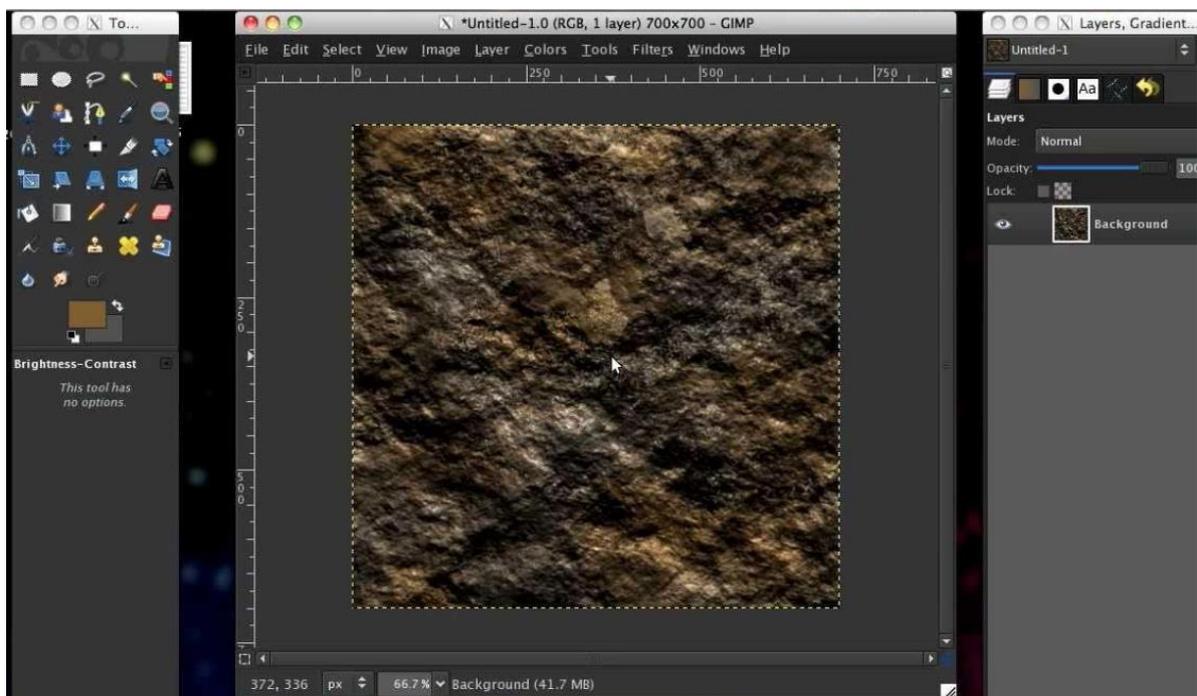


Рисунок 16 – GIMP

Достоинства:

- бесплатность и открытый исходный код;

- поддержка базовых инструментов для работы с текстурами;
- возможность создания простых текстур и редактирования uv-разверток.

Недостатки:

- отсутствие специализированных инструментов для 3d-текстурирования;
- меньшая функциональность по сравнению с photoshop и substance painter;
- ограниченная поддержка pbr-материалов.

Substance Painter был выбран для текстурирования благодаря своей мощной поддержке PBR-материалов, что позволяет создавать реалистичные текстуры. Программа также предлагает смарт-материалы, автоматически адаптирующиеся к форме модели, что значительно ускоряет процесс работы. Интеграция с Unity и поддержка экспорта текстур в совместимые форматы делают её идеальным выбором. Adobe Photoshop и GIMP не обладают специализированными инструментами для 3D-текстурирования, что ограничивает их использование в данном контексте.

Средства виртуальной реальности и игровые движки.

Unity – это мощный игровой движок, который широко используется для создания игр, виртуальной реальности и интерактивных приложений. Unity поддерживает множество платформ, включая ПК, мобильные устройства и VR-гарнитуры (рис. 17).

Достоинства:

- поддержка множества платформ;
- удобный интерфейс и обширная документация;
- широкая поддержка сообщества и активное развитие;
- интеграция с большинством 3d-редакторов;
- возможность создания интерактивных приложений и виртуальных туров.

Недостатки:

- ограниченные возможности для создания фотореалистичной графики по сравнению с unreal engine;
- необходимость покупки лицензии для коммерческого использования;
- ограниченная поддержка некоторых продвинутых графических эффектов.

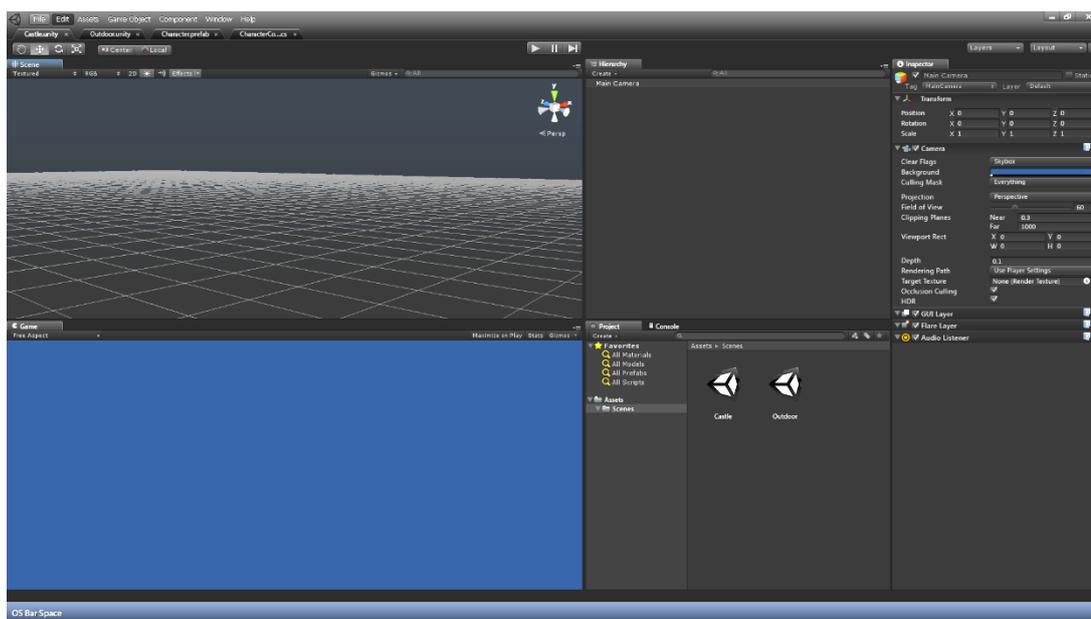


Рисунок 17 – Unity

Unreal Engine – это профессиональный игровой движок, разработанный Epic Games. Он широко используется для создания виртуальной реальности и кинематографических проектов (рис. 18).

Достоинства:

- высокое качество графики и поддержка фотореалистичного рендеринга;
- мощные инструменты для создания сложных визуальных эффектов;
- бесплатность для некоммерческих проектов;
- поддержка продвинутых графических технологий, таких как ray tracing.

Недостатки:

- сложность освоения для начинающих;

- высокая требовательность к ресурсам компьютера;
- ограниченная поддержка некоторых платформ.



Рисунок 18 – Unreal Engine

Unity был выбран как игровой движок благодаря своей универсальности и поддержке множества платформ, включая ПК, мобильные устройства и VR-гарнитуры. Удобный интерфейс, обширная документация и активное сообщество упрощают процесс разработки. Возможность создания интерактивных приложений и виртуальных туров соответствует требованиям проекта. Unreal Engine предлагает более высокое качество графики, но его сложность освоения и высокая требовательность к ресурсам делают его менее подходящим для проекта, ориентированного на образовательные цели.

В таблице 2 представлены достоинства и недостатки выбранного ПО. Выбор программного обеспечения для создания виртуальной модели Албазинской крепости был основан на требованиях проекта, доступности инструментов и их функциональности. Blender был выбран для 3D-моделирования благодаря своей бесплатности и мощному функционалу. Substance Painter стал оптимальным решением для текстурирования благодаря поддержке PBR-материалов и интеграции с Unity. Unity был выбран в качестве игрового движка благодаря своей универсальности, поддержке VR и удобству использования.

Таблица 2 – Выбранное ПО

Про- грамма	Достоинства	Недостатки
Blender	Поддержка всех этапов создания 3D-контента. Активное сообщество и регулярные обновления. Экспорт в форматы, совместимые с Unity.	Сложный интерфейс для новичков. Ограниченная поддержка некоторых специализированных функций.
Substance Painter	Мощные инструменты для создания PBR-материалов. Поддержка смарт-материалов. Интеграция с Unity и другими игровыми движками. Возможность работы с UV-развертками в реальном времени.	Высокая стоимость лицензии. Требовательность к ресурсам компьютера. Необходимость обучения для эффективного использования.
Unity	Поддержка множества платформ. Удобный интерфейс и обширная документация. Широкое сообщество и активное развитие. Интеграция с большинством 3D-редакторов.	Ограниченная поддержка некоторых продвинутых графических эффектов.

2.3 Детальная схема работы

Создание виртуальной модели Албазинской крепости на базе игрового движка Unity – это многоэтапный процесс, который требует тщательной проработки каждого этапа, начиная с создания высокополигональной модели и заканчивая её интеграцией в игровой движок [6].

Высокополигональная модель Албазинской крепости создается с использованием программного обеспечения для 3D-моделирования Blender. Эта модель содержит большое количество полигонов, что позволяет максимально точно передать геометрию и детали объекта. Однако такая модель не подходит

для использования в игровых движках из-за высоких требований к вычислительным ресурсам. Поэтому следующим этапом является её оптимизация.

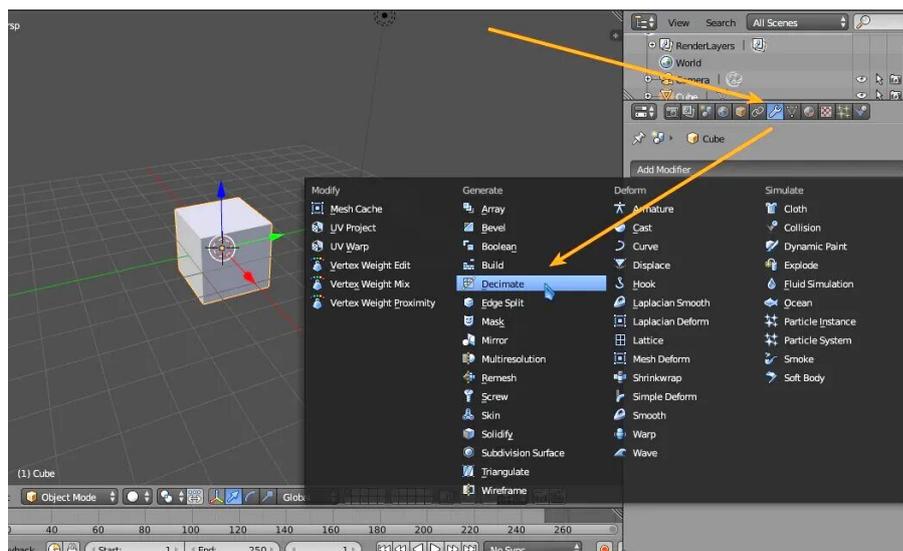


Рисунок 19 – Инструмент decimate modifier

Основные этапы перехода к низкополигональной модели.

Первый этап. Оптимизация геометрии. Первым шагом в создании низкополигональной модели является оптимизация геометрии. Это включает в себя уменьшение количества полигонов при сохранении основных форм и пропорций объекта. В Blender используются инструменты для уменьшения количества полигонов, такие как Decimate Modifier, который позволяет сохранить основные формы объекта при значительном снижении количества полигонов. (рис. 19).

Второй этап. Создание карт нормалей и карт освещения. Одной из ключевых задач при переходе к низкополигональной модели является сохранение визуальной детализации. Карта нормалей позволяет имитировать мелкие детали, такие как неровности на поверхности камня или дерева, без необходимости использования большого количества полигонов. В Blender создается высокополигональная версия модели, которая используется для генерации карты нормалей. Эта карта затем применяется к низкополигональной модели, что позволяет имитировать мелкие детали, такие как неровности на поверхности камня или дерева, без увеличения количества полигонов. Это позволяет избежать необходимости вычисления сложных световых эффектов в реальном

времени, что значительно снижает нагрузку на графический процессор.

Третий этап. Оптимизация текстур. Для оптимизации текстур используются несколько подходов:

- уменьшение разрешения текстур: высококачественные текстуры, созданные для высокополигональной модели, могут быть уменьшены в размере без значительной потери качества;
- атласирование текстур: несколько текстур могут быть объединены в одну большую текстуру, что позволяет снизить количество вызовов к графическому процессору;
- использование форматов сжатия: современные игровые движки поддерживают сжатие текстур, что позволяет уменьшить их объем без значительной потери качества.

UV-развертка – это процесс "разворачивания" 3D-модели на 2D-плоскость для наложения текстур (рис. 20). Это важный этап, который позволяет точно нанести текстуры на модель, сохраняя пропорции и детализацию.

В Blender UV-развертка создается с использованием инструментов, таких как UV Editing. Модель разделяется на отдельные части, которые затем "разворачиваются" на 2D-плоскость. Важно, чтобы UV-развертка была максимально эффективной, чтобы избежать искажений текстур и минимизировать пустое пространство на текстуре.

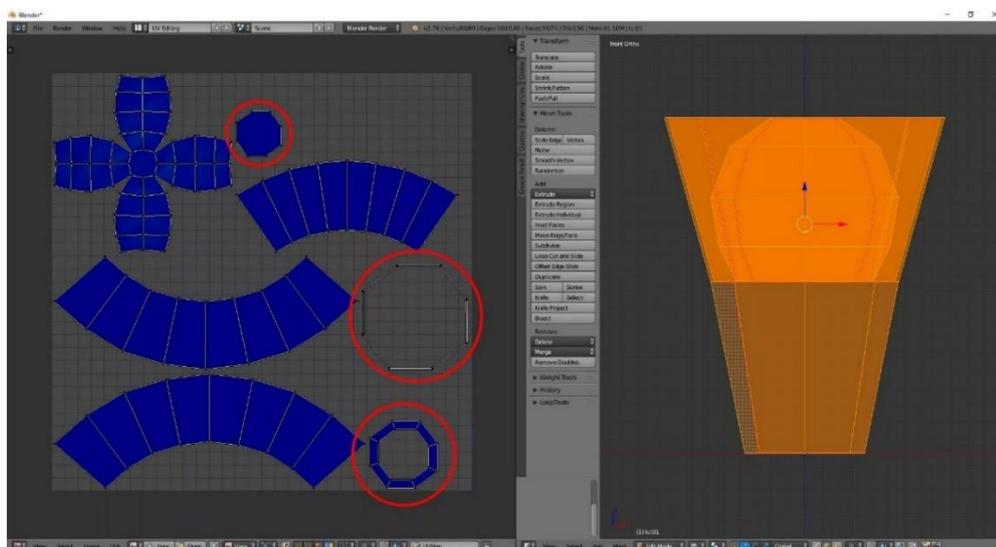


Рисунок 20 – UV-развертка в blender

Для оптимизации UV-разверток используются такие методы, как автоматическое разворачивание (Unwrap) и ручная корректировка. Это позволяет добиться равномерного распределения текстур и избежать наложения UV-координат, что может привести к визуальным артефактам.

Для текстурирования модели Албазинской крепости был выбран Substance Painter. Это профессиональный инструмент для создания PBR-материалов, который позволяет создавать реалистичные текстуры с учетом освещения и отражений (рис. 21).

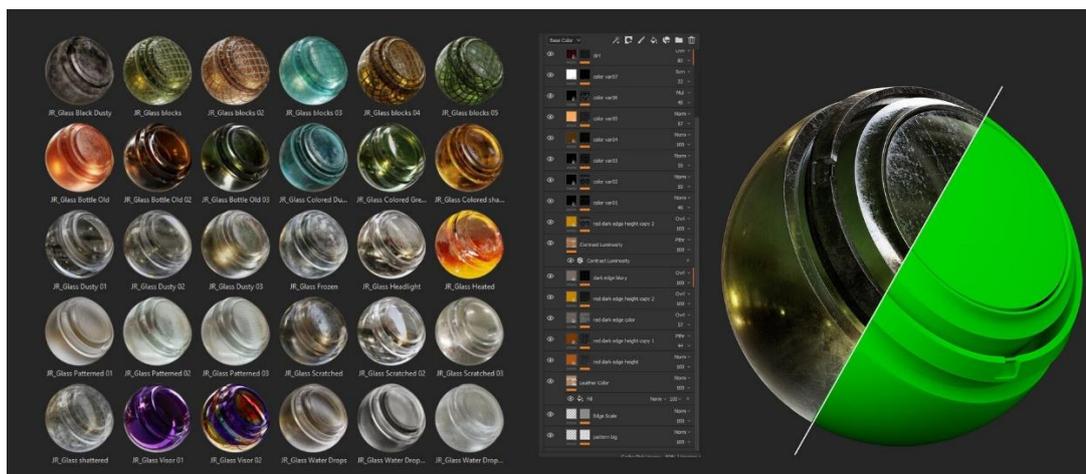


Рисунок 21 – Смарт-материалы в substance painter

В Substance Painter текстуры создаются с использованием смарт-материалов, которые автоматически адаптируются к форме модели. Это позволяет быстро наносить текстуры на различные части модели, такие как стены, башни и деревянные элементы. Также используются ручные инструменты для добавления деталей, таких как трещины, сколы и грязь, что делает текстуры более реалистичными.

После завершения текстурирования текстуры экспортируются в форматы, совместимые с Unity, такие как Albedo, Normal, Roughness и Metallic. Это позволяет использовать PBR-материалы в игровом движке, что значительно повышает визуальное качество модели.

Низкополигональная модель с текстурами импортируется в Unity. Для этого используется формат FBX, который поддерживает как геометрию модели, так и UV-развертки. Важно убедиться, что все текстуры корректно

связаны с материалом модели.

В Unity создаются материалы с использованием импортированных текстур. Настройка материалов включает в себя назначение карт Albedo, Normal, Roughness и Metallic (рис. 22). Это позволяет добиться реалистичного отображения модели с учетом освещения и отражений. В Unity добавляются интерактивные элементы, такие как возможность перемещения по модели, информационные панели и маркеры. Это позволяет пользователю не только рассматривать модель, но и получать дополнительную информацию о её элементах.

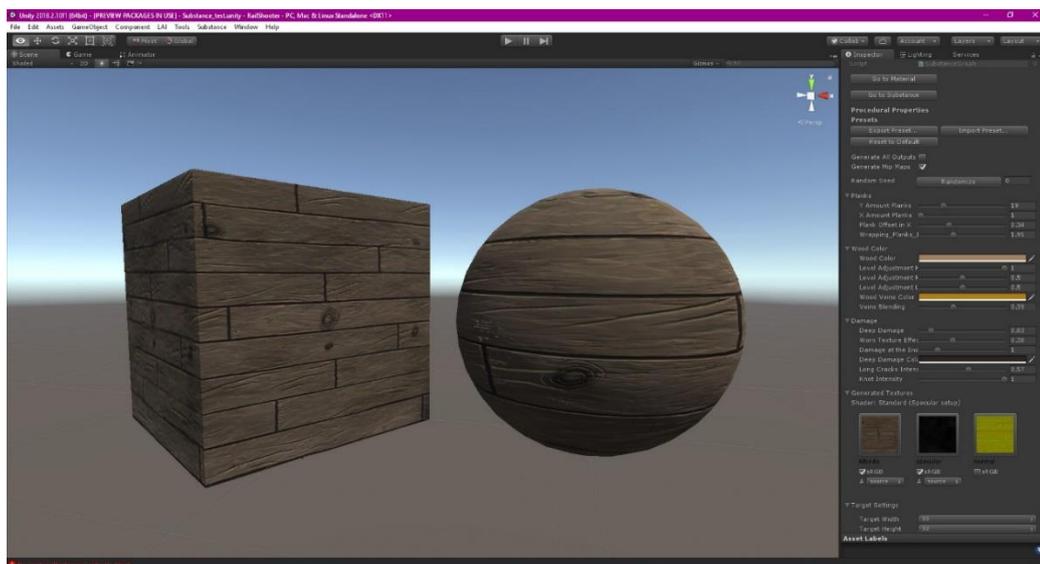


Рисунок 22 – Материалы в Unity

Конечный результат проекта – это виртуальная модель Албазинской крепости, которая сочетает в себе высокое визуальное качество и оптимизацию для работы в реальном времени. Благодаря использованию PBR-материалов и карт нормалей, модель выглядит реалистично, сохраняя при этом низкое количество полигонов [7].

Детальная схема работы над виртуальной моделью Албазинской крепости включает в себя несколько ключевых этапов: перевод модели из высокополигональной в низкополигональную, создание UV-разверток, текстурирование и перенос модели в Unity. Конечный результат проекта – это оптимизированная и интерактивная модель крепости. Она может быть использована для образовательных целей, виртуальных туров и научных исследований, что делает её ценным вкладом в сохранение культурного наследия.

3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

3.1 Подготовка 3D модели

Создание качественной и реалистичной 3D-модели является ключевым этапом в разработке интерактивного проекта, такого как реконструкция Албазинской крепости. Для реализации этой задачи был выбран Blender – мощный инструмент для 3D-моделирования, текстурирования и подготовки моделей к экспорту в игровой движок Unity. Этот выбор обусловлен рядом факторов, включая бесплатность программы, её открытый исходный код, широкие возможности для создания контента и активную поддержку сообщества.

В рамках данного раздела будут подробно рассмотрены основные этапы работы в Blender: от детализации модели до её оптимизации и подготовки к дальнейшему текстурированию и интеграции в Unity. Особое внимание уделяется созданию UV-развёрток, назначению материалов и переводу модели в низкополигональный формат, что позволяет добиться баланса между детализацией и производительностью в конечном продукте.

3.1.1 Доработка 3D модели

В ходе работы в Blender была выполнена детализация ключевых объектов Албазинской крепости, включая жилые дома, защитный забор и дверные конструкции. Особое внимание уделялось воссозданию архитектурных особенностей XVII века с использованием инструментов и функций Blender для создания высокодетализированных моделей. Процесс работы:

Первый этап. Работа с деревянными конструкциями:

Для имитации деревянных бревен, из которых состояли стены и забор, использовались инструменты Array Modifier (массив) и Curve Modifier (кривая). Это позволило создать равномерно расположенные бревна, следующие по заданной траектории.

Текстуры древесины были смоделированы с помощью инструмента Displacement Map для придания поверхности естественной шероховатости.

Второй этап. Детализация забора:

Забор был создан как отдельный объект, состоящий из вертикальных столбов и верёвки. Для этого использовались инструменты Knife Tool (нож) и Loop Cut (разрез по петле), чтобы добавить необходимые разрезы и уточнить форму.

Столбы забора усиливались дополнительными деталями, такими как укосины и опоры, что достигалось с помощью инструмента Boolean Modifier (булевы операции). Столбы забора представлены на рисунке 23.

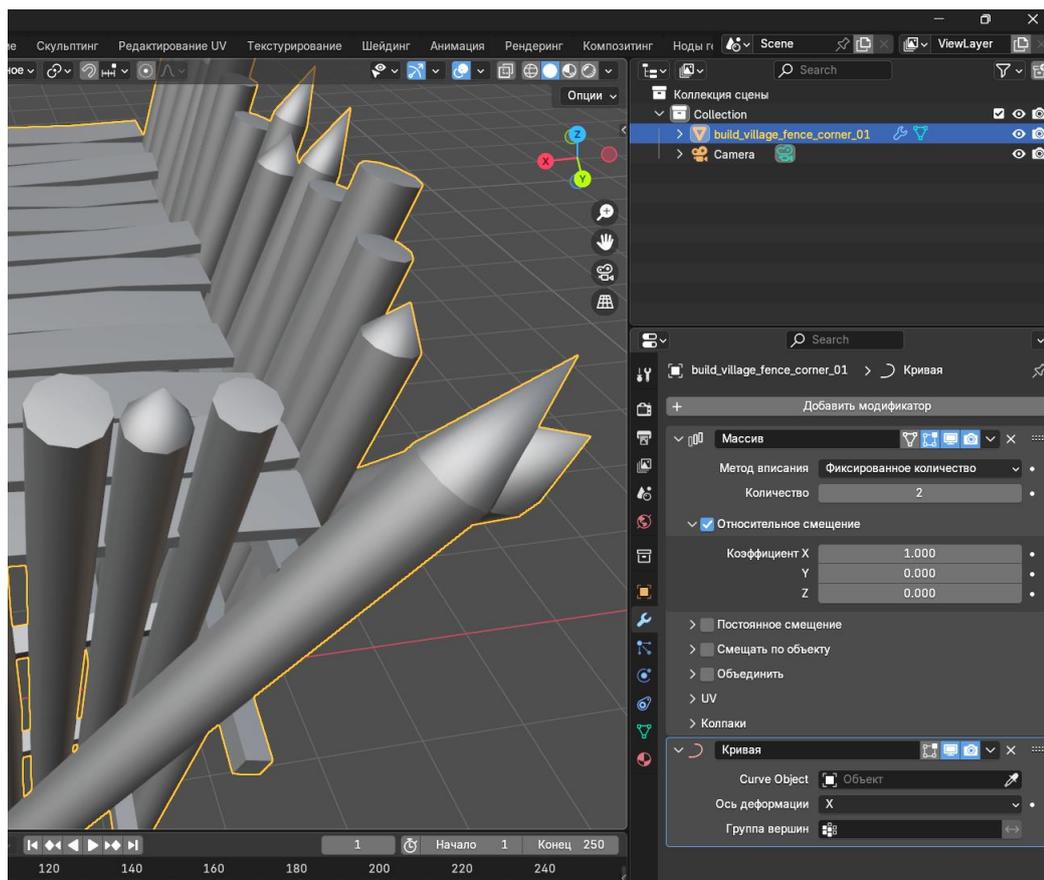


Рисунок 23 – Столбы забора

Третий этап. Моделирование дверей:

Двери были созданы как отдельные объекты, состоящие из рамы и полотна. Для рамы использовались инструменты «Bevel» и «Edge Crease», чтобы придать ей более реалистичный вид.

Полотна дверей детализировались с помощью инструментов «Subdivision Surface Modifier» (модификатор подразделения поверхностей) и «Weighted Normals», что позволило добиться гладкой, но при этом четко очерченной поверхности (рис. 24).

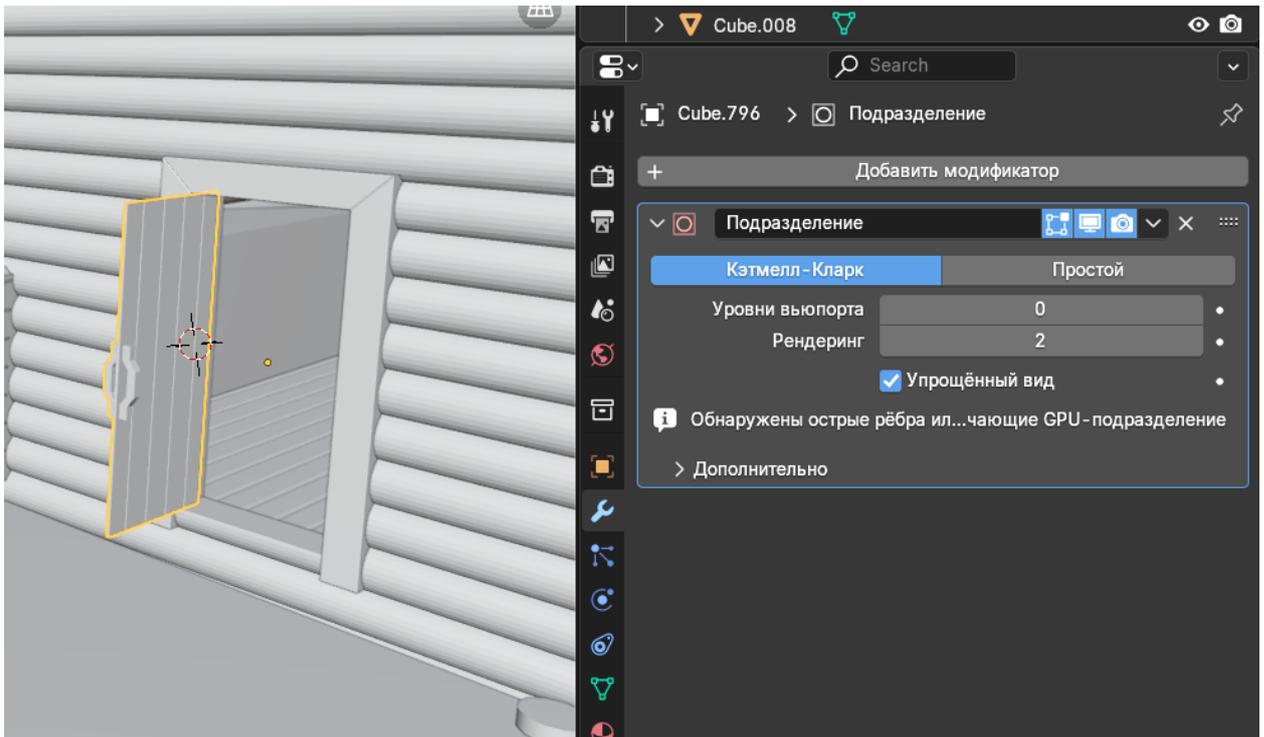


Рисунок 24 – Полотна дверей

3.1.2 Создание развёрток, назначение материалов

Для создания UV-развёрток использовались следующие инструменты и методы.

Первый метод. Переключение в режим редактирования UV-развёрток осуществлялось через специальный рабочий стол Blender (UV Editing). Этот режим позволяет одновременно видеть модель и её UV-карту.

Второй метод. Unwrap (Разворачивание). Основной инструмент для создания развёрток. Применялись различные методы развёртки:

- «smart uv project»: автоматическое создание uv-развёрток для сложных объектов, таких как дома и забор;
- «seam (швы)»: ручное добавление швов на модель для контроля того, как она будет разворачиваться. швы размещались в местах, где они менее заметны (например, по углам стен или вдоль балок);
- «lightmap pack»: использовался для небольших деталей, таких как двери и окна, чтобы минимизировать перекрытие uv-элементов.

Для проверки качества uv-развёрток применялась тестовая текстура. Это позволило выявить искажения и неравномерное распределение текстур.

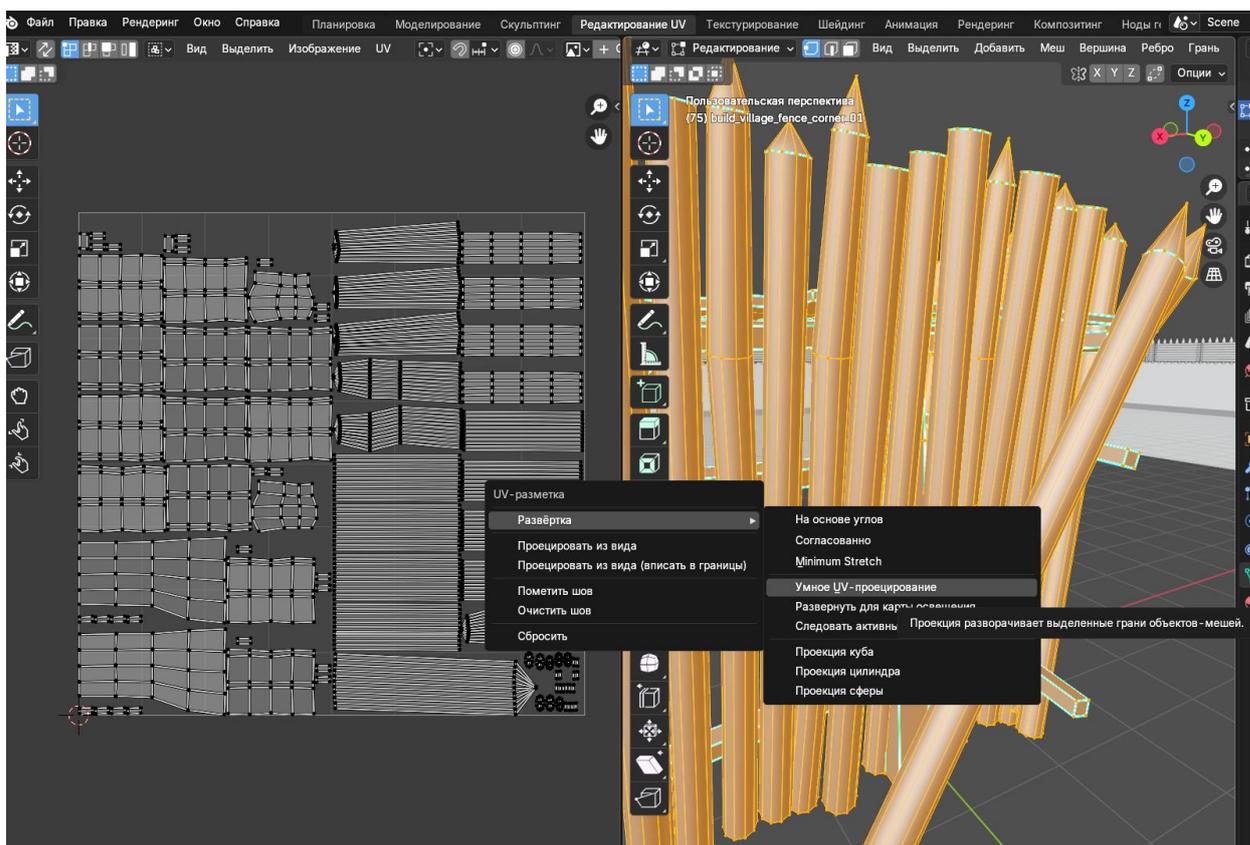


Рисунок 25 – Uv-развертка части забора

После создания развёртки их масштабировала и поворачивала для максимального использования текстурного пространства («texture space»). Это помогло избежать потери качества текстур (рис. 25).

Использовалась функция минимизации растяжения («Minimize Stretch») для уменьшения искажений текстур на криволинейных поверхностях, таких как крыши и арочные элементы.

После завершения создания UV-развёрток был выполнен процесс назначения материалов на объекты. Для назначения материалов использовался режим редактирования (Edit Mode) в Blender. Выделение полигонов осуществлялось с помощью инструментов выбора, таких как Face Select (выбор граней). После выбора нужных граней материал присваивался через панель Material Properties, где из списка материалов выбирался соответствующий вариант. Для применения материала к выделенным граням использовалась кнопка Assign (Присвоить).

Каждому объекту (например, стены, крыши, заборы) были назначены

уникальные материалы, соответствующие их функциональному и визуальному назначению (рис. 26). Для сложных объектов, таких как дома, материалы распределялись по группам.

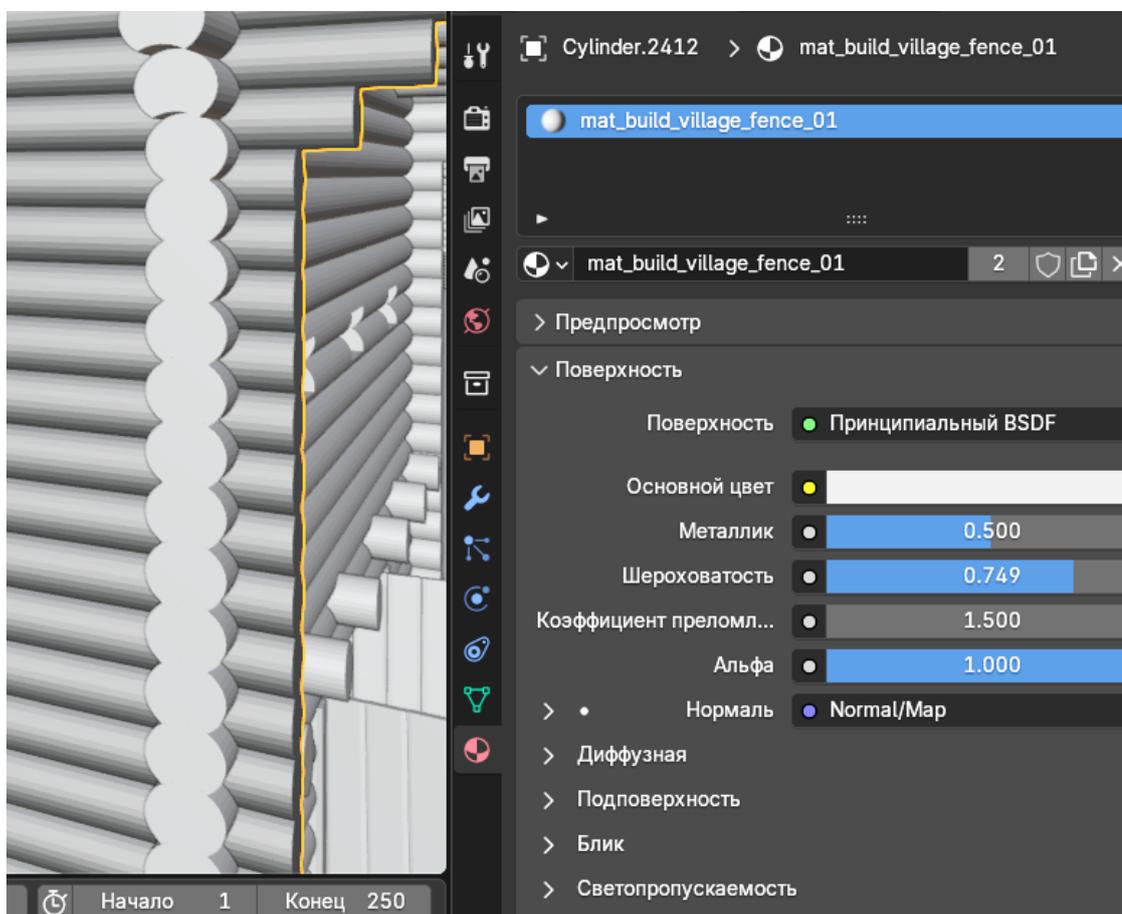


Рисунок 26 – Стены

Таким образом, процесс назначения материалов был выполнен с учётом архитектурных особенностей объектов, что способствовало созданию исторически достоверной и визуально качественной модели Албазинской крепости.

3.1.3 Разработка низкополигональной модели

Для преобразования высокополигональной модели в низкополигональную были применены следующие инструменты и модификаторы:

Первый модификатор. «Decimate Modifier» – один из ключевых инструментов для снижения количества полигонов. Параметры модификатора:

– «Ratio» (Коэффициент): настройка параметра ratio позволила контролировать степень упрощения модели. например, значение 0.5 означает, что количество полигонов уменьшается наполовину;

- «Planar»: удаляет лишние полигоны на плоских поверхностях, сохраняя их геометрию;
- «Collapse»: упрощает модель за счет объединения близлежащих вершин.

Второй модификатор «Manual Retopology». Для сложных объектов, таких как стены и башни, была проведена ручная ретопология. Параметры:

- «Shrinkwrap Modifier»: позволял "обернуть" новую низкополигональную сетку вокруг исходной высокополигональной модели, сохраняя её форму;
- «Snap to Surface»: инструмент помогал точно размещать новые грани на поверхности старой модели.

Низкополигональная модель представлена на рисунке 27.

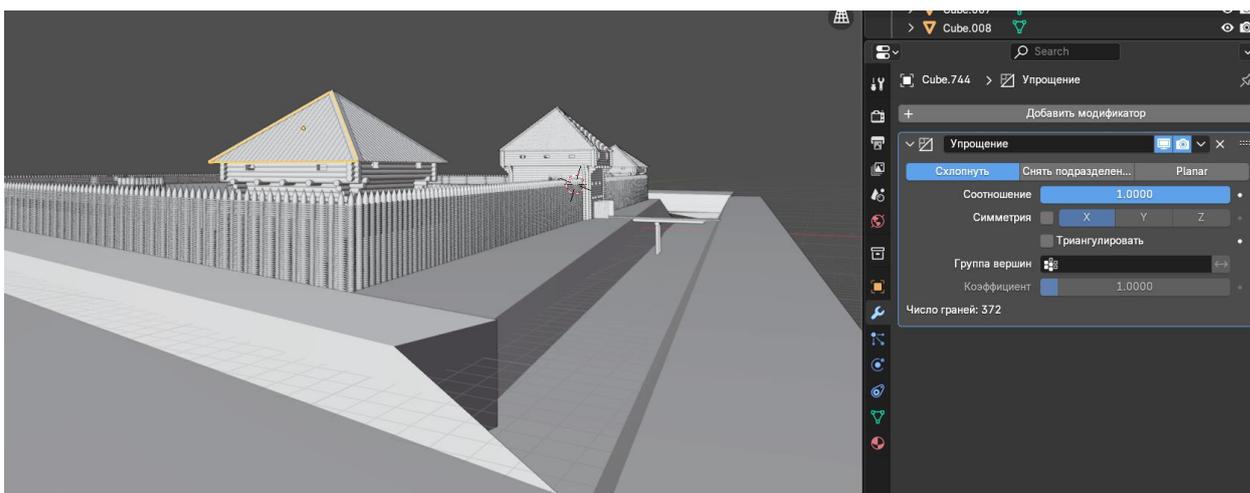


Рисунок 27 – Низкополигональная модель

3.1.4 Экспорт модели

После завершения всех этапов подготовки модели в Blender, включая создание uv-развёрток, назначение материалов и разработку низкополигональной версии, был выполнен экспорт модели для дальнейшего текстурирования в Substance Painter.

Для экспорта модели использовался формат FBX, который является стандартом для обмена 3D-данными между различными программами. В процессе экспорта использовался режим выбора только выбранных объектов (Selected Objects), что позволило исключить из файла лишние элементы. Для

сохранения четких граней модели параметр Smoothing был установлен в значение Face. Значение масштаба (Scale) было установлено на 1.0, чтобы сохранить исходные пропорции модели при импорте в другую программу. Эти настройки гарантируют, что экспорт модели будет выполнен с учетом всех необходимых требований для дальнейшей работы (рис. 28).

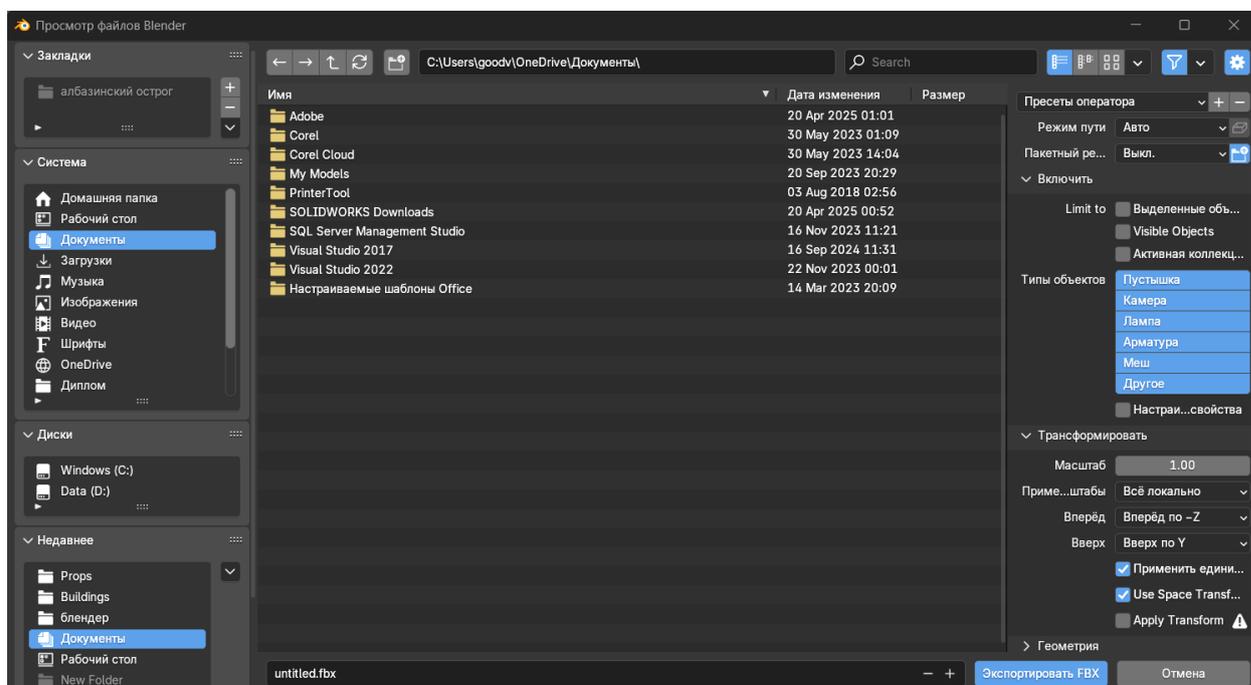


Рисунок 28 – Экспорт модели

3.2 Текстурирование модели

Текстурирование является одним из ключевых этапов создания реалистичной 3D-модели, поскольку именно текстуры придают объектам визуальную достоверность и историческую аутентичность. Для текстурирования модели Албазинской крепости был выбран профессиональный инструмент Substance Painter, который обеспечивает высокое качество PBR-материалов («Physically Based Rendering») и позволяет создавать детализированные текстуры с учетом физических свойств материалов.

Процесс начался с импорта низкополигональной модели в Substance Painter. После экспорта модели из Blender в формате FBX, она была успешно загружена в Substance Painter через его интуитивно понятный интерфейс. На этапе импорта особое внимание уделялось проверке корректности UV-развёрток: встроенные инструменты программы позволили убедиться, что развёртки

отображаются без перекрытий и искажений. Это стало важным шагом для обеспечения точного наложения текстур на модель.

3.2.1 Добавление текстурных карт

Добавление текстурных карт является ключевым этапом в процессе текстурирования модели. Для этого был использован профессиональный инструмент Substance Painter, который предоставляет широкие возможности для работы с PBR-материалами (Physically Based Rendering). В рамках данного этапа были созданы базовые текстурные слоты, такие как Albedo (основной цвет), Normal Map (карта нормалей), Metallic (металличность), Roughness (шероховатость) и Height Map (карта высот). Эти карты позволяют придать модели реалистичный внешний вид и историческую достоверность. Текстура землянки представлена на рисунке 29.

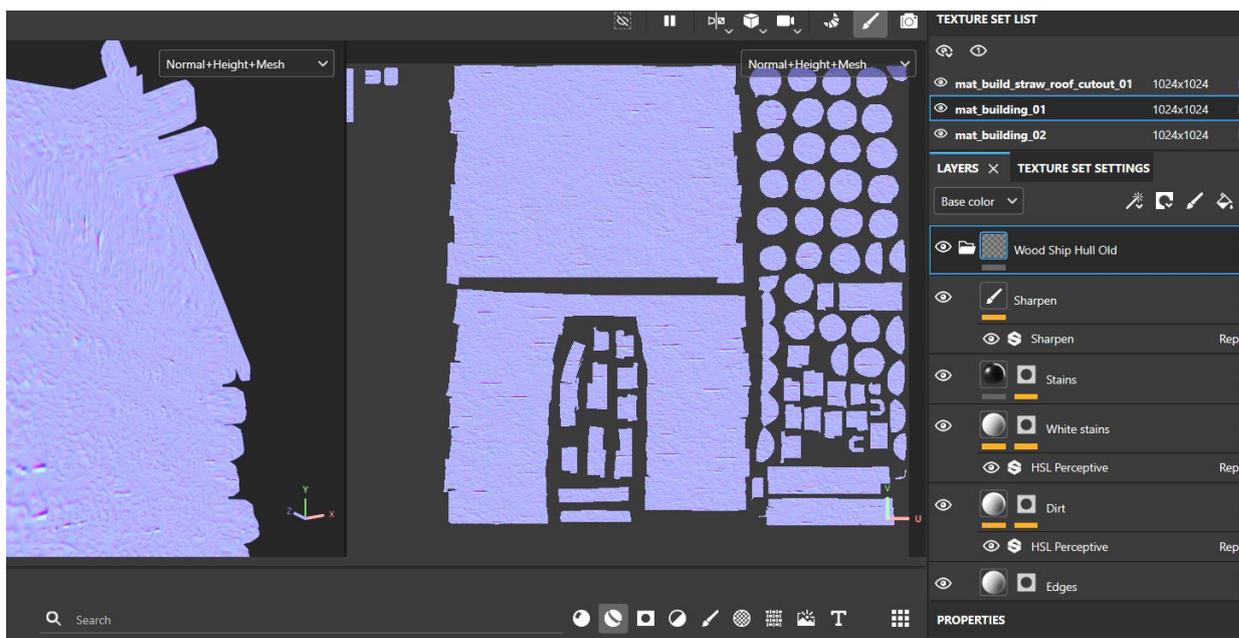


Рисунок 29 – Текстура карта землянки

Для упрощения процесса активно использовались смарт-материалы, которые автоматически адаптируются к форме модели. Для деревянных конструкций применялись материалы, имитирующие текстуру древесины с учетом трещин и царапин, а для каменных поверхностей – материалы с эффектами шероховатости и потертостей. Также была возможность ручного редактирования текстур с помощью инструментов «Brush Tool» (для добавления мелких деталей) и «Masking» (для выборочного применения текстур).

3.2.2 Создание текстур

Создание текстур выполнялось с использованием мощных инструментов Substance Painter, которые позволяют работать с UV-развертками и создавать текстуры в реальном времени. Текстуры на развёртке представлены на рисунке 30.

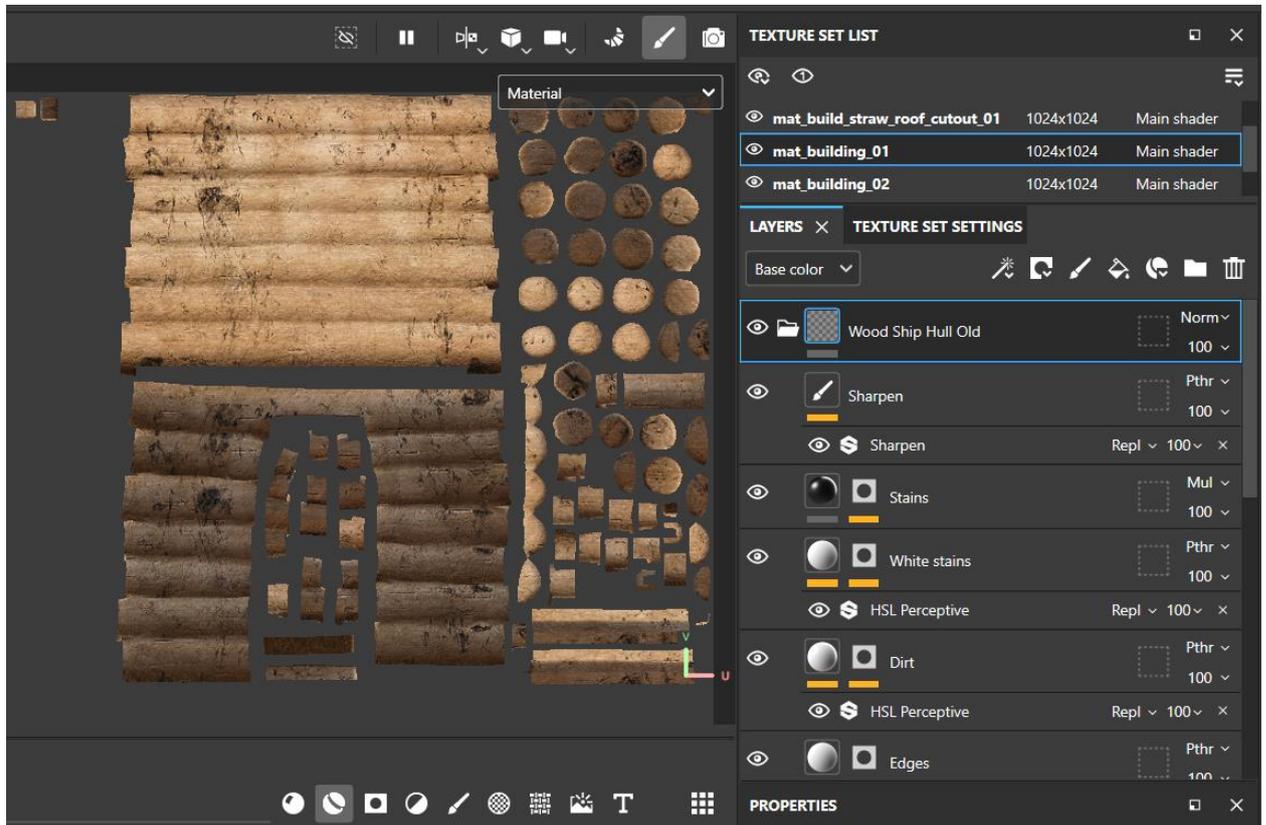


Рисунок 30 – Текстуры на развёртке

Процесс включал несколько этапов.

Первый этап. Подготовка базовых текстур: на начальном этапе для каждого типа поверхности (дерево, камень, металл) были созданы базовые текстуры, которые затем дорабатывались для достижения большей детализации.

Второй этап. Работа со смарт-материалами: Смарт-материалы позволили быстро нанести реалистичные текстуры на модель. Например, для стен крепости использовались материалы с эффектами старения и потертостей, что соответствует историческому контексту.

Третий этап. Ручная доработка текстур: после применения смарт-материалов выполнялась ручная доработка с использованием инструментов Brush Tool и Eraser Tool. Это позволило добавить уникальные детали, такие как

грязь, царапины или мох, которые делают поверхность более живой.

Четвёртый этап. Использование масок и слоев: маскирование и работа со слоями обеспечивали точный контроль над распределением текстур.

3.2.3 Запекание текстур

Запекание текстур является важным этапом, который позволяет передать все детали высокополигональной модели на низкополигональную версию. Этот процесс выполнялся в Substance Painter с использованием инструментов запекания (Baking). Этапы работы:

- генерация карт нормалей и ао: были созданы карты нормалей и «ambient occlusion» («Ао»), которые обеспечивают иллюзию объема и глубины без изменения геометрии модели;
- настройка параметров запекания: для минимизации артефактов и сохранения четкости текстур были тщательно настроены параметры запекания, такие как разрешение текстур и методы интерполяции (рис. 31).

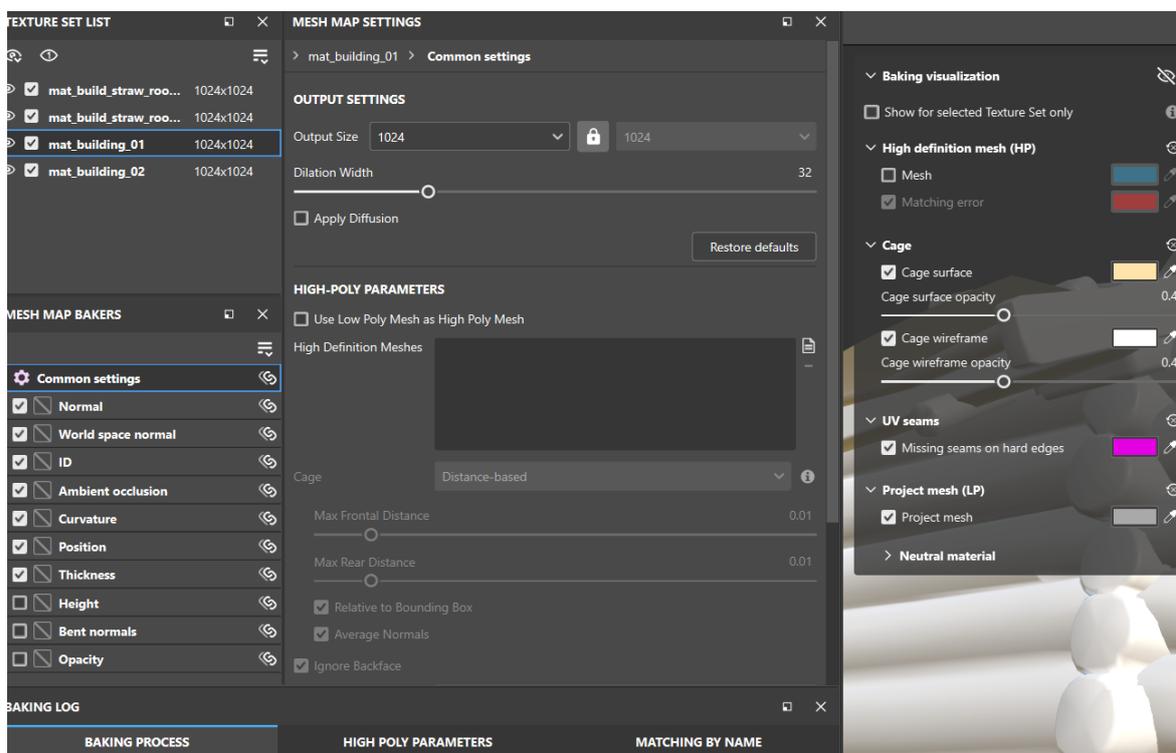


Рисунок 31 – Настройка параметров запекания

Запекание текстур позволило оптимизировать модель для использования в реальном времени, сохранив при этом высокий уровень детализации. Готовые текстуры экспортировались в форматы, совместимые с Unity, что

обеспечило их беспроблемную интеграцию в игровой движок.

3.3 Интеграция модели

Интеграция модели является важнейшим этапом в процессе разработки интерактивной 3D-модели Албазинской крепости, так как именно на этом этапе все созданные элементы объединяются в единую сцену для дальнейшего использования в игровом движке Unity. Этот процесс включает импорт готовых 3D-моделей, материалов и текстур, создание окружающей среды (ландшафта), а также настройку взаимодействия всех компонентов между собой.

Основная цель интеграции заключается в том, чтобы обеспечить корректное функционирование модели в рамках выбранной платформы, сохраняя при этом высокий уровень детализации и исторической достоверности.

В рамках данного раздела будут рассмотрены ключевые шаги интеграции: импорт ресурсов, создание ландшафта, а также доработка модели непосредственно в Unity для достижения желаемого результата.

3.3.1 Импорт модели, материалов, текстур

Перед началом импорта была выполнена финальная проверка всех ресурсов, созданных в Substance Painter:

- модель: низкополигональная версия модели была сохранена в формате fbx, который широко поддерживается unity;
- текстуры: все текстурные карты, такие как «albedo (diffuse)», «normal map», «metallic», «roughness» и другие, были экспортированы из substance painter. Это обеспечило высокое качество текстур при сохранении оптимальной производительности;
- uv-развертки: убедились, что uv-развертки корректно размещены и не имеют перекрытий, что гарантирует точное нанесение текстур на модель.

Процесс импорта ресурсов в Unity включал несколько ключевых этапов. Сначала модель в формате FBX была загружена в проект через проводник файлов. После импорта были выполнены настройки параметров: масштаб модели был установлен на значение «1», чтобы сохранить её пропорции, а для материалов была выбрана опция «Use External Materials», что позволило

использовать текстуры, созданные в Substance Painter.

Далее текстурные карты (Albedo, Normal, Metallic, Roughness) были помещены в папку Textures внутри Unity. Для каждой текстуры были настроены параметры импорта: для карт нормалей был выбран тип Normal Map, для остальных текстур – Default. Чтобы минимизировать потерю качества, была активирована опция High Quality сжатия, а параметр sRGB был включен только для цветowych текстур, таких как Albedo.

После этого в Unity были созданы материалы для каждого типа поверхности (дерево, камень, металл) с использованием шейдера «Standard Shader». Карты текстур были назначены соответствующим слотам материала: «Albedo» отвечал за основной цвет поверхности, «Normal Map» добавлял объем и детализацию, «Metallic» определял металлические участки, а «Roughness» регулировал уровень шероховатости (рис. 32).

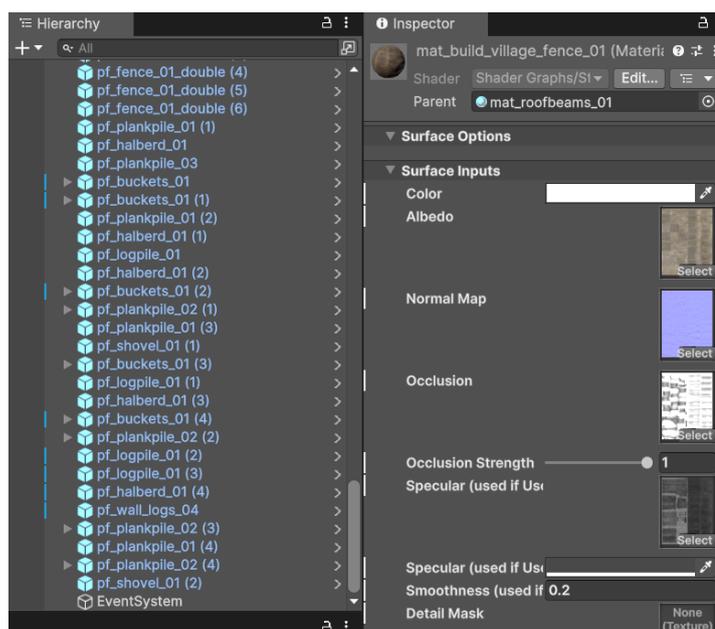


Рисунок 32 – Назначение параметров материала

Для достижения более реалистичного внешнего вида модели в Unity были созданы пользовательские шейдеры с использованием нодовой системы.

«Shader Graph» – это визуальный инструмент Unity, который позволяет создавать шейдеры без необходимости написания кода. С помощью нодовой системы можно комбинировать различные эффекты, такие как освещение, прозрачность, отражение и другие.

Для деревянных конструкций был создан шейдер, имитирующий текстуру древесины с учетом трещин, пор и царапин. Для каменных поверхностей использовались шейдеры с эффектами шероховатости, потертостей и мха. Настройка карт шейдеров:

- «height map»: карта высот была добавлена для создания параллакс-эффекта, который усиливает ощущение глубины текстур;
- «ambient occlusion» («ao»): карта «ao» использовалась для добавления теней в углублениях модели, что делает ее детализированной (рис. 33).

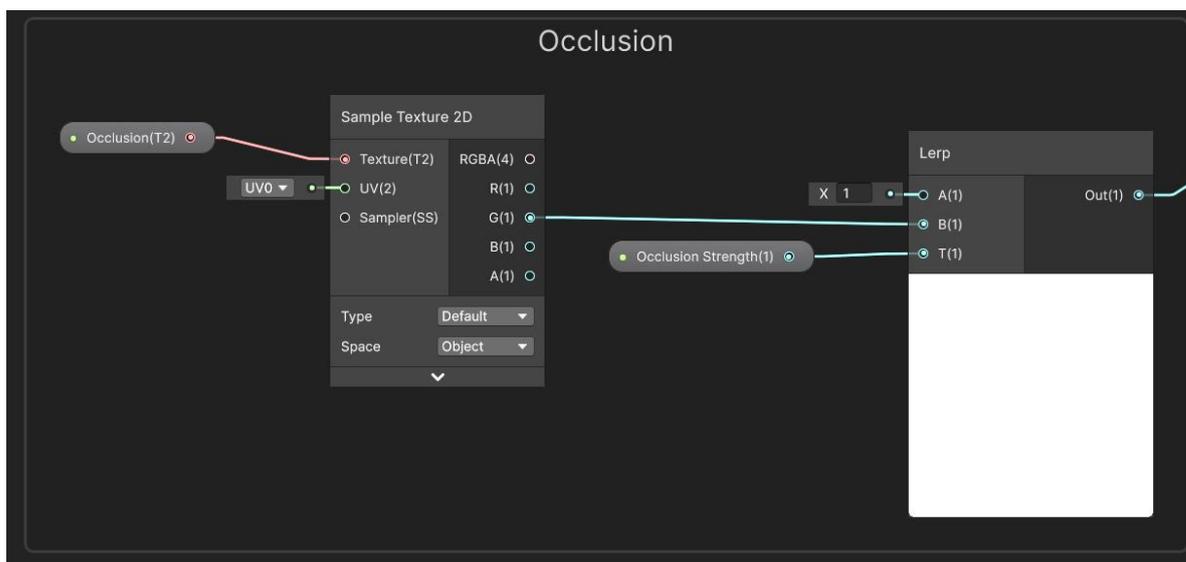


Рисунок 33 – Карта шейдеров параметра «Occlusion»

3.3.2 Создание ландшафта

Создание ландшафта является важным этапом интеграции модели Албазинской крепости, так как именно он задает общую атмосферу сцены и позволяет органично вписать объекты в окружающую среду. Были определены ключевые элементы ландшафта: рельеф местности (холмы, равнины), водная поверхность реки Амур, растительность (деревья, кустарники, трава) и дополнительные объекты, такие как дороги и ограждения. Для создания рельефа был использован встроенный инструмент «Terrain», который позволил сформировать холмы, равнины и природные возвышения. С помощью инструментов «Raise/Lower Terrain» и «Smooth Height» удалось добиться естественного внешнего вида поверхности (рис. 34).

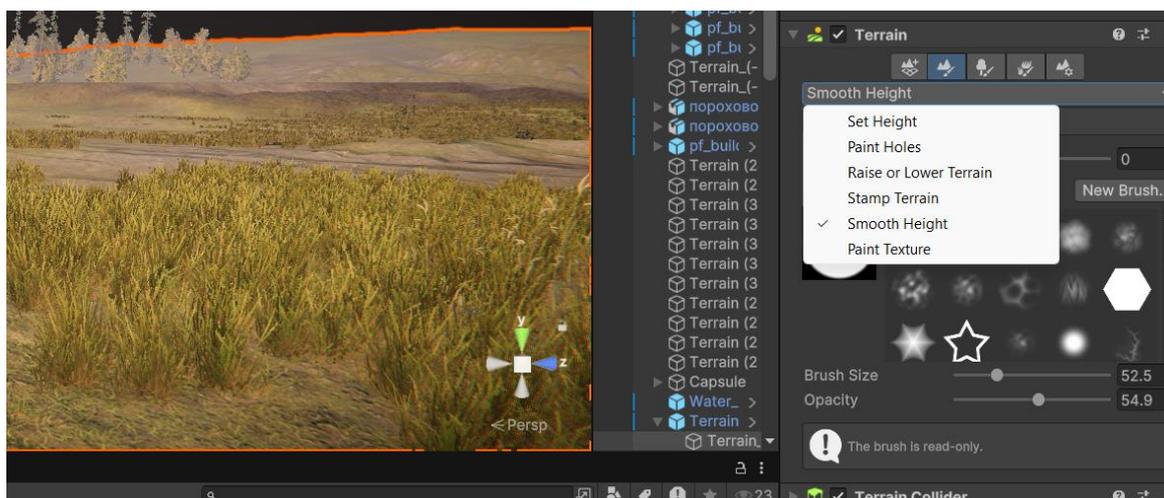


Рисунок 34 – Создание местности

Для создания водной поверхности реки был использован стандартный шейдер Water и плагины для постобработки, такие как «Post-Processing Stack». Водная гладь была дополнена эффектами прозрачности, отражения и волн, чтобы придать ей динамичность и реалистичность. Размеры и форма реки были адаптированы под масштаб модели крепости (рис. 35).

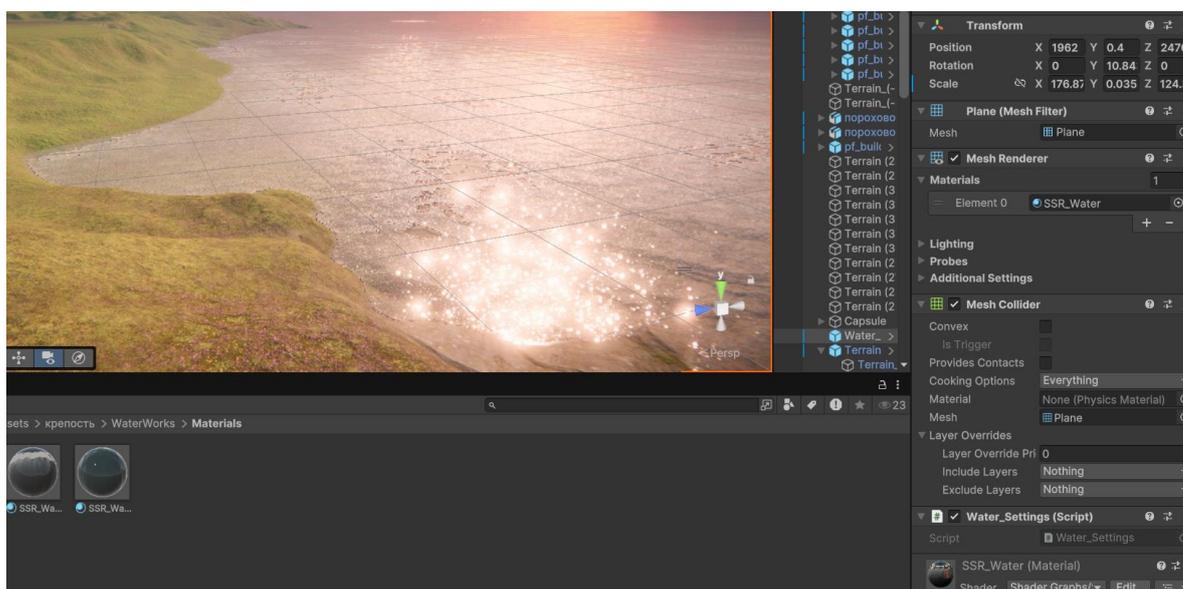


Рисунок 35 – Водная гладь

Растительность была добавлена с помощью инструментов «Paint Trees» и «Paint Details». Деревья и кустарники размещались по поверхности ландшафта, а трава и мелкие растения добавлялись с помощью функции «Paint Details». Для минимизации нагрузки на систему количество растений было ограничено, особенно на участках, которые не попадают в основное поле

зрения пользователя.

Дороги, ограждения и другие декоративные элементы были созданы в Blender и импортированы в Unity. Эти объекты размещались на ландшафте для повышения исторической достоверности сцены. Ограждения и другие элементы дополняли общую картину и делали сцену более живой.

Для усиления реалистичности ландшафта были настроены освещение и атмосферные эффекты. Был добавлен источник направленного света («Directional Light») для имитации солнечного света, а также активированы мягкие тени для объектов и рельефа. Для создания естественной атмосферы был установлен Skybox с текстурами неба (рис. 36).



Рисунок 36 – Ландшафт

Таким образом, создание ландшафта в Unity было выполнено с использованием современных инструментов и технологий, что позволило добиться высокого уровня детализации и исторической достоверности.

3.4 Архитектура проекта и реализация интерактивности

Архитектура проекта и реализация интерактивности являются ключевыми аспектами разработки интерактивной 3D-модели Албазинской крепости, обеспечивающими ее функциональность, удобство использования и

соответствие поставленным целям. На данном этапе определяется структура проекта, его компоненты и взаимодействие между ними, что позволяет создать устойчивую и масштабируемую систему.

Основная цель этого раздела – описать архитектурные решения, которые были применены для организации проекта в Unity, а также рассмотреть процесс реализации интерактивных элементов, обеспечивающих пользователю возможность полноценного взаимодействия с моделью.

В рамках данного раздела будут подробно рассмотрены структура проекта, используемые технологии и программные инструменты, а также реализация интерактивности.

3.4.1 Архитектурный проект

Архитектурный проект для дипломной работы «Разработка 3D-модели Албазинской крепости» описывает структуру и взаимодействие компонентов системы. Проект включает три ключевые диаграммы: диаграмму прецедентов, диаграмму классов и диаграмму последовательностей. Эти диаграммы помогают формализовать функциональность системы, определить взаимодействие между пользователями и компонентами, а также описать последовательность операций.

Диаграмма прецедентов отражает взаимодействие пользователей (актеров) с системой. Она демонстрирует основные функциональные возможности модели и расширяет стандартный набор прецедентов за счет учета дополнительных ролей пользователей. В качестве ключевых действующих лиц выступают пользователь, являющийся главным пользователем приложения, и система, отвечающая за внутренние процессы игры.

Основные варианты использования включают функциональность главного меню, такого как запуск игры, открытие инструкций и выход из приложения. Также важную роль играет меню паузы, предоставляющее пользователю возможность приостанавливать, возобновлять или перезапускать уровень. Управление движением пользователя и поворотами камеры составляет основу игрового процесса, а автоматическая настройка материалов воды

системой обеспечивает реалистичное визуальное восприятие мира.

Взаимодействие между акторами и прецедентами строится следующим образом: пользователь взаимодействует с главным меню для запуска игры, просмотра инструкций или выхода из приложения. После начала игры пользователь может использовать меню паузы для управления процессом, включая приостановку, возобновление или перезапуск. Управление движением персонажа и поворотами камеры осуществляется через соответствующие прецеденты, которые тесно связаны между собой, так как оба влияют на процесс. Настройка материалов воды выполняется автономно системой, однако её результаты могут усиливать визуальную составляющую.

Связи между прецедентами отражают логику работы системы: главное меню связано с меню паузы, так как после запуска пользователь может вызвать его для управления процессом. Меню паузы, в свою очередь, влияет на состояние пользователя через прецедент управления движением. Управление камерой и управление пользователем также взаимосвязаны, поскольку оба компонента формируют процесс. Настройка воды работает независимо, но её результаты могут улучшать визуальное погружение в мир

Диаграмма прецедентов представлена в приложении, где можно увидеть подробное графическое изображение всех актеров, прецедентов и их взаимосвязей.

Диаграмма классов описывает структуру системы через классы, их атрибуты и методы. Она также демонстрирует связи между классами и их взаимодействия.

Диаграмма классов описывает структуру системы через классы, их атрибуты и методы. Она также демонстрирует связи между классами и их взаимодействия. Ниже представлено описание классов, их связей.

Класс первый. Main Menu (Главное меню):

- управляет запуском игры, открытием инструкций и выходом из приложения;

- взаимодействует с `playercontroller` и `cameracontroller` для настройки игрового процесса.

Второй класс. `Pause Menu` (Меню паузы):

- отвечает за приостановку игры, возобновление, перезапуск уровня или выход в главное меню;

- использует `playercontroller` для управления состоянием игрока.

Третий класс. `PlayerController` (Контроллер игрока):

- управляет движением пользователя и состоянием курсора;
- содержит параметры, такие как скорость движения и компонент `charactercontroller`.

Четвёртый класс. `CameraController` (контроллер камеры) отвечает за управление камерой, включая повороты и ограничения по углам.

Пятый класс. `Water_Settings` (настройки воды) управляет материалами и текстурами воды для создания реалистичного эффекта.

Вспомогательные классы `Transform` и `Material` представляют трансформацию объектов и материалы для текстур. Связи:

Первая связь. Агрегация: `Main Menu` и `Pause Menu` используют класс `Transform` для управления положением объектов.

Вторая связь. Использование: `Main Menu` взаимодействует с `PlayerController`, `CameraController` и `Water_Settings`. `Pause Menu` использует `PlayerController` для управления состоянием пользователя. Диаграмма классов представлена в приложении.

Диаграмма последовательностей – это тип UML-диаграммы, который показывает взаимодействие между объектами системы во времени. В качестве ключевых действующих лиц выступают, и система, отвечающая за внутренние процессы игры.

Взаимодействие осуществляется через основные объекты системы, такие как `MainMenu` (Главное меню), `PauseMenu` (Меню паузы), `PlayerController` (Контроллер пользователя), `CameraController` (Контроллер камеры) и `Water_Settings` (Настройки воды). Главное меню управляет запуском,

открытием инструкций и выходом из приложения, взаимодействуя с контроллерами пользователя и камеры, а также настройками воды. Меню паузы позволяет пользователю приостанавливать, возобновлять её или перезапускать модель, используя для этого контроллер пользователя. Контроллер пользователя отвечает за управление движением персонажа и состоянием курсора, включая параметры, такие как скорость движения. Контроллер камеры обеспечивает повороты и ограничения по углам, а настройки воды автоматически управляют материалами и текстурами для создания реалистичного визуального эффекта.

Основные сценарии взаимодействия строятся следующим образом: пользователь запускает модель через главное меню, которое иницирует настройку процесса через контроллер игрока и контроллер камеры. Параллельно система настраивает материалы воды через соответствующий компонент. Во время игры пользователь может приостановить её через меню паузы, которое взаимодействует с контроллером пользователя для изменения его состояния. Управление движением персонажа и поворотами камеры осуществляется через контроллер пользователя и контроллер камеры соответственно. Настройка материалов воды выполняется автоматически системой, но её результаты влияют на визуальное восприятие мира. Диаграмма последовательности представлена в приложении.

3.4.2 Настройка камеры и управления

В рамках настройки камеры и управления была реализована система, позволяющая пользователю свободно перемещаться по территории интерактивной модели Албазинской крепости, а также управлять положением и углом обзора камеры. Для этого был создан объект "капсула", который выступает в качестве основного персонажа пользователя. К этому объекту были прикреплены компонент `CharacterController` для управления физикой перемещения и скрипт `PlayerController`, обеспечивающий логику движения. В дочерних элементах капсулы была размещена камера, к которой был добавлен скрипт `CameraController` для управления её поведением.

Скрипт `CameraController` реализует управление камерой с использованием ввода мыши. Основные параметры скрипта включают:

- `sensitivity` – чувствительность управления камерой, которая определяет скорость поворота;
- `maxYAngle` – максимальный угол наклона камеры по вертикали, предотвращающий чрезмерное вращение.

В методе `Update ()` происходит обработка ввода мыши:

- поворот по горизонтали (ось X) осуществляется путем вращения родительского объекта (`transform.parent.Rotate`) вокруг оси Y;
- поворот по вертикали (ось Y) ограничивается значением `maxYAngle` с помощью функции `Mathf.Clamp`. Это позволяет избежать переворота камеры или некорректного угла обзора;
- положение камеры обновляется через `Quaternion.Euler`, что обеспечивает плавное вращение.

Скрипт `PlayerController` отвечает за перемещение персонажа по сцене. Основные параметры скрипта включают:

- `moveSpeed` – скорость перемещения персонажа;
- `controller` – ссылка на компонент `CharacterController`, который управляет движением.

В методе `Start ()` происходит проверка наличия компонента `CharacterController`. Если компонент не найден, выводится сообщение об ошибке.

Метод `Update ()` реализует следующую логику:

- приостановка игры проверяется через статическое поле `PauseMenu.isGamePaused`. Если игра приостановлена, управление персонажем блокируется;
- ввод с клавиатуры (`Input.GetAxis("Horizontal")` и `Input.GetAxis("Vertical")`) используется для расчета направления движения;

– направление движения корректируется с учетом гравитации ($\text{moveDirection.y} -= 9.81f * \text{Time.deltaTime}$) и нормализуется для обеспечения равномерной скорости;

– метод `controller.Move` применяется для перемещения персонажа в пространстве.

Дополнительно реализован метод `SetCursorState(bool isLocked)`, который управляет состоянием курсора. При активном управлении курсор блокируется в центре экрана, а при паузе или выходе в меню он становится видимым и разблокированным. Основной персонаж представлен на рисунке 37.

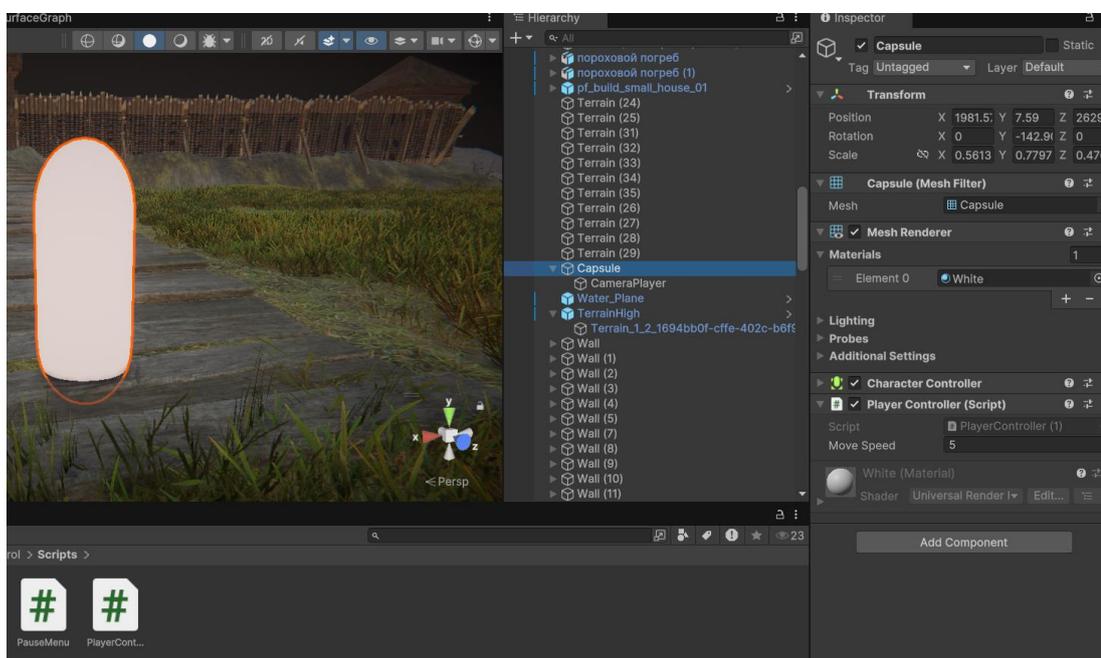


Рисунок 37 – Основной персонаж

3.4.3 Разработка пользовательского интерфейса

В рамках дипломного проекта по разработке интерактивной 3D-модели Албазинской крепости был создан пользовательский интерфейс, включающий главное меню и меню паузы.

Главное меню реализовано как основная точка взаимодействия пользователя с приложением (рис. 38). Оно включает следующие функции:

- запуск игры: активация игровой сцены и скрытие главного меню;
- просмотр инструкций: отображение панели с информацией о правилах управления и особенностях модели (рис. 39);

- выход из программы: завершение работы приложения.

Для реализации логики главного меню используется скрипт MainMenu. В методе Start () происходит инициализация интерфейса: отображение главного меню, скрытие других панелей и установка начального состояния игрока. Метод StartGame () запускает игру, блокирует курсор и восстанавливает скорость времени (Time.timeScale = 1f). Для выхода из программы используется метод QuitGame (), который корректно завершает работу приложения как в редакторе Unity, так и в режиме выполнения.

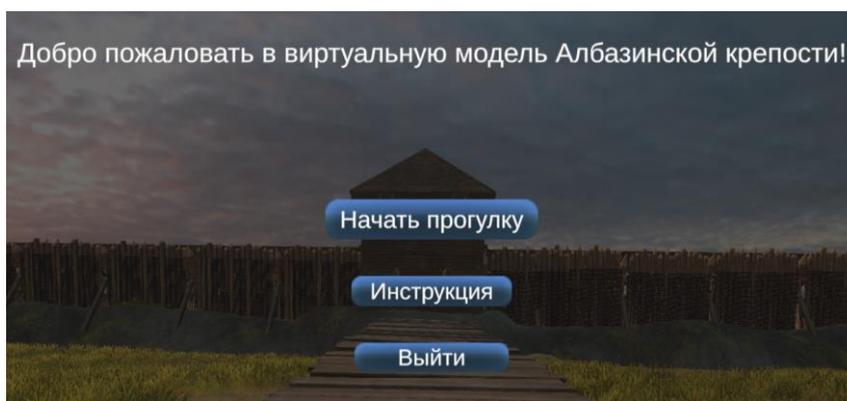


Рисунок 38 – Главное меню

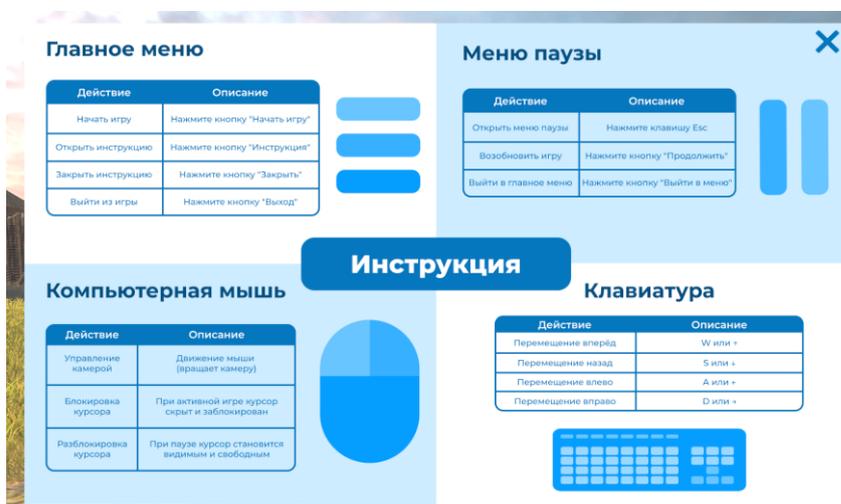


Рисунок 39 – Основной персонаж

Меню паузы предоставляет возможность временно приостановить игру и выполнить дополнительные действия (рис. 40):

- возобновление игры: возвращение к активному игровому процессу;
- перезапуск уровня: загрузка текущей сцены для начала заново;
- выход в главное меню или из программы.

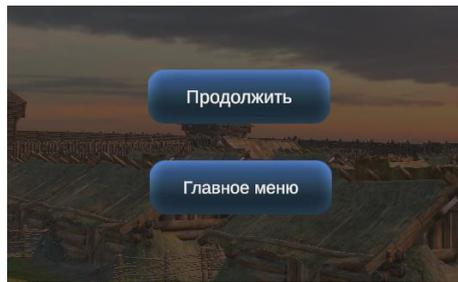


Рисунок 40 – Меню паузы

Логика меню паузы реализована в скрипте `PauseMenu`. При нажатии клавиши `ESC` вызывается метод `TogglePause ()`, который изменяет состояние паузы, регулирует видимость курсора и управляет скоростью времени. Для перезапуска уровня используется метод `RestartLevel ()`, а для выхода в главное меню – метод `QuitToMenu ()`.

Интерфейс разработан с использованием стандартных UI-элементов Unity, таких как панели (`GameObject`) и кнопки. Управление состоянием панелей осуществляется через методы `SetActive(true/false)`. Для синхронизации состояния курсора и времени между главным меню и меню паузы используются статические переменные, такие как `PauseMenu.isGamePaused` (рис. 41).

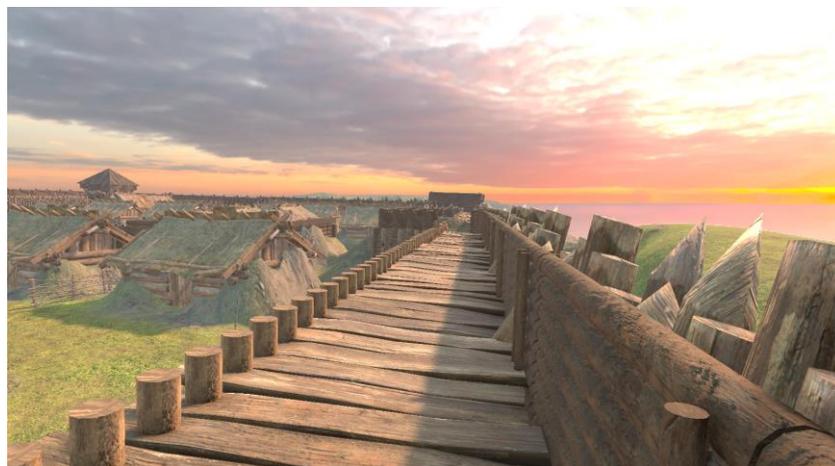


Рисунок 41 – Интерфейс

Созданный пользовательский интерфейс обеспечивает интуитивно понятное взаимодействие с моделью Албазинской крепости. Главное меню и меню паузы предоставляют все необходимые функции для управления приложением, что делает его удобным для использования в образовательных, исследовательских и культурных целях [8].

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

4.1 Безопасность

Безопасность жизнедеятельности представляет собой комплекс мер, направленных на обеспечение безопасности человека в его рабочей и бытовой среде. Это включает разработку методов и средств защиты, снижающих воздействие вредных и опасных факторов до допустимых уровней, а также предотвращение возникновения чрезвычайных ситуаций и минимизацию их последствий.

Техника безопасности при работе с компьютером регулируется нормативными документами, такими как ГОСТы и инструкции по охране труда, утвержденными государственными органами. Соблюдение этих правил помогает сохранить здоровье сотрудников и предотвратить профессиональные заболевания, такие как проблемы с опорно-двигательным аппаратом, зрением и общее переутомление.

Правильная организация рабочего места является основой для обеспечения комфортной и безопасной работы. Поэтому важно уделять внимание эргономике рабочего места, освещению, расположению оборудования и регулярным перерывам [9].

4.1.1 Эргономичность рабочего пространства за ПЭВМ

Основные критерии и нормы экологичности и безопасности рабочего места включают следующие требования:

- регулировка мебели: стол и стул должны быть регулируемы по высоте, чтобы пользователь мог настроить их под свои индивидуальные параметры. Стул должен иметь поддержку для естественных изгибов спины и оснащаться подлокотниками для снижения напряжения в области плеч;
- расположение монитора: экран должен находиться на уровне глаз или чуть ниже, на расстоянии 50–70 см от глаз пользователя. Это позволяет избежать напряжения шеи и глаз, а также снижает риск развития проблем со зрением;

- положение клавиатуры и мыши: эти устройства должны располагаться так, чтобы руки и запястья оставались в нейтральной позиции, а локти находились под углом примерно 90 градусов. Это помогает предотвратить развитие туннельного синдрома и других заболеваний опорно-двигательного аппарата;

- освещение рабочего места: рабочее место должно быть организовано так, чтобы естественный свет попадал сбоку, избегая прямого попадания солнечных лучей на экран монитора. Для снижения бликов рекомендуется использовать лампы с регулируемой яркостью и направленное освещение.

Дополнительные рекомендации для поддержания физического здоровья и удобства при работе за компьютером:

- все необходимые предметы, такие как документы, ручки и другие аксессуары, должны находиться в пределах легкой досягаемости, чтобы минимизировать лишние движения и уменьшить нагрузку на тело;

- использование подставок и органайзеров помогает поддерживать порядок на рабочем месте, что способствует повышению продуктивности и снижению стресса;

- важно обеспечить правильное положение рук и запястий при работе с клавиатурой и мышью, чтобы избежать повреждений опорно-двигательного аппарата;

- регулярные перерывы каждые 60 минут работы по 5–10 минут помогают избежать утомления глаз и мышечного напряжения.

Во время перерывов рекомендуется выполнять простые упражнения для разминки глаз, шеи, плеч и рук. Это помогает снять напряжение и восстановить.

4.1.2 Физические упражнения для поддержания здоровья

Рассмотрим комплекс физических упражнений, направленных на поддержание хорошего физического состояния человека при работе с компьютером. Особое внимание уделяется упражнениям для глаз, шеи, плеч, рук и спины, так как именно эти части тела наиболее подвержены нагрузке при

длительной работе за ПЭВМ.

Для расслабления глаз при долгой работе за компьютером рекомендуется выполнять следующие упражнения.

«Фокусировка на дальних и ближних объектах». Сфокусируйте взгляд на объекте, находящемся вблизи (например, на пальце на расстоянии 30 см), затем переведите взгляд на объект вдали (например, на предмет за окном). Повторите упражнение 10 раз. Данное упражнение помогает разминать хрусталик глаза, который при длительной работе за компьютером привыкает к одному фокусному расстоянию. На рисунке 42 показан пример выполнения упражнения.

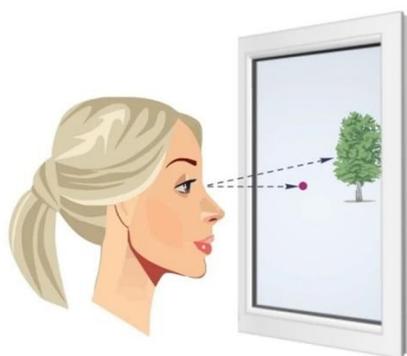


Рисунок 42 – Упражнение «Фокусировка на дальних и ближних объектах»

Круговые движения глазами. Медленно делайте круговые движения глазами сначала по часовой стрелке, затем против. Повторите 5–10 раз в каждом направлении. Это упражнение способствует улучшению кровообращения в глазных мышцах. На рисунке 43 изображено выполнение данного упражнения.

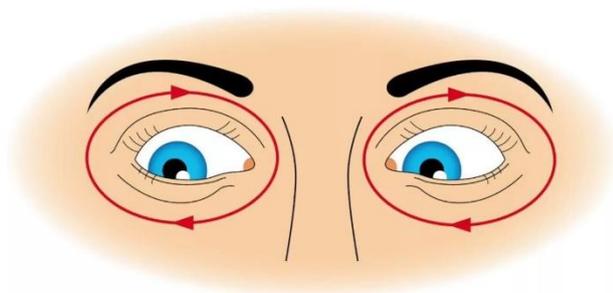


Рисунок 43 – Упражнение «Круговые движения глазами»

Для снижения напряжения в области шеи и плеч рекомендуются следующие упражнения.

Наклоны головы. Медленно наклоните голову вперёд, затем назад, вправо и влево. Повторите 5–10 раз в каждом направлении.

Повороты головы. Медленно поверните голову вправо, затем влево. Повторите упражнение 5–10 раз. На рисунке 44 показаны данные упражнения.

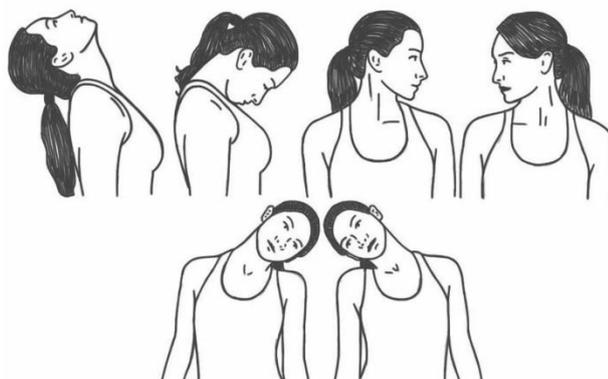


Рисунок 44 – Упражнения «Наклоны головы» и «Повороты головы»

Для предотвращения напряжения в руках и кистях рекомендуется выполнять следующие упражнения.

Круговые движения кистями. Вытяните руки вперед и сделайте круговые движения кистями сначала по часовой стрелке, затем против. Повторите 10 раз в каждом направлении.

Сжимание и разжимание кулаков. Сожмите кулаки и резко разожмите, растопырив пальцы. Повторите 10–15 раз. На рисунке 45 изображено выполнение данных упражнений.

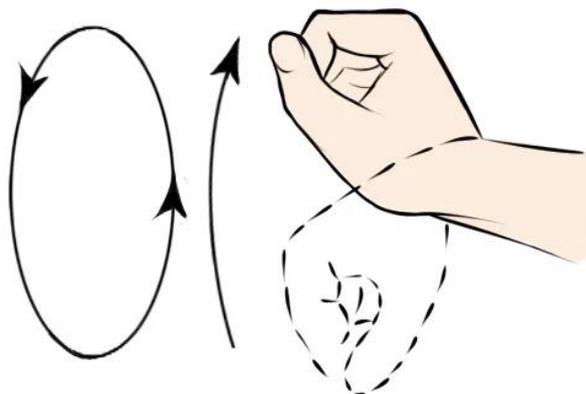


Рисунок 45 – Упражнение «Круговые движения кистями»

Для поддержания здоровья спины рекомендуется выполнять следующие упражнения.

Растяжка позвоночника. Встаньте, поднимите руки вверх и потянитесь, стараясь почувствовать растяжение позвоночника. Удерживайте позицию 10–15 секунд.

Круговые движения туловищем. Поставьте ноги на ширине плеч, руки положите на бедра и сделайте круговые движения туловищем. Повторите 5–10 раз в каждую сторону. На рисунке 46 изображены данные упражнения.

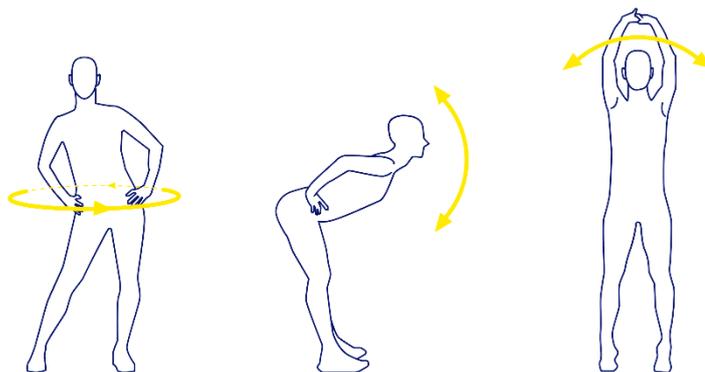


Рисунок 46 – Упражнения «Растяжка» и «Круговые движения»

4.1.3 Требования к помещению

Помещение, предназначенное для работы с ПЭВМ, должно соответствовать определенным требованиям для обеспечения комфорта, безопасности пользователей и надлежащего функционирования оборудования. Основные требования перечислены ниже:

- температурный режим. Температура в помещении должна поддерживаться в диапазоне 22–24 °С;
- вентиляция и проветривание. Регулярное проветривание помещения необходимо для поддержания свежего воздуха и уменьшения концентрации углекислого газа.
- уровень шума. Уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. В идеале уровень шума должен быть ниже 40 дБ для создания комфортной атмосферы работы;
- вибрация. Вибрация оборудования должна быть минимальной, чтобы не вызывать дискомфорт у пользователя;

- электробезопасность. Все электрические устройства должны быть заземлены и подключены через исправные и сертифицированные розетки. Регулярные проверки проводов и розеток на наличие повреждений обязательны;
- размеры помещения. Площадь на одно рабочее место с ПЭВМ для взрослых пользователей должна составлять не менее 6,0 кв. м, а объем – не менее 20,0 куб. м;
- освещение. Помещение должно иметь достаточное естественное или искусственное освещение для предотвращения утомления глаз и обеспечения комфортного зрения при работе за компьютером. Оптимально, чтобы окна находились сбоку от рабочего места, чтобы избежать бликов на мониторе;
- шумоизоляция. Помещение должно быть защищено от внешнего шума, чтобы создать спокойную и концентрированную атмосферу для работы;
- электропитание. Помещение должно иметь достаточное количество розеток для подключения компьютерного оборудования и других устройств, а также защиту от перегрузок и коротких замыканий;
- мебель. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680–800 мм. При отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм;
- рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья.
- чистота и порядок. Помещение должно быть чистым и ухоженным, чтобы создать приятную и профессиональную атмосферу для работы.

4.1.4 Требования к микроклимату рабочего места с ПЭВМ

Требования к микроклимату на рабочем месте с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) играют ключевую роль в обеспечении комфортных условий для работы сотрудников и предотвращении негативного воздействия на их здоровье.

Основные требования к микроклимату включают следующие аспекты:

- температурный режим: температура воздуха в помещении должна поддерживаться в диапазоне 22–24 градусов Цельсия. Этот диапазон считается оптимальным для работы, не требующей значительных физических усилий, и позволяет избежать переохлаждения или перегрева сотрудников;

- относительная влажность воздуха: уровень влажности должен находиться в пределах 50–60 %, что способствует созданию комфортных условий. Слишком высокая влажность может вызывать дискомфорт и способствовать развитию плесени, а слишком низкая – приводить к сухости глаз, раздражению слизистых оболочек и кожи;

- циркуляция воздуха: помещение должно быть оборудовано системой вентиляции или кондиционирования для обеспечения постоянной циркуляции воздуха. Это помогает предотвратить застой воздуха и поддерживать его свежесть, что особенно важно при длительной работе за компьютером;

- очистка воздуха: для улучшения качества воздуха рекомендуется использовать системы очистки, которые удаляют пыль, микробы и другие загрязнители. Это снижает риск аллергических реакций и заболеваний дыхательных путей.

Соблюдение указанных требований к микроклимату рабочего места с ПЭВМ способствует созданию безопасной и комфортной среды для сотрудников, что положительно влияет на их работоспособность и общее благополучие.

4.1.5 Требования к уровням шума и вибрации

Требования к уровням шума и вибрации на рабочих местах регулируются нормативными актами и стандартами, направленными на защиту здоровья сотрудников и обеспечение комфортных условий труда. Длительное воздействие повышенного шума и вибрации может привести к утомлению, стрессу, снижению концентрации и другим негативным последствиям.

Основные требования включают:

- уровень шума: для офисных помещений уровень шума не должен превышать 50 дБА в рабочее время. В производственных помещениях, где уровень шума может быть выше, необходимо соблюдать более строгие

нормативы и использовать средства индивидуальной защиты, такие как беруши или наушники;

- источники шума: рабочие места должны быть организованы таким образом, чтобы минимизировать воздействие шумных источников. Если оборудование или процессы создают повышенный уровень шума, их следует изолировать или переместить за пределы рабочей зоны;

- меры по снижению шума: для уменьшения уровня шума рекомендуется использовать звукопоглощающие материалы, устанавливать экраны и проводить регулярное техническое обслуживание оборудования;

- уровень вибрации: вибрация на рабочем месте не должна превышать допустимые значения, установленные санитарными нормами;

- оценка рисков: работодатели обязаны проводить оценку рисков, связанных с воздействием шума и вибрации, и принимать меры для их снижения.

Соблюдение требований к уровням шума и вибрации помогает создать безопасные условия труда, предотвратить ухудшение здоровья сотрудников и повысить их работоспособность [10].

4.1.6 Требования к освещению на рабочих местах с ПЭВМ

Требования к освещению на рабочих местах с ПЭВМ направлены на обеспечение комфортных условий для работы, предотвращение утомления глаз и создание эргономичной рабочей среды. Неправильное освещение может вызывать напряжение глаз, снижение концентрации и ухудшение качества выполняемой работы.

Основные требования к освещению включают:

- интенсивность освещения: уровень освещенности на рабочем месте должен соответствовать нормативам. Для офисных помещений рекомендуется освещенность в диапазоне 300–500 люкс, что обеспечивает комфортные условия для работы с документами и экраном;

- равномерность освещения: свет должен быть распределен равномерно по всей рабочей поверхности, чтобы избежать бликов и теней на экране;

- отсутствие мерцания: источники освещения должны быть выбраны таким образом, чтобы исключить мерцание света, которое может вызывать дискомфорт и утомление глаз;
- блокирование прямого света: световые источники должны быть расположены так, чтобы избежать прямого попадания света на экран ПЭВМ;
- использование естественного света: предпочтительно сочетать искусственное освещение с естественным. Окна должны быть оборудованы шторами или жалюзи для регулирования яркости света и предотвращения бликов на экране;
- цветовая температура: рекомендуется использовать свет с цветовой температурой около 4000К, который обеспечивает комфортное восприятие и не искажает цветопередачу на экране;

Соблюдение этих требований к освещению способствует созданию комфортных условий для работы, снижению утомляемости глаз и повышению эффективности сотрудников.

4.1.7 Требования к организации рабочих мест с ПЭВМ

Требования к организации рабочих мест с ПЭВМ направлены на обеспечение комфортных, безопасных и эффективных условий труда для пользователей. Основные требования к организации рабочих мест:

- эргономика мебели и оборудования: рабочая мебель должна быть эргономичной, регулируемой и соответствовать антропометрическим параметрам пользователя. Это включает регулировку высоты стола и стула, а также поддержку правильной осанки для предотвращения мышечного напряжения;
- организация пространства: конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение оборудования. Рабочая поверхность должна быть достаточно просторной для удобного выполнения задач;
- расположение оборудования: экран монитора должен находиться на расстоянии 50–70 см от глаз пользователя, под углом, исключая блики и

избыточную нагрузку на зрение. Клавиатура и мышь должны располагаться на удобной высоте для снижения напряжения в руках и запястьях;

- освещение рабочего места: рабочее место должно быть оснащено достаточным уровнем освещения, при этом источники света не должны создавать бликов на экране. Оконные проемы оборудуются жалюзи или шторами для защиты от избыточной инсоляции;

- регулировка мебели и оборудования: стул должен иметь регулируемую высоту, подлокотники и спинку, поддерживающую поясничный отдел позвоночника;

- предоставление места для отдыха: рабочее место должно включать зону для коротких перерывов, где пользователь может расслабить мышцы и выполнить физические упражнения. Это особенно важно при длительной работе за компьютером.

4.2 Экологичность

Экологичность компьютерного оборудования – важный аспект, который учитывает влияние технологий на окружающую среду. Современные стандарты направлены на минимизацию вредного воздействия на экосистему на всех этапах жизненного цикла устройства. Основные аспекты экологичности:

- энергоэффективность: компьютеры, соответствующие стандартам Energy Star или аналогичным сертификатам, потребляют меньше электроэнергии, что снижает нагрузку на электросеть и уменьшает выбросы парниковых газов;

- использование материалов: при производстве компьютеров применяются перерабатываемые и биоразлагаемые материалы. Минимизируется использование опасных веществ, таких как свинец, ртуть и кадмий;

- долговечность и модернизация: высокая долговечность оборудования позволяет продлить срок его службы за счет замены компонентов;

- утилизация: по окончании срока службы компьютеры должны быть утилизированы в соответствии с экологическими стандартами. Это включает

разделение компонентов на перерабатываемые материалы и их последующую переработку;

- функции энергосбережения: современные компьютеры оснащаются функциями автоматического отключения при простое, энергосбережения и восстановления после сбоев;

- минимизация выбросов: производители стремятся уменьшить испарение вредных веществ, таких как ртуть и хлорфторуглероды, которые могут негативно влиять на здоровье людей и окружающую среду.

Соблюдение этих принципов делает компьютеры более экологичными и устойчивыми, что способствует сохранению природных ресурсов и снижению экологического воздействия.

4.3 Чрезвычайные ситуации

При работе с ПЭВМ возможны различные чрезвычайные ситуации, которые требуют соблюдения мер безопасности для предотвращения травм и повреждений оборудования. Примеры чрезвычайных ситуаций.

Первый пример. Пожар: перегрев оборудования, короткое замыкание или неисправность электропроводки могут привести к возгоранию. Меры профилактики:

- использование качественных кабелей и удлинителей;
- регулярная проверка оборудования на предмет перегрева;
- обеспечение достаточной вентиляции и охлаждения.

Второй пример. Электрический удар: неправильное использование или неисправность оборудования может стать причиной поражения электрическим током, особенно во влажной среде. Меры профилактики:

- заземление оборудования;
- использование защитных устройств от перенапряжения.

Третий пример. Взрыв батареи: несоблюдение правил эксплуатации литий-ионных аккумуляторов может вызвать их перегрев и взрыв. Меры профилактики:

- избегать перегрева и механических повреждений батарей;
- использовать оригинальные зарядные устройства.

Общие рекомендации по предотвращению чрезвычайных ситуаций:

- регулярное техническое обслуживание оборудования;
- обучение сотрудников правилам пожарной безопасности и действиям в аварийных ситуациях;
- поддержание порядка на рабочем месте для предотвращения скопления легковоспламеняющихся материалов.

Соблюдение этих мер поможет минимизировать риски возникновения чрезвычайных ситуаций и обеспечить безопасные условия работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках дипломного проекта была успешно разработана интерактивная 3D-модель Албазинской крепости, представляющая собой виртуальную реконструкцию исторического объекта. Этот проект направлен на сохранение культурного наследия и предоставление инструментов для его изучения, популяризации и использования в образовательных и исследовательских целях.

Работа включала несколько ключевых этапов, каждый из которых был выполнен в соответствии с поставленными задачами. На подготовительной стадии были проведены анализ предметной области, сбор исторических данных и планирование работы. Одной из задач стало изучение архитектуры крепости и анализ существующих методов реконструкции исторических объектов. Это позволило создать достоверную базу для моделирования.

Следующим этапом стало создание 3D-модели, включающее моделирование объектов, текстурирование и сборку сцены. Были выполнены такие задачи, как разработка детализированных моделей башен, стен и других элементов крепости, а также применение текстур и материалов для придания модели реалистичного вида. Чертежи и фотографии исторических объектов были преобразованы в 3D-модели, которые затем интегрировались в Unity.

Программирование интерактивности стало одним из ключевых этапов проекта. Были реализованы функции управления камерой, пользовательского интерфейса и взаимодействия с объектами. Создана система управления камерой, позволяющая пользователю свободно перемещаться по территории крепости. Разработаны главное меню и меню паузы, обеспечивающие удобное управление игровым процессом. Реализованы скрипты для отображения информации об исторических объектах при их выборе.

Особое внимание уделялось обеспечению взаимодействия между пользователями и системой. Для этого были созданы три ключевые диаграммы: диаграмма прецедентов, диаграмма классов и диаграмма последовательностей. Эти диаграммы помогли формализовать функциональность системы и

описать взаимодействие между актерами (пользователь, исследователь, администратор, модератор) и компонентами системы. Пользователь может взаимодействовать с моделью через прецеденты "Просмотр модели", "Получение информации" и "Управление камерой".

Проект имеет значительную научную, образовательную и культурную ценность. Созданная модель может быть использована для проведения учебных курсов по истории и архитектуре, демонстрации туристам особенностей крепости, а также для проведения исторических исследований. Она позволяет не только сохранить уникальное наследие Албазинской крепости, но и сделать его доступным для изучения и популяризации среди широкой аудитории.

Таким образом, все поставленные задачи были успешно выполнены, что подтверждается результатами работы. Примеры реализованных задач включают изучение предметной области и подготовку исторической базы данных, моделирование и текстурирование объектов крепости, разработку интерактивного пользовательского интерфейса, создание архитектурного проекта с использованием UML-диаграмм. Результатом работы стала система, которая не только сохраняет историческое наследие, но и открывает новые горизонты для его исследования и популяризации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- 1 Бодяк М. Г. История Восточно-Сибирского региона: учеб.-метод. пособие / М. Бодяк; Иркут. гос. с.-х. акад. - Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2013. - 122 с.
- 2 Тверской, Лев Михайлович. Русское градостроительство до конца XVII века [Текст]: Планировка и застройка русских городов / Под ред. Н. Б. Бакланова. – Ленинград; Москва: Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1953. – 215 с.: ил.: 30 см. – с. 30
- 3 Преображенская Е. В. Создание трёхмерного проекта в Unity [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие / Преображенская Е. В., Лим А.А. - М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2024. ISBN 978-5-7339-2261-4
- 4 Лохов А. Ю., Еремин Е. И., Нацвин А. В. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionnaya-struktura-kitayskoj-armii-v-hode-pervoy-osady-albazinskogo-ostroga/viewer>
- 5 Руководство пользователя Unity – [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.unity.com>
- 6 Иванов Д. А. Современные технологии разработки игр: от концепции до реализации / Д. А. Иванов. - Москва: Техносфера, 2022. - 320 с.
- 7 Петрова Л. С. Оптимизация графики в реальном времени: практическое руководство / Л. С. Петрова. - Санкт-Петербург: Питер, 2021. - 256 с.
- 8 Федоров М. А. Цифровизация культурного наследия: перспективы и вызовы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.future-cultural-heritage.ru>
- 9 Белов С. В. Безопасность при работе с компьютерной техникой / С.В. Белов. - М.: Academia, 2022. - 288 с.
- 10 Охрана труда при работе с ПЭВМ: методические рекомендации / Министерство труда РФ. – М., 2021. – 64 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Баранов, П. И. Методология создания виртуальных исторических реконструкций [Текст] / П. И. Баранов, С. В. Кузнецов // Вестник компьютерных технологий. - 2023. - № 4. - С. 45-58.

2 Борисова, Е. А. Использование технологий виртуальной реальности в историко-архитектурных реконструкциях [Текст] / Е. А. Борисова // Вестник информационных технологий и медиаобразования. – 2022. – № 3. – С. 112–125.

3 Волков, Д. Н. Методы 3D-сканирования в сохранении культурного наследия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3d-scanning.ru> (дата обращения: 25.03.2024).

4 Гаврилов, С. П. Выбор программных средств для 3D-моделирования и разработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.software-selection.ru> (дата обращения: 20.03.2024)

5 Горбунов, А. Л. Интерактивные музеи и цифровые технологии: опыт внедрения [Текст] / А. Л. Горбунов // Культура и технологии. – 2021. – № 2. – С. 45–59.

6 Дмитриева, О. С. Применение Unity и Unreal Engine в образовательных проектах по истории [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.educational-tech.ru> (дата обращения: 25.03.2024).

7 Ефимов, В. П. Основы компьютерного моделирования исторических событий [Текст]: учебное пособие / В. П. Ефимов – М.: Издательство «Академия», 2020. – 144 с.

8 Иванова, Е. Р. Интерактивные технологии в образовании и культуре [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interactive-edu.ru> (дата обращения: 20.03.2024)

9 Кардаш, Т. А. Эргономика рабочих мест служащих и инженерно-технических работников, оснащенных ПЭВМ [Текст]: учеб. пособие / Т. А. Кардаш; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2002. - 60 с.

10 Коваленко, Т. Ю. Эргономические аспекты работы с виртуальными средами [Текст] / Т. Ю. Коваленко // Безопасность и эргономика. – 2023. – № 1. – С. 67–75.

11 Кузнецов, А. В. Цифровое сохранение культурного наследия: современные подходы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.digital-culture.ru> (дата обращения: 20.03.2024)

12 Лебедев, П. С. Цифровизация культурного наследия: теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.digital-heritage.ru> (дата обращения: 20.03.2024)

13 Михайлов, С. Г. Цифровые архивы и их роль в изучении истории [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.digital-archives.ru> (дата обращения: 25.03.2024).

14 Лохов, А. Ю., Еремин Е. И., Нацвин А. В. Организационная структура китайской армии в ходе первой осады Албазинского острога [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionnaya-struktura-kitayskoj-armii-v-hode-pervoy-osady-albazinskogo-ostroga/viewer>

15 Носова, М. А. Современные подходы к обучению истории с помощью интерактивных технологий [Текст] / М. А. Носова // Образование и технологии. – 2022. – № 4. – С. 88–99.

16 Орехов, А. И. Проектирование виртуальных исторических локаций с использованием Blender и Unity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.blender-unity.ru> (дата обращения: 25.03.2024).

17 Петров, И. Л. Основы системного анализа и моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.system-analysis.ru> (дата обращения: 20.03.2024)

17 Пособие по безопасной работе на персональных компьютерах [Текст] / разраб. В. К. Шумилин. - М.: НЦ ЭНАС, 2005. - 28 с.

19 Преображенская, Е. В. Создание трёхмерного проекта в Unity [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие / Преображенская Е. В., Лим

А.А. - М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2024. ISBN 978-5-7339-2261-4

20 Смирнов, А. В. Международное сотрудничество в сфере культурного наследия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cultural-heritage-international.ru> (дата обращения: 20.03.2024)

21 Тверской, Л. М. Русское градостроительство до конца XVII века [Текст]: Планировка и застройка русских городов / Под ред. Н. Б. Бакланова. – Ленинград; Москва: Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1953. – 215 с.: ил.: 30 см. – с. 30

22 Федоров, М. А. Научные исследования в области исторической реконструкции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.historical-research.ru> (дата обращения: 20.03.2024)

23 Unity Technologies. Примеры реконструкции исторических объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unity.com/case-studies/historical-reconstructions> (дата обращения: 20.03.2024)

24 История Албазинской крепости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.history.ru/albazin> (дата обращения: 20.03.2024)