

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

Факультет математики и информатики
Кафедра информационных и управляющих систем
Направление 09.04.04 – Программная инженерия
Магистерская программа Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ А.В. Бушманов

« _____ » _____ 2017г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Компьютерная реконструкция персонажей обороны Албазина

Исполнитель магистрант группы 557-ом	_____	М.К. Боднарюк
	(подпись, дата)	
Руководитель профессор, д-р техн. наук	_____	И.Е. Еремин
	(подпись, дата)	
Руководитель магистерской программы профессор, д-р техн. наук	_____	Е.Л. Еремин
	(подпись, дата)	
Нормоконтроль доцент, канд. физ.-мат. наук	_____	В.В. Еремина
	(подпись, дата)	
Рецензент ведущий науч. сотрудник, канд. техн. наук	_____	М.А. Серов
	(подпись, дата)	
Рецензент доцент, канд. техн. наук	_____	Д.А. Теличенко
	(подпись, дата)	

Благовещенск 2017

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит – 88 с., 40 рисунков, 1 приложение, 38 источников. Структура диссертации состоит из трех разделов: «Компьютерная историческая реконструкция», «Программное и техническое обеспечение», «Технологии реализации 3d моделей».

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ, 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОТОТИПИРОВАНИЕ, 3D ПЕЧАТЬ, ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ.

Актуальность исследования состоит в том, что в настоящее время намечается тенденция к взаимодействию и интеграции различных направлений исследований, также все более расширяется применение визуальных информационных технологий, которые применяются практически во всех сферах человеческой деятельности. Таким образом, компьютерные исторические реконструкции являются достаточно актуальной задачей.

Целью работы послужило создание программной среды, предназначенного для визуализации внешнего облика участников рассматриваемого исторического события.

Научная новизна основных результатов работы состоит в следующем: разработанный программный продукт реализует визуализацию воссозданного внешнего облика участников исторического конфликта, используя информационные технологии моделирования и визуализации, что существенно отличается от традиционного подхода к исторической реконструкции.

Основные результаты проведенного квалификационного исследования опубликованы в двух работах, среди которых одна журнальная статья, вторая – тезисы доклада на научной конференции.

					ВКР.155504.09.04.04.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕРСОНАЖЕЙ ОБОРОНЫ АЛБАЗИНА	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Боднарюк М.К.				У	2	90
Пров.		Еремин И. Е.						
Н. контр.		Ермина В.В.						
Зав. каф.		Бушманов А.В.						
						АмГУ кафедра ИУС		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Компьютерная историческая реконструкция	6
1.1 Общее понятие компьютерной исторической реконструкции	6
1.2 Обзор существующих подходов компьютерной реконструкции	12
1.3 Историческая справка обороны Албазина	19
2. Программное и техническое обеспечение	27
2.1 Базовое прототипирование	27
2.2 Динамическая модель	29
2.3 Статичная модель	34
2.3.1 Технология 3d печати	34
2.3.2 Программа Netfabb Studio	44
2.3.3 3d принтер Prusa i3	46
3. Технологии реализации 3d моделей	48
3.1 Создание прототипа персонажа	48
3.2 Реализация динамической модели	55
3.2.1 Основные этапы моделирования	55
3.2.2 Создание низкополигональной модели	55
3.2.3 Реализация текстурированной модели	58
3.2.4 Создание анимационного скелета	72
3.3 Реализация статичной модели	75
3.3.1 Инструменты Transpose и Decimation	77
3.3.2 Инструмент 3d print exporter	79
3.3.3 Формат stl	80
3.3.4 Проверка моделей в Netfabb Basic	82
Заключение	84
Библиографический список	85
Приложение А	89

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		3

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

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

ГОСТ 19.001-77 ЕСПД	Общие положения;
ГОСТ 19.004-80 ЕСПД	Термины и определения;
ГОСТ 19.101-77 ЕСПД	Виды программ и программных документов;
ГОСТ 19.102-77 ЕСПД	Стадии разработки;
ГОСТ 19.103-77 ЕСПД	Обозначение программ и программных документов;
ГОСТ 19.104-78 ЕСПД	Основные надписи.

ВВЕДЕНИЕ

Под компьютерной исторической реконструкцией понимается воссоздание культуры той или иной исторической эпохи с использованием археологических, изобразительных и письменных источников при помощи информационных технологий. На данный момент она является достаточно актуальной проблемой.

Объединение информационных технологий и накопленных исторических данных позволяет визуализировать прошедшие события и дать возможность обыкновенному пользователю приобщиться к ним. В настоящее время визуальные информационные технологии применяются практически во всех сферах человеческой деятельности. Процесс развития компьютерных технологий привел к расширению инструментария историка: новые инструменты анализа, репрезентации исторических источников обогатились базами данных, программами лингвистического анализа текста, геоинформационными системами, позднее в этот перечень вошли и средства трехмерного моделирования и визуализации.

Подобные реконструкции не только обогащают событийный календарь территории, в частности Амурской области, но и формируют культурную и историческую составляющую ее имиджа.

Объектом проводимых исследований является внешний вид участников обороны Албазинского острога. В данной работе описываются основные методы и этапы разработки моделей персонажей рассматриваемого исторического события. В результате исследования получаем совокупность компьютерных моделей участников исторического конфликта.

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		5

1. КОМПЬЮТЕРНАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ

1.1 Общее понятие компьютерной исторической реконструкции

Часто применяется термин "историческая реконструкция" или просто "реконструкция", но все ли знают, что это такое? В музейной практике существует термин "реставрация" – это восстановление чего-либо в максимально близком к первоначальному виде. Копия с изменениями размеров, но сохранением пропорций – это макет. Любой образ объекта, сделанный для исследования каких-либо его свойств, при сохранении объектом существенных, необходимых для исследования, качеств – это модель.

Но что же такое реконструкция? Одно из значений этого слова в Большом энциклопедическом словаре: "Восстановление первоначального вида, облика чего-либо по остаткам или письменным источникам". Другими словами, историческая реконструкция – это научная работа по воссозданию предметов старины, на основе всех доступных достоверных источников, и сам результат этой работы.

Реконструкцией является только тот предмет или комплекс предметов, который сделан на основе достоверных сведений. Основная проблема при работе с источниками – то, что люди, жившие до нас, далеко не всегда ставили себе целью донести до нас подробности своей жизни.

При реконструкции используются следующие основные источники:

1. Археологические данные.
2. Изобразительные источники.
3. Письменные источники.

Научная реконструкция исторического прошлого как процесс и как результат тесно связана с применением знаний, полученных в других научных дисциплинах, и в определенном отношении напоминает сборную конструкцию, а историк совмещает в своем лице функции и конструктора, и технолога, и сборщика. Историческое исследование подразумевает не только поиск исторических фактов, но и в создании из этих фактов определенной системы. При этом историк неизбежно обращается к фактам и закономерностям, относящимся к предметам других науч-

					ВКР.155504.09.04.04.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		6

ных дисциплин, а историческая теория представляет собой, в том числе и междисциплинарный синтез результатов этих дисциплин, своеобразное отражение достигнутого уровня развития науки в целом.

Со словом реконструкция обычно ассоциируются либо музеи с воссозданными предметами быта и архитектурой исчезнувших цивилизаций, либо одетых в униформу людей, разыгрывающих эпизоды военных конфликтов прошлого. До недавнего времени эти два типа реконструкций оставались практически единственными. Однако современные компьютерные технологии также предоставляют хороший инструментарий для воссоздания исторических событий.

Вопрос, который освещается в рамках данной главы можно обозначить так – "Компьютерная историческая реконструкция". Сначала стоит определить сам термин. Данная реконструкция это воссоздание некоего исторического события, или последовательности событий, поданные конечному пользователю в виде компьютерного виртуального воссоздания близких к реальным объектам макетов и моделей исторических раритетов.

В настоящее время существует огромное количество научных исторических школ, использующих самые различные методы работы с целью как можно более детального воссоздания исследуемой исторической эпохи. Применение технологий компьютерной реконструкции позволит при использовании уже существующих методик получить существенно новые научные данные, путем рассмотрения многих исторических фактов в едином пространстве и времени.

Суть технологии сводится к визуальному воссозданию максимально достоверного фактографического пространства (например, рельефа местности, соответствующего конкретному историческому периоду – рельеф и структура почв, гидрология, растительность, дорожная и объектовая инфраструктура и т.д.). Далее, на данной местности начинают разворачиваться события, о которых сохранились достоверные исторические факты. В рамках этих событий могли принимать участие конкретные люди, социальные группы, природные и техногенные явления и т.д.

Перечислим основные идеи, которые ложатся в основу любой реконструк-

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		7

ции:

1. Реконструктивная историческая реальность является не просто одной из разновидностей виртуальной реконструкции, это новый взгляд на компьютерную технику, где собственно игровой процесс занимает второстепенное положение относительно главной цели, а именно воссоздания выбранного исторического события.

2. Технически реконструктивная историческая реальность при соблюдении определенных условий представляет собой более легкую задачу для разработчика, чем оторванный от исторического контекста проект реконструкции. Авторам виртуальной исторической реконструкции, действие которой происходит в вымышленном мире, приходится прилагать немалые усилия для того, чтобы заставить пользователя сопереживать героям реконструкции, сделать мир реалистичным. В это же время, в реконструктивном виртуальном проекте момент сопереживания достигается уже тем, что пользователь знает, что происходящее на экране монитора было на самом деле, и именно это придает виртуальной реконструкции большую степень реалистичности.

3. Главная цель виртуальной реконструкции есть воссоздание исторических событий. Фактически это своеобразная интерактивная энциклопедия, оживший музей, в котором человек должен чувствовать себя соучастником событий.

4. Психологические моменты. Со временем энергетика события, его эмоциональный образ, сложившийся в коллективной памяти людей, начинает ассоциироваться с реконструкцией и "работать" на нее. Курская Дуга, Сталинград, Ватерлоо, Нормандия – все эти названия давно уже превратились в чрезвычайно емкие образы, с которыми у каждого человека связан ряд второстепенных образов. Реконструктивная реальность, передающая атмосферу исторического события, которому она посвящена, имеет все шансы присоединиться к этому списку.

5. Любая виртуальная историческая реконструкция далека от своего прототипа, даже самая подробная. В любом случае, это не более чем интерпретация событий, однако это единственный способ поместить пользователя из сегодняшнего дня в исторический контекст. Нельзя дважды войти в одну реку, но можно восста-

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		8

новить по описаниям очевидцев и фотографиям ландшафты, объекты городской и сельской среды обитания, архитектуру жилищ, предметы быта, транспортные средства и элементы среды обитания человека. Сделав компьютерную историческую реконструкцию, мы вместо имевшейся у пользователей иллюзии разместили свою, но находящуюся намного ближе к тому, что происходило на самом деле.

Еще в гробницах Египта находили миниатюры домов и храмов. В античной Греции модели из воска или дерева использовали для оценки архитектурного проекта. Широко начали использоваться макеты в эпоху Возрождения – тогда создавались миниатюры церквей, соборов. Очень сложный, детализированный макет собора святого Петра в Риме был более 7 метров в длину. Еще тогда макет использовался как инструмент привлечения внимания. Маленькие домики, деревья, фигурки людей, машин, фонарики, – все это создает иллюзию миниатюрной жизни.

В архитектуре макетом называется объемно-пространственное изображение проектируемого здания или существующего сооружения, архитектурного комплекса, ансамбля, выполненное в уменьшенном масштабе. Также макеты исторических зданий, замков можно часто встретить в музеях. Когда исторический экспонат или объект не может быть помещен в музейную экспозицию, или он является действующим, крупногабаритным объектом, тогда создается объемное воспроизведение этого объекта. Макет в определенном масштабе, условно воспроизводит подлинник.

Виртуальные модели исторической реконструкции – объемное или объемно-пространственное воспроизведение отдельных предметов или групп предметов, которые затем будут представлены в музейных экспозициях с демонстрацией на компьютере.

Любой музей является кладовой, где хранятся и изучаются предметы, которые представляют научную, культурную и историческую ценность. Многие из предметов в силу их уникальности нельзя выставлять, так как существуют специальные требования к условиям их хранения, например работа Кунсткамеры в зимний период, Алмазный фонд, фонды редких книжных изданий и др.

Виртуальные модели исторической реконструкции позволяют раскрыть по

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		9

максимуму, заложенные в конкретной музейной коллекции познавательные возможности.

Виртуальные модели исторической реконструкции целесообразно создавать в тех случаях, когда:

1. Предмет, который хотелось бы экспонировать – утрачен, но есть изображения, по которым его можно воссоздать в макете;
2. Предмет, который хотелось бы экспонировать имеет очень большие габариты, поэтому выполняется его масштабированный макет;
3. Предмет, который хотелось бы экспонировать является действующим, тогда создается его макет-копия.

Обычно музейные макеты являются «стендовыми», то есть не действующими, действующие же макеты – модели. В виртуальных же моделях исторической реконструкции можно показывать принцип их действия, то есть сделать их действующими и интерактивными.

Разработка виртуальной модели исторической реконструкции состоит из следующих этапов:

1. Реконструкция трехмерного пространства, на котором разворачивается интересующее исследователя историческое событие (сюда входит ландшафт, расположенные на нем природные или искусственные образования, свойственные данной местности природные явления и т.п.).

2. Реконструкция моделей искусственных сооружений (дома, дороги, мосты и т.д.). В зависимости от исторической эпохи может потребоваться воссоздание различных технических средств, соответствующих технологическому уровню данной эпохи (повозка, парусный корабль, паровоз, самолет и т.д.)

3. Разработка динамических моделей поведения различных технических объектов (скорость перемещения, мощность двигателей и т.п.). Это требуется, например, для того, чтобы при создании виртуальной местности, содержащей конкретный ландшафт, имеющей определенные физико-механические свойства грунта (чернозем, песок, глина, увлажненность, рельеф и т.д.) конкретное транспортное средство могло бы выполнить свое предназначение без явного нарушения

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		10

своих реальных функциональных возможностей (например, повозка не преодолевала бы непроходимые болота или останавливалась бы при определенной крутизне маршрута, механизированные войсковые соединения не двигались бы с недостижимыми для данных технических средств скоростями и т.д.).

4. Работа с историческими материалами (документами, артефактами, видео и аудио информацией). Результатом этой работы должны стать сценарии возможного развития той или иной исторической ситуации. Кроме этого, используемые исторические материалы должны быть переведены в цифровую форму, что с одной стороны будет способствовать лучшей сохранности этих материалов, с другой – существенно упростится возможность их многократного использования в процессе реконструктивного анализа.

5. Моделирование индивидуального и группового поведения людей, как социальных объектов.

6. Моделирование природных погодных явлений, сопутствующих реконструированному событию на основе различных источников (статистических многолетних наблюдений, моделей природных явлений и т.д.).

7. Моделирование процессов и возможные последствий природогенных катастроф (землетрясений и наводнений, цунами и засухи, извержения вулканов и ураганов).

8. Моделирование техногенных катастроф (пожары, радиоактивные и химикобиологические заражения, различные катастрофы и т.д.)

Если рассматривать понятие историческая реконструкция в более широком смысле, то это не только воссоздание первоначального облика старинных и утраченных предметов. Это воссоздание картины мира в целом, каким он виделся человеку воссоздаваемой эпохи. Для чего в первую очередь исследуется культура народа, в которой выражены его мировосприятие и система ценностей; документы, в которых отражена социальная, экономическая и политическая жизнь общества.

Для достижения этих целей и используется историческая реконструкция. Результат этого изучения – создание модели изучаемого общества. Компьютерная

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		11

историческая реконструкция – это создание комплекса методик и мероприятий, позволяющих восстановить целостную картину жизни, как отдельного человека, так и общества в определенной местности и эпохе.

1.2 Обзор существующих подходов компьютерной реконструкции

Компьютерные исторические реконструкции интересны ввиду не только возможности воссоздания событий прошлого, но и изучения альтернативных вариантов развития истории.

В каждой такой игре делается попытка смоделировать ситуацию, царившую на тот или иной момент в конкретном государстве. Игроку дается возможность при помощи экономической политики, дипломатии или военных действий изменить ход истории. Также такие исторические игры обычно отличаются высоким уровнем детализации быта: предметов обихода, оружия и одежды. Стоит уточнить, что не все игры жанра придерживаются четкого соблюдения исторической хронологии событий. Часть из них может быть уже основана на событиях альтернативной истории, как, например, знаменитая серия Red Alert.

Age of Empires это серия компьютерных игр, разработанная Ensemble Studios и изданная Microsoft. Первая часть была выпущена в 1997. С тех пор было выпущено 7 частей и 3 отдельных игры по мотивам основной серии. Игра относится к жанру стратегий в реальном времени.

Age of Empires фокусируется на событиях в Европе, Африке и Азии. Игра охватывает период с каменного века и до железного. Дополнение к игре рассказывает о формировании и расширении Римской империи. Действие событий продолжения Age of Empires II: The Age of Kings происходит в средние века, в то время как дополнение к нему частично затрагивает завоевание Мексики испанцами. Последовавшее продолжение Age of Empires III рассказывает о колонизации Америки европейцами, а также упадке в азиатском регионе.

Выпущенная Age of Empires Online отличалась от предшественников тем, что является free-to-play онлайн игрой. Free-to-play – бизнес-модель, позволяющая пользователю играть без внесения денежных средств.

					ВКР.155504.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12



Рисунок 1 – Кадр из проекта Age of Empires

Авторы игр получают прибыль путём микротранзакций. Игра, созданная по мотивам серии, Age of Mythology рассказывала о том же периоде, что и оригинальная Age of Empires, но фокусировалась на мифологии Греции, Египта и Норвегии.

Серия Age of Empires обладала коммерческим успехом, с продажами более 20 миллионов копий. Популярность и качество серии заслужили Ensemble Studios отличную репутацию как разработчика стратегий. Ensemble совместно работала с другим разработчиком, компанией Huge Games при создании Age of Empires III: The Asian Dynasties. Критики отчасти приписывают популярность проекта именно выбранной исторической теме.

Total War это серия стратегий, разработанная студией The Creative Assembly. Игра сочетает в себе пошаговую стратегию, управление ресурсами и тактическое управление сражениями в реальном времени. Первая игра в серии появилась в 2000 году. Последняя на данный момент Total War: Warhammer была выпущена 24 мая 2016 года. Серия включает в себя несколько режимов: кампания (действие происходит в каком-то отдельном районе в определённый исторический период), историческое сражение (на карте специальными фигурками и зданиями обозначе-

ны армии, флот и города).



Рисунок 2 – Кадр из проекта Total War

Первые две игры серии включали только стратегический режим: армии могли двигаться по суше только из одной провинции в другую. Начиная с Rome: Total War карта стала трёхмерной, и величина пройденного расстояния стала зависеть от типа выбранного юнита, характера местности и времени года. За один ход игрок может выполнить ряд действий: приказать строить и/или отремонтировать здание, набрать новый отряд в городе, пополнить отряды и/или перевооружить их, переместить отряды и армии, начать переговоры, осуществить шпионаж, диверсию.

Stronghold это еще одна историческая стратегия, разработанная студией Firefly Studios в 2001 году. Игра в основном нацелена на завоевания и расширение территорий с помощью военных действий, но в ней есть место и экономической стратегии. Действие происходит в средневековой Британии около 1066 года. Однако в игре отсутствуют временные ограничения, поэтому действие может продолжаться сотни лет спустя этой даты.

Игрок берет на себя роль правителя королевства, цель которого это создать

стабильную экономику и сильную армию для защиты от вторжений и осады вражеских замков.



Рисунок 3 – Кадр из проекта Stronghold

В игре существует несколько режимов, включающих и боевые действия, и экономические миссии. Основным режимом является военная кампания на территории Англии. Предысторией является то, что король был захвачен во время вторжения в соседнее королевство варваров. Четыре лорда захватили контроль над королевством и поделили его на свои территории. Правителем, за которого играет пользователь, является молодой и неопытный командир, чей отец угодили в засаду и был убит. Ему помогают два лорда, оставшиеся верными королю. Игроку необходимо восстановить контроль над королевством, отвоевав уезды у соперничающих лордов. Экономическая составляющая следует за основной кампанией, игроку необходимо восстановить королевство, а также справиться с такими проблемами как бандитские набеги и пожары. Также в игре присутствует режим осады, где игрок может атаковать или защищать один из нескольких исторических замков.

Игра заслужила большое количество хвалебных рецензий от критиков и была хорошо принята игровым сообществом, что послужило причиной выхода целых пяти продолжений.

Однако, исторические реконструкции посвящены не только древним временам или средневековью. Red Dead Redemption это вестерн с открытым миром, разработанный Rockstar San Diego и вышедший в 2010 году. Действие происходит в Соединенных Штатах в 1911, главный герой Джон Марстон, бывший преступник, чьи жена и сын взяты заложниками правительством до тех пор пока Марстон не найдет и не привлечет к ответственности трех членов своей бывшей банды.



Рисунок 4 – Кадр из проекта Red Dead Redemption

Red Dead Redemption это игра от третьего лица с открытым миром, позволяющим игроку активно взаимодействовать с ним. Территория включает в себя западную часть Соединенных Штатов и Мексику. В игре присутствует система «морали», согласно которой действия игрока влияют на отношение к нему других персонажей. Также присутствует многопользовательский режим до 16 игроков.

После своего релиза Red Dead Redemption была отмечена многими рецензентами за визуальную составляющую, динамически генерируемую музыку, озвучение, игровой процесс и сюжет.

Call of Duty это серия игр от первого лица, первые три из которой посвящены второй мировой войне. Серия берет начала с 2003 года. Игровой процесс посвящен действиям пехотинцев. Дополнение Call of Duty: United Offensive было по-

священо американским и британским парашютистам, а также Красной армии. В третьей игре серии внимания также было уделено канадским, польским и французским армиям.



Рисунок 5 – Кадр из проекта Call of Duty

Call of Duty ставит под контроль игрока солдата пехоты, который использует в бою различные виды огнестрельные оружия Второй мировой войны. Каждая миссия имеет ряд целей, которые отмечены на компасе; Игрок должен выполнить все задачи, чтобы перейти к следующей миссии. Игрок может сохранять прогресс и загружать его в любое время, в последующих же играх серии стала использоваться система контрольных точек.

У игрока есть два основных слота для оружия, а также возможность нести на себе до десяти гранат. Оружие можно обменивать с теми, что были найдены на поле битвы, сброшенными мертвыми солдатами. В отличие от более поздних игр серии, первая часть позволяет игроку переключаться между различными режимами стрельбы (одиночный выстрел или автоматический огонь). В дополнение к оружию, которое несет игрок, есть возможность использовать пулеметы и другое фиксированное на месте оружие.

В игре используется стандартная система очков здоровья с ограниченным их количеством, отраженным на соответствующей шкале. Аптечки, разбросанные по всем уровням или брошенные некоторыми противниками, используются для восстановления здоровья, когда игрок ранен.

В игре использует эффект контузии: когда рядом с игроком происходит взрыв, окружающие звуки становятся приглушенными, происходит помутнение зрения и имитируется звон в ушах, также это приводит к замедлению игрока, к неспособности бежать.

Поскольку основное внимание в игре уделяется симуляции реального поля битвы, геймплей отличается от многих однопользовательских шутеров того времени. Игрок перемещается вместе со своими союзниками, а не в одиночку. Союзнические солдаты будут помогать игроку в победе над вражескими солдатами и наступать, однако игроку даются приказы на выполнение определенных целей. В игре особое внимание уделяется использованию поддержки, подавляющего огня и гранат. Солдаты, контролируемые искусственным интеллектом, прикрываются за стенами, баррикадами и другими препятствиями.

World of Tanks многопользовательская онлайн игра, разработанная Белорусской компанией Wargaming, демонстрирующая танковые сражения первой половины 20 века.

Танки моделируются таким образом, чтобы они максимально напоминали свои аналоги из реальной жизни, однако некоторые параметры были упрощены или изменены, чтобы соответствовать игровой механике и лучшему игровому процессу. В игре существует пять различных типов транспортных средств: легкие танки, средние, тяжелые, истребители танков и самоходные артиллерийские установки. В настоящее время в игру входит более 400 бронемашин из Великобритании, Китая, Чехословакии, Франции, Германии, Японии, Советского Союза, Швеции и Соединенных Штатов. В каждой стране есть, по крайней мере, одна линия транспортных средств, начиная с уровня 1 до уровня X, игроки продвигаются, играя в игры на транспортных средствах в этой линии.

Транспортные средства в данном проекте охватывают эпохи от Первой ми-

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		18

ровой войны до ранней холодной войны.



Рисунок 6 – Кадр из проекта World of tanks

Танки в игре основаны на их исторических проектах, хотя многие из них, такие как немецкий Maus и британский TOG II, существовали только как прототипы, а другие, такие как FV215b 183, только в качестве проектных исследований. В игре также представлены концептуальные конструкции транспортных средств, такие как Jagdpanther II, которые никогда не существовали.

1.3 Историческая справка обороны Албазина

Период с 1640 по 1650 год характеризуется приходом на Амур экспедиций из Якутска, состоящих из служилых и промышленных людей. В 1643-46 годах в Приамурье действовал отряд В.Д. Пояркова численностью 133 человека, а в 1649-1653 годах отряд Е.П. Хабарова из более чем 200 казаков, к которому в 1652 году присоединился отряд Т.Е. Чечигина из 137 людей, вооруженные ружьями. Кроме того, в 1653 году на Амур прибыл из Москвы Д.И. Зиновьев со 150 московскими стрельцами и 180 служилыми из городов Западной и Восточной Сибири. В 1653-58 годах в бассейне Амура находился отряд О. Степанова численностью около 540 человек, в число которых входили люди, прежде находившиеся с Е.П. Хабаровым, и сибирские служилые Д.И. Зиновьева.

Служилые люди состояли из казаков и стрельцов, все примкнувшие к ним

						ВКР.155504.09.04.04.ПЗ	Лист 19
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			

другие категории русского сибирского населения назывались «охотниками». В составе служилых могли быть барабанщики, толмачи, кузнецы и пушкарки, если в отряде были артиллерийские орудия. Экипировка всех этих людей не имела каких-то специфических различий.

Вооружение воинов состояло из огнестрельного, холодного оружия и защитного вооружения. Огнестрельное оружие включало в себя пищали и мушкеты.

Наиболее часто в документах речь идет об использовании русскими первопроходцами пищалей, иногда с дополнительной характеристиками: «гладкая» (то есть не нарезная), «из государевой казны». В большинстве это были гладкоствольные ружья среднего и малого калибра, снабженные ударно-кремневым замком русского типа, стрельба из которых производилась с рук без использования подпорок. Пищали в России XVII века изготавливались в Москве и Туле.

Упоминания об использовании первопроходцами в Приамурье мушкетов единичны. Мушкет – это тяжелое крупнокалиберное ружье, предназначенное для стрельбы с подпорки, снабженное фитильным замком.

Каждый воин имел при себе боезапас от 0,5 до 3 фунтов пороха и свинца, из которого выливались пули. Анализ миниатюр Ремезовской летописи показал, что важной особенностью экипировки сибирских служилых было то, что они хранили заряды в специальных сумках, носимых на поясе, а не в банделерах как пехотинцы в европейской части России. Отсутствие упоминаний о банделерах в документах подтверждает это предположение.

Из видов холодного оружия, используемых первопроходцами, упоминаются копья, сабли, ножи. В силу того, что холодное оружие имело второстепенное значение при ведении боя, известия о нем в источниках редки. Известно, что практически все воины в экспедиции Хабарова были вооружены саблями и активно применяли их в рукопашных схватках. Наличие сабель у якутских служилых и охочих людей, составивших костяк отряда, можно связать с комплексом вооружения первопроходцев, сложившимся в Южной Сибири и Прибайкалье, так как многие из них были отправлены из Енисейска в Якутск.

Защитное вооружение состояло из якутских куяков (вид доспеха, состоящего из металлических пластин, нашитых на тканую или кожаную основу), панцирей, различных видов шлемов, а также наручей и поножей. Самое широкое применение находили куяки, о чем неоднократно упоминается в источниках. В отряде В.Д. Пояркова было 70 выданных казной куяков, то есть у каждого второго воина, в экспедиции Е.П. Хабарова почти каждый человек имел этот вид доспеха.

Часть куяков в отряде Е. Хабарова были взяты им из государственной казны и везлись отдельно от остального имущества с казенным боезапасом, выдаваясь на время боя. В случае предполагаемой опасности куяки были надеты постоянно. Чтобы уменьшить потери, воины в куяках шли в самые опасные места при штурме укреплений противника. При штурме казаками даурского Гуйгударова города в пролом в стене пошли «куячные люди, а иные служилые люди за щитами, стену отняли, и в город вошли».

Другие виды доспехов употреблялись видимо значительно реже, например, в отряде В.Д. Пояркова было 10 панцирей (вид облегченного кольчатого доспеха, сплетенного из плоских колец), 17 шлемов, 10 наручей и пара поножей. Несмотря на то, что в данном случае на 133 человека было всего 17 выданных казной шлемов, реальное их количество могло быть больше. Например, в русских источниках нет упоминаний об использовании шлемов казаками, возглавляемыми Е. П. Хабаровым и позже О. Степановым, однако, разгромив в 1659 году часть этих людей в месте слияния Амура и Сунгари, маньчжуры в описании своих трофеев упоминают пушки, шлемы и латы.

Таким образом, русский первопроходец мог иметь при себе на вооружении шлем, куяк, пищаль, саблю, копье и нож. Другие виды оружия такие как мушкеты, панцири, наручи, поножи также использовались, но значительно реже.

Отдельно стоит выделить экипировку стрельцов Д. И. Зиновьева, снаряженных в столице, которые имели единообразное вооружение, соответствующее вооружению московских стрельцов. Их боезапас, выданный казной в расчете на 1 человека, почти вдвое превышал максимальное количество пороха и свинца, выделенное в Якутске для экспедиций в Приамурье.

После разгрома в 1658 году маньчжурскими войсками экспедиции, возглавляемой О. Степановым, на Амуре долгое время действовали только «воровские полки» из числа русских, бежавших от государственной власти из Илимского уезда, численность этих полков достигала 300 человек. В 1665 году отряд беглых илимских казаков на Амуре во главе с Н.Ф Черниговским построил Албазинский острог, ставший впоследствии центром военно-административной власти России в Приамурье. К 1685 году, когда Албазин был первый раз осажден маньчжурскими войсками, численность русского населения Албазинского уезда, по данным А.Р. Артемьева, составляла около 800 человек, из которых служилых около 200 человек, остальные из числа крестьян и промысловых. Во время второй осады 1686-1687 годов острог защищало 826 человек, значительную часть которых составляли служилые, снаряженные в 1684 году в западносибирских городах: Тобольске, Тюмени, Верхотурье и Туринске, – отправленные из Нерчинска в Албазин с поручиком А.И. Бейтоном и воеводой А.Л. Толбузиным.



Рисунок 7 – Иллюстрация воеводы Толбузина

К концу осады в живых осталось только 66 человек. По условиям Нерчинского договора 1689 года Албазин был срыт, и русского военного присутствия в

					ВКР.155504.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

Приамурье не было до середины XIX века.

Комплекс вооружения русских первопроходцев в этот период претерпел изменения по сравнению со снаряжением казаков, участвовавших в первых экспедициях на Амур.

Основным оружием оставалась гладкоствольная пищаль с кремневым замком. Ей были вооружены практически все служилые люди, действующие в регионе. Значительные партии этого оружия поступали в Даурию из Тобольска как отдельно, так и с вооружением прибранных для службы в Приамурье людей. Неслужилое население Приамурья также имело на вооружении пищаля. Из-за общей нехватки оружия пищаля использовались очень долго до полного износа.



Рисунок 8 – Иллюстрация офицера

В этот период значительное распространение среди русских первопроходцев получает нарезная пищаль или винтовка, которая обладала большей дальностью стрельбы. Будучи личным оружием, купленным на свои средства, винтовка использовалась как боевое и как промысловое оружие. А так как охотничьим промыслом занималось почти все население Приамурья, распространение этого

вида оружия сложно переоценить.

Так же в частном порядке приобретались и другие виды огнестрельного оружия: карабины и пистолеты, однако из-за высокой цены данное оружие было редкостью в Приамурье.

Известия о холодном оружии, используемом первопроходцами, также редки. В 1682 году Федор Воейков, вступивший в конфликт с албазинскими казаками, был обвинен последними в том, что велел «промышленным и гулящим людям и пашенным крестьянам албазинских казаков копыя колоть и сабли рубить». Однако это не более чем образное высказывание. Единственным оружием крестьян в Приамурье были выданные им государством пищали, отнятые у них албазинскими казаками.



Рисунок 9 – Иллюстрация рядового казака

Таким образом, можно сделать заключение о том, что в отличие от 1650-х годов в этот период сабли служилыми людьми не использовались.

Древковое вооружение было более разнообразным. Например, казаки Тургирского острожка, ограбленные и обезоруженные отрядом «воровских» албазинских и якутских казаков, писали, что те, посадив их в колодки, «с копыи и с оружием над ними стояли», а среди имущества албазинского казака Оски Иванова было «4 пальмы якутского дела». Пальмы это сибирское древковое оружие типа глефы, европейского оружия, представляющего собой одностороннее лезвие на конце древка. Возможно, и копыя, и пальмы были достаточно широко распространены среди «коренного» служилого населения Приамурья, формировавшегося с момента прихода казаков Н.Ф. Черниговского.

Все воины из Западной Сибири, пришедшие в Албазин в 1685-86 годах под руководством А.Н. Бейтона и А.Л. Толбузина, были вооружены бердышами, присланными в Тобольск из Москвы. Бердыш это холодное оружие типа секиры с искривлённым лезвием в виде полумесяца, расположенном на длинном древке.



Рисунок 10 – Иллюстрация крестьянина

Упоминания об этом оружии встречаются в сдаточных росписях казны Ал-

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		25

базинского острога. Кроме того, бердыши посылались в Албазин из казны Нерчинского острога.

Известий об использовании защитного снаряжения в этот период русскими в Приамурье не встречено, так как не было в них острой необходимости – до конфликта с маньчжурами жизнь в Приамурье была относительно мирной. Значительного прихода людей из Якутска с кюяками не было. Из Прибайкалья кюяки тоже не поступали, так как боев с бурятами уже не было и у прибайкальских служилых не было нужды в доспехах – в Забайкалье было мало служилого населения и значительного количества доспехов также оттуда не могло поступить.

Таким образом, в основном служилый Приамурья использовал: пицаль или винтовку, копье или пальму, нож. Другие виды оружия, такие как карабины, пистолеты, сабли использовались, но довольно редко.

Другой категорией были воины, набранные в западносибирских городах для службы в Даурии. Комплекс их вооружения был достаточно однообразен и прислан из Москвы (пицаль, бердыш и ручные гранаты).

Если сравнивать вооружение, которое использовалось русскими первопроходцами в 1640-1650 и 1660-1680-х годах, видно, что в первом случае служилые ориентировались на наступательную тактику ведения боя, в том числе и в рукопашные схватки, старались обеспечить себя максимальным количеством доступного оружия, а во втором случае – на оборонительную тактику, и в комплексе их вооружения появляются универсальные виды оружия пригодные как для войны, так и для промысловой деятельности: винтовки, пальмы. Вооружение людей изначально было регламентировано в Москве и мало соотносилось с реальной необходимостью в каких-то видах вооружения.

2. ПРОГРАММНОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

2.1 Базовое прототипирование

Основным пакетом для базового моделирования в данной работе является ZBrush – программное обеспечение для трёхмерного моделирования, созданная компанией Pixologic. Первая версия программы появилась около десяти лет назад и не предназначалась для работы с 3d, а была двумерным редактором. Отличительной чертой данного программного обеспечения является имитация процесса «лепки» 3d-скульптуры, усиленного движком трёхмерного рендеринга (визуализации) в реальном времени, что существенно упрощает процедуру создания требуемого 3d-объекта. Каждая точка (называемая пиксель) содержит информацию не только о своих координатах XY и значениях цвета, но также и глубине Z, ориентации и материале. Это значит, что вы не только можете «лепить» трёхмерный объект, но и «раскрасить» его, рисуя штрихами с глубиной. Таким образом, нет необходимости рисовать тени и блики, чтобы они выглядели натурально – ZBrush это сделает автоматически. Также быстро работает со стандартными 3d объектами, используя кисти для модификации геометрии материалов и текстур. Позволяет добиться интерактивности при очень большом количестве полигонов. Используя специальные алгоритмы, программы в состоянии поднять детализацию до десятков (а то и сотен) миллионов полигонов. Также имеется множество подключаемых модулей (работа с текстурами, геометрией, множество различных кистей, быстрая интеграция с профессиональными пакетами 2d графики и многое другое). Программа применяется практически во всех областях так или иначе связанных с 3d моделированием, а именно в киноиндустрии, создании видеоигр, иллюстраций, рекламы, научных визуализаций, автомобильном и ювелирном дизайне, 3d печати.

Сфера киноиндустрии развивается и меняется крайне быстро. Режиссеры и продюсеры требуют от дизайнеров достижения больших результатов за меньшее количество времени. Зрители же в свою очередь требуют такого качества визуальных эффектов, которые бы размыли границу между реальным и виртуальным миром. Благодаря Zbrush создание концептов и их реализация

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		27

занимает всего несколько дней или даже часов.

Zbrush получил Оскар в номинации "за научно-технических достижения в области кинематографа". В отличие от других оscarовских номинаций, награды за научные технические достижения вручаются не по результатам минувшего года, а по совокупности заслуг – вклад должен быть важен для индустрии в целом и доказать свою значимость в области производства и показа кинолент.

Zbrush используется для создания крайне высокодетализированных моделей по концептам. Функция HDGeometry позволяет работать с моделями до 1 млрд. полигонов. Polypainting технология позволяет создавать текстуры, устраняя на данном этапе такие технические ограничения как создание UV развертки, которая может быть создана позднее.

Импорт и экспорт программы поддерживают такие форматы как OBJ, STL, FBX и MA. Также существует плагин GoZ, позволяющий в два клика мыши взаимодействовать с такими программами как Maya, 3Ds Max, Modo, Cinema 4D и многие другие, отправляя модели из Zbrush и обратно.

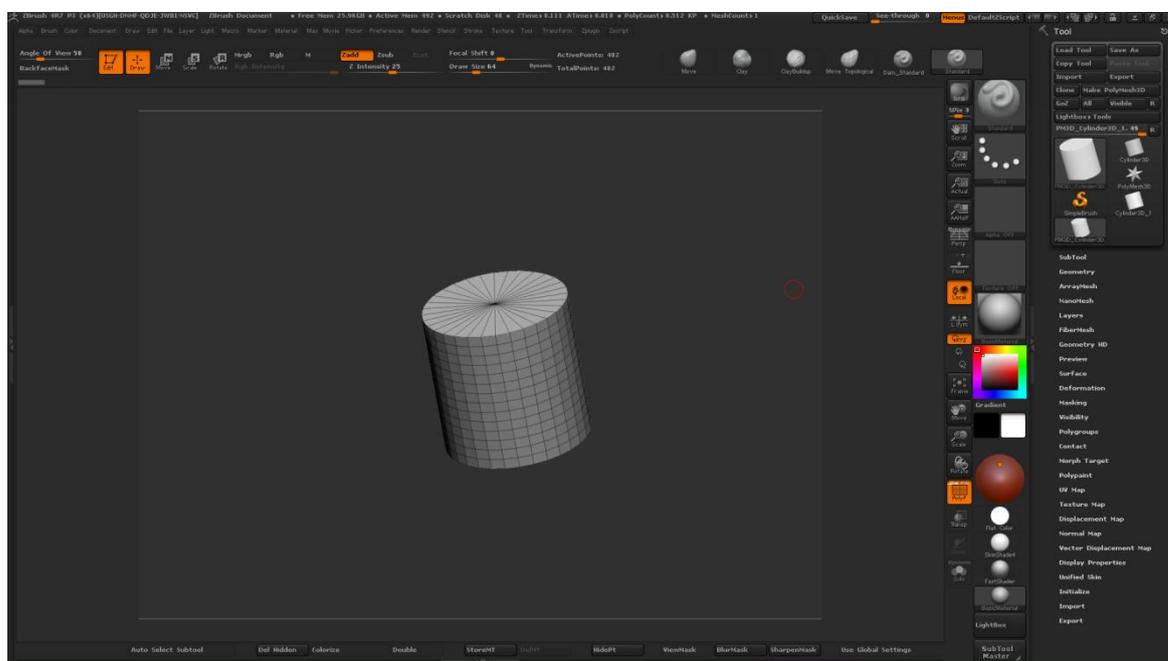


Рисунок 11 – Интерфейс программы Zbrush

Для удобной работы с программой рекомендуется использовать графический планшет вместо компьютерной мыши. Это периферийное устройство состоит

из плоского планшета, чувствительного к нажатию и пера. Планшет позволяет создавать изображения на компьютере способом, сходным с созданием изображений на бумаге. Также его можно использовать и для обычного ввода, который осуществляется мышью. Планшет можно настроить под нужды конкретного пользователя. Существуют также профессиональные планшеты, на которых изображение выводится непосредственно на рабочую область планшета, а не на монитор. Однако и обычные планшеты с успехом используются профессионалами.

Сегодня ZBrush используется практически в каждом фильме со специальными эффектами. Некоторые из фильмов, где ZBrush играет ключевую роль: Аватар, Невероятный Халк, Мстители, Властелин колец, Хоббит, Трон, Стар Трэк, Железный Человек, Тихоокеанский рубеж, Человек-паук, Хроники Нарнии, Пираты Карибского моря. ZBrush также играет важную роль в анимационных мультфильмах, таких как Ральф, Ранго, Гадкий я, Лоракс, Рапунцель и другие.

2.2 Динамическая модель

В ходе работы над созданием модели, пригодной к анимированию было использовано следующее программное обеспечение:

Autodesk 3ds Max (ранее называемый 3D Studio, затем 3D Studio Max) это программа трехмерной графики, предназначенная для создания анимаций, моделирования, визуализации изображений. Разработчиком является Autodesk Media and Entertainment.

Программа обладает гибкой архитектурой и предназначена для платформы Microsoft Windows. Чаще всего 3ds Max используется разработчиками игр, рекламными студиями, студиями архитектурной визуализации, а также киностудиями для создания визуальных эффектов. С последними версиями 3ds Max также стал поддерживать шейдеры (такие как ambient occlusion и subsurface scattering), динамическую симуляцию, систему частиц, глобальное освещение, создание карт нормалей, настраиваемый пользовательский интерфейс и свой собственный скриптовый язык.

Первая версия 3D Studio была создана для DOS Гэри Уостом и его компанией Yost Group, и выпущена компаний Autodesk. Выпуск 3D Studio сделал

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		29

предыдущий трехмерный пакет от Autodesk называемый AutoShade устаревшим. После выхода 4 версии 3D Studio для DOS, продукт был переделан под Windows NT и переименован в 3D Studio MAX. Эта версия также была создана Yost Group. Выпуском программы занималась Kinetix, подразделение Autodesk. Продукт был куплен Autodesk после выхода второй версии 3D Studio MAX, и разработка полностью перешла к компании в течение следующих двух релизов. Позднее, продукт был переименован в 3ds max (все буквы строчные). Когда продукт был переиздан (релиз 7), к нему снова добавили логотип Autodesk, сокращенное название изменили на 3ds Max (теперь с прописной буквы), в то время как полное официальное название стало Autodesk 3ds Max.

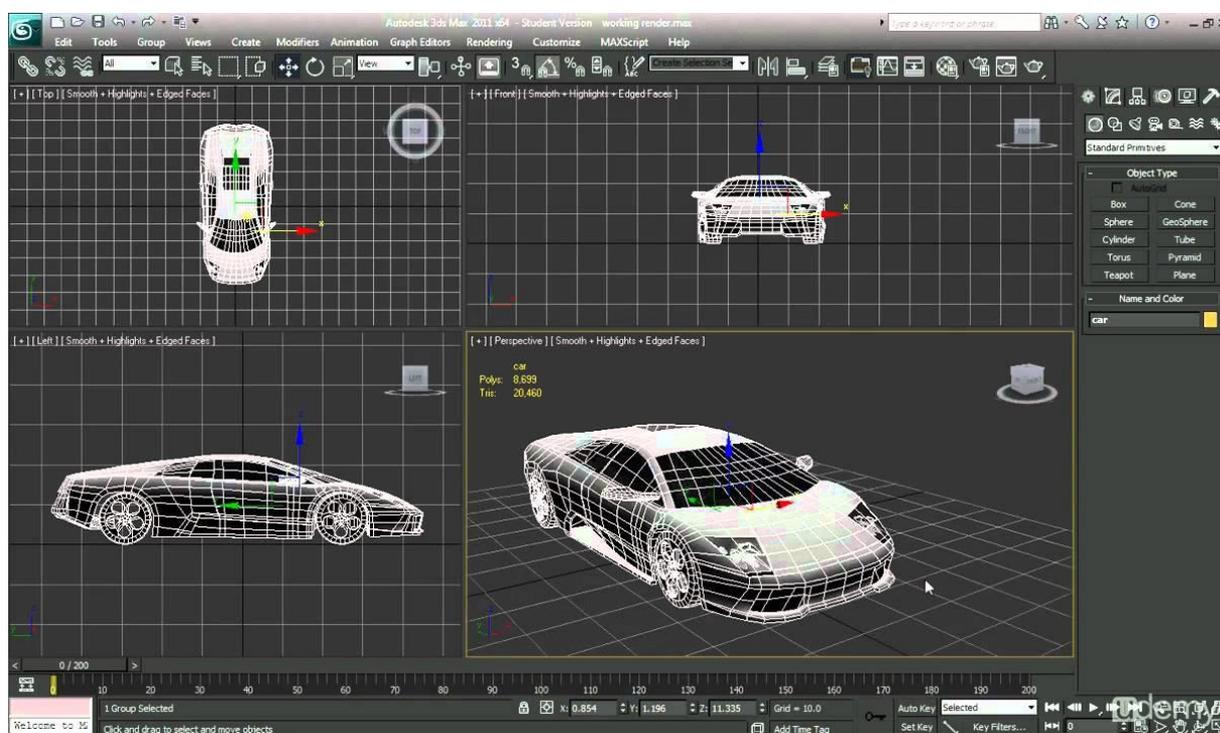


Рисунок 12 – Интерфейс программы 3ds Max

Основные особенности пакета:

1. MAXScript это встроенный скриптовый язык, предназначенный для автоматизации повторяющихся действий, комбинации существующего функционала новыми способами, создания новых инструментов и др. Плагины могут создаваться исключительно с помощью MAXScript.

2. Character Studio это плагин, появившийся с четвертой версии программы. Система работает с так называемым biped скелетом, который может быть модифицирован и настроен под модели персонажей и нужды анимации. Также плагин позволяет работать со слоями, настраивать позы, создавать анимацию по ключевым кадрам, а также совместно использовать данные анимации для разных скелетов biped.

3. Scene Explorer это инструмент иерархического представления данных сцены и их анализ, предназначен для облегчения работы со сложными сценами. Scene Explorer позволяет сортировать, фильтровать и осуществлять поиск по любому типу объекта или свойству (включая метаданные). Добавленный в версии 2008 года, он был первым компонентом, помогающим .NET управляемому коду в 3ds Max за пределами внутреннего скрипт языка.

4. 3ds Max поддерживает работу с текстурами, включая такие функции как тайлинг, отзеркаливание, поворот на нужный угол, экспорт изображения uv развертки и др. Программа позволяет комбинировать неограниченное количество текстур с помощью браузера текстур и материалов с поддержкой drag-and-drop. Также существует возможность копировать материалы, текстуры и цвета. При создании развертки можно воспользоваться одним из быстрых алгоритмов (цилиндрический, сферический или прямоугольный).

5. Быстрый и интуитивный контроль над анимацией по ключевым кадрам – включая такие привычные команды как вырезать, копировать и вставить. Траектории анимации можно просмотреть и отредактировать прямо во вьюпорте.

6. Модификатор Skin может использоваться для достижения полного контроля над скелетной деформацией, чтобы обеспечить плавную деформацию при движении суставов даже в таких сложных областях как плечи. Деформации контролируются с помощью весов вершин, которые можно сохранить или загрузить, что дает возможность переносить их на другие модели.

7. Персонажи могут оснащаться анимационным скелетом при помощи «костей», ИК модификаторов и средствами Motion Capture Data. Все анимационные инструменты могут использоваться вместе с набором утилит, созданных специ-

ально для работы с «костями», для создания сетапа любой конструкции.

8. В дополнение к модификатору ткани реактора программное обеспечение 3ds Max имеет встроенный движок симуляции ткани, который позволяет пользователю превращать практически любой трехмерный объект в ткань. Деформации могут записываться в кэш на жестком диске для улучшения производительности.

3D Coat – программа трехмерного моделирования от компании Pilgway. В функционал программы входят скульптинг и полигональное моделирование, создание uv разверток, текстурирование, а также визуализация статичных изображений. Отдельно стоит отметить отлично реализованную функцию ретопологии (создание низкополигональной модели поверх уже имеющейся высокополигональной). По сравнению с аналогичной функцией в других пакетах является более интуитивной и удобной в использовании.

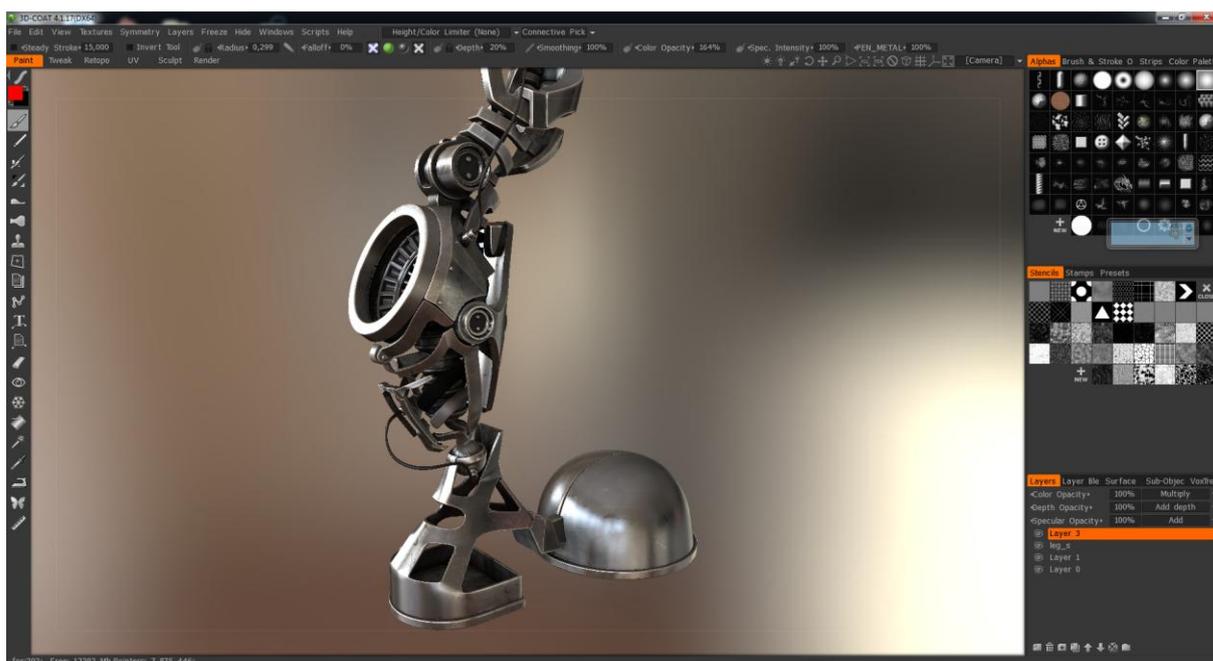


Рисунок 13 – Интерфейс программы 3D Coat

Substance Painter – программа для создания текстур (растровое изображение, накладываемое на поверхность трехмерной модели для придания ей цвета, иллюзии рельефа, степени отражения поверхности и других параметров).

Основные особенности:

1. Рисование частицами – позволяет с помощью симуляции частиц в реаль-

ном времени создавать такие эффекты на поверхности как потеки воды, грязь, и даже огонь.



Рисунок 14 – Интерфейс программы Substance Painter

2. Экспорт в большинство современных движков – Unity, Unreal Engine 4, Cryengine, Lumberyard, а также в такие рендеры как Arnold, V-Ray и многие другие.
3. Рисование материалами – такую возможность дает работа с несколькими каналами сразу (diffuse, roughness, metalness и др.).
4. Iray рендер – позволяет получить изображение высокого качества за несколько секунд с помощью технологии визуализации от NVidia.
5. Смарт материалы и маски.
6. Физически корректные шейдеры.
7. Поддержка скриптов – возможность создавать плагины с помощью JavaScript.
8. Возможность изменить UV развертку или топологию в любое время без каких-либо потерь.
9. Поддержка работы сразу с несколькими текстурными сетями.
10. Возможность работы как в 2d режиме, так и в 3d.

11. Shelf – библиотека пресетов материалов, инструментов и эффектов. Все пресеты могут настраиваться по желанию пользователя.

12. Substance Share – база бесплатных материалов, постоянно пополняемая пользователями.

Mixamo – онлайн сервис анимации и персонажей. Данный сайт после обычной регистрации по электронной почте позволяет в автоматическом режиме создавать анимационный скелет для трехмерных моделей.

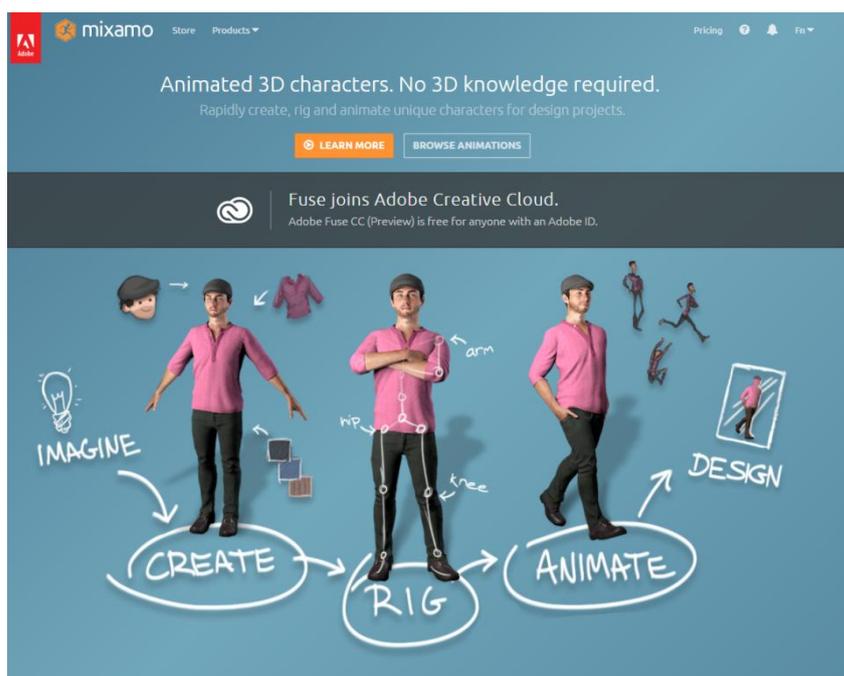


Рисунок 15 – Главная страница онлайн сервиса Mixamo

После создания скелета можно протестировать модель на предлагаемых анимациях и скачать модель в интересующем формате.

2.3 Статичная модель

Создание статичной модели включает в себя подготовку базовой модели к трехмерной печати, которая обладает своими особенностями.

2.3.1 Технология 3d печати

Процесс 3d печати, иначе называемый быстрым прототипированием, осуществляется периферийным устройством, называемым 3d-принтером, использующим метод послойного создания физического объекта по цифровой 3d

модели.

3d-печать может осуществляться несколькими способами и с использованием различных материалов (начиная от пластика и заканчивая металлами), но в основе любого из них лежит принцип послойного создания объекта. Данная технология напоминает обычную 2d печать, но повторяемую многократно.

Существуют следующие технологии, применяемые для создания слоев: лазерная и струйная.

Лазерная включает в себя следующие методы:

1. Лазерная стереолитография

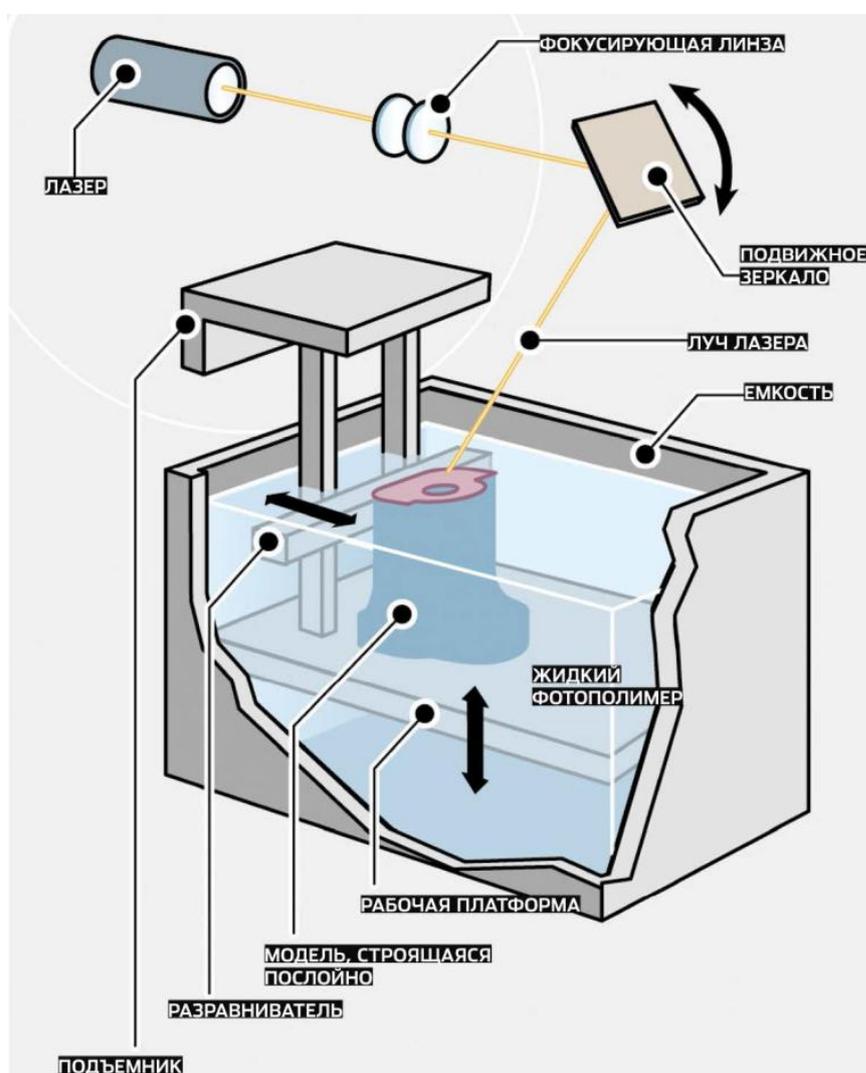


Рисунок 16 – Лазерная стереолитография

В данной технологии ультрафиолетовый лазер постепенно, миллиметр за

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

миллиметром, засвечивает жидкий фотополимер, либо фотополимер засвечивается ультрафиолетовой лампой через фотошаблон, который меняется с каждым новым слоем. В процессе происходит затвердевание жидкого полимера, и он превращается в достаточно прочный пластик.

2. Лазерное сплавление.

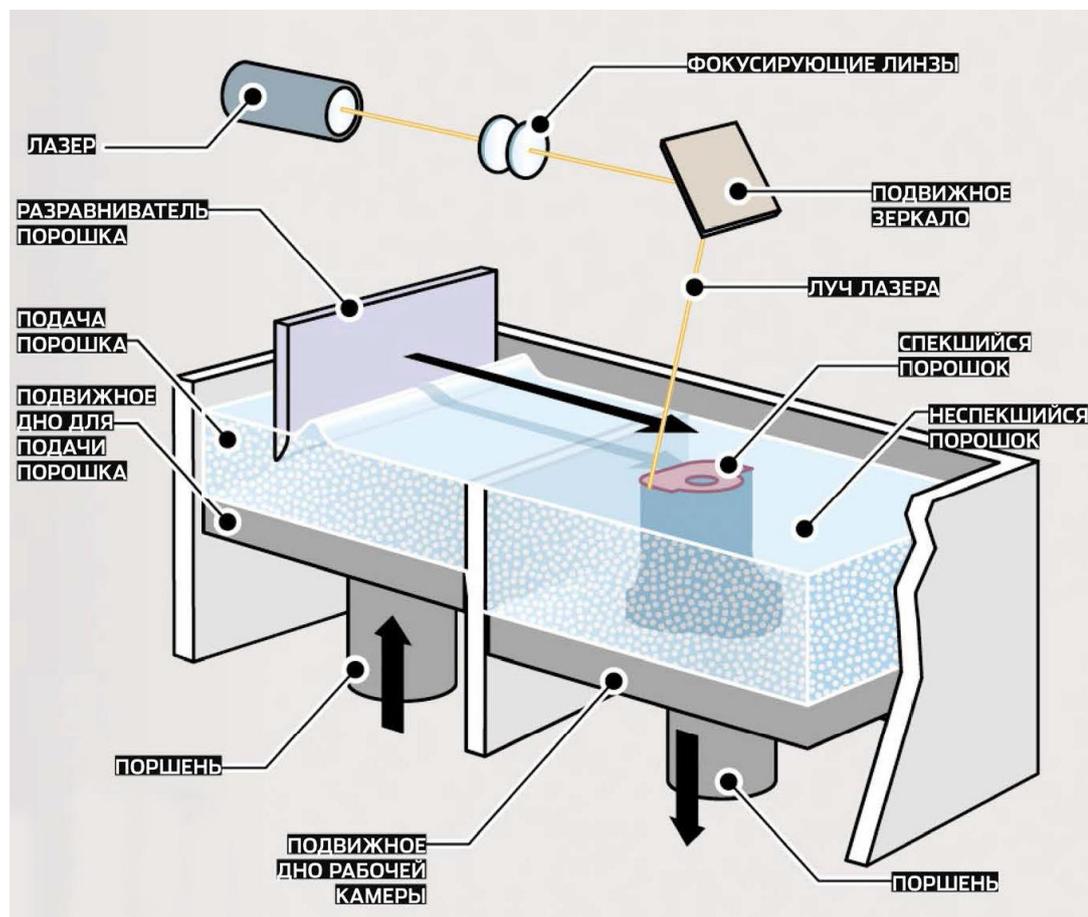


Рисунок 17 – Лазерное сплавление

В данном процессе лазер сплавляет порошок из металла или пластика, слой за слоем, по контуру будущей детали. В данной технологии материал наносится на платформу тонким равномерным слоем с помощью специального выравнивающего скребка, после чего на поверхности платформы лазерным излучением формируется первый слой объекта. Затем платформа опускается на толщину одного слоя и на неё вновь наносится порошковый материал. Температура в рабочей камере поддерживается на уровне чуть ниже точки плавления рабочего материала, что позволяет уменьшить необходимую для сплавления мощность ла-

зера. Для предотвращения окисления материала процесс проходит в бескислородной среде.

3. Ламинирование – объект создаётся из большого количества слоёв рабочего материала, которые постепенно накладываются друг на друга и склеиваются, в процессе лазер вырезает в каждом контур сечения будущей детали.

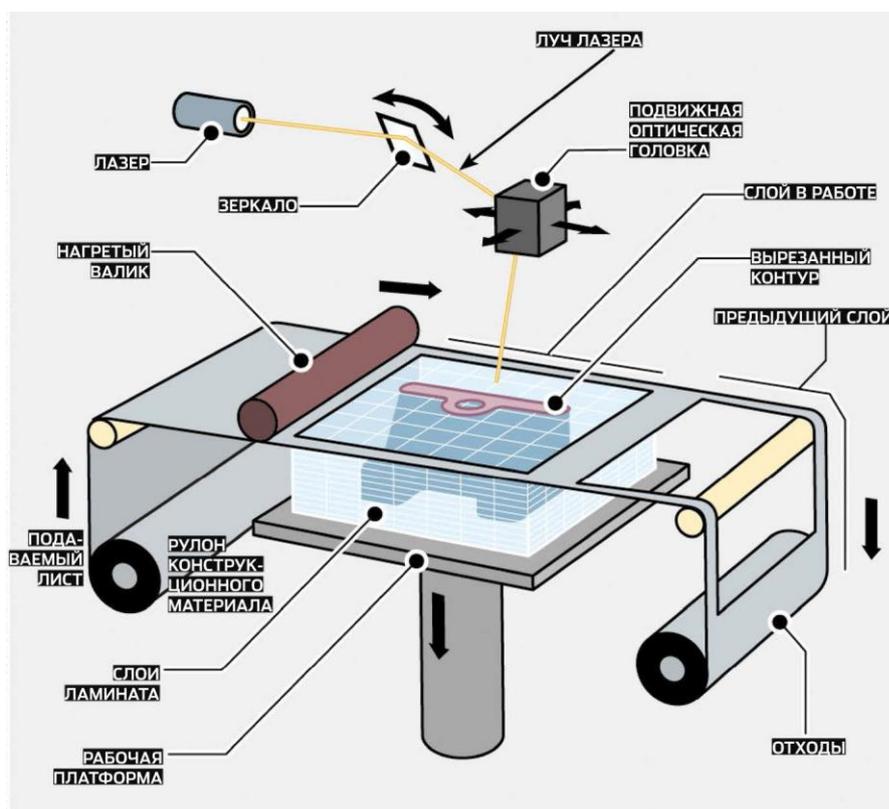


Рисунок 18 – Ламинирование

Методы струйной технологии включают в себя:

1. Застывание материала при охлаждении – раздаточная головка выдавливает на охлаждаемую платформу капли разогретого термопластика. Капли быстро застывают и слипаются друг с другом, таким образом, формируя слои будущего объекта.

2. Полимеризация фотополимерного пластика под действием ультрафиолетовой лампы – метод похож на предыдущий, но здесь пластик твердеет под действием ультрафиолета.

3. Склеивание или спекание порошкообразного материала – данный метод

похож на лазерное спекание, только порошковая основа (обычно на основе измельчённой бумаги или целлюлозы) склеивается жидким (иногда клеящим) веществом, поступающим из струйной головки. При этом возможно осуществить покраску детали, используя вещества разных цветов. Существуют образцы 3d-принтеров, использующих головки струйных принтеров.

4. Густые керамические смеси тоже применяются в качестве самоотверждаемого материала для 3d-печати крупных архитектурных моделей.

5. Биопринтеры – это ранние экспериментальные установки, в которых печать 3d-структуры будущего объекта (органа для пересадки) производится каплями, содержащими живые клетки. После чего деление, рост и модификации клеток обеспечивает окончательное формирование органа.

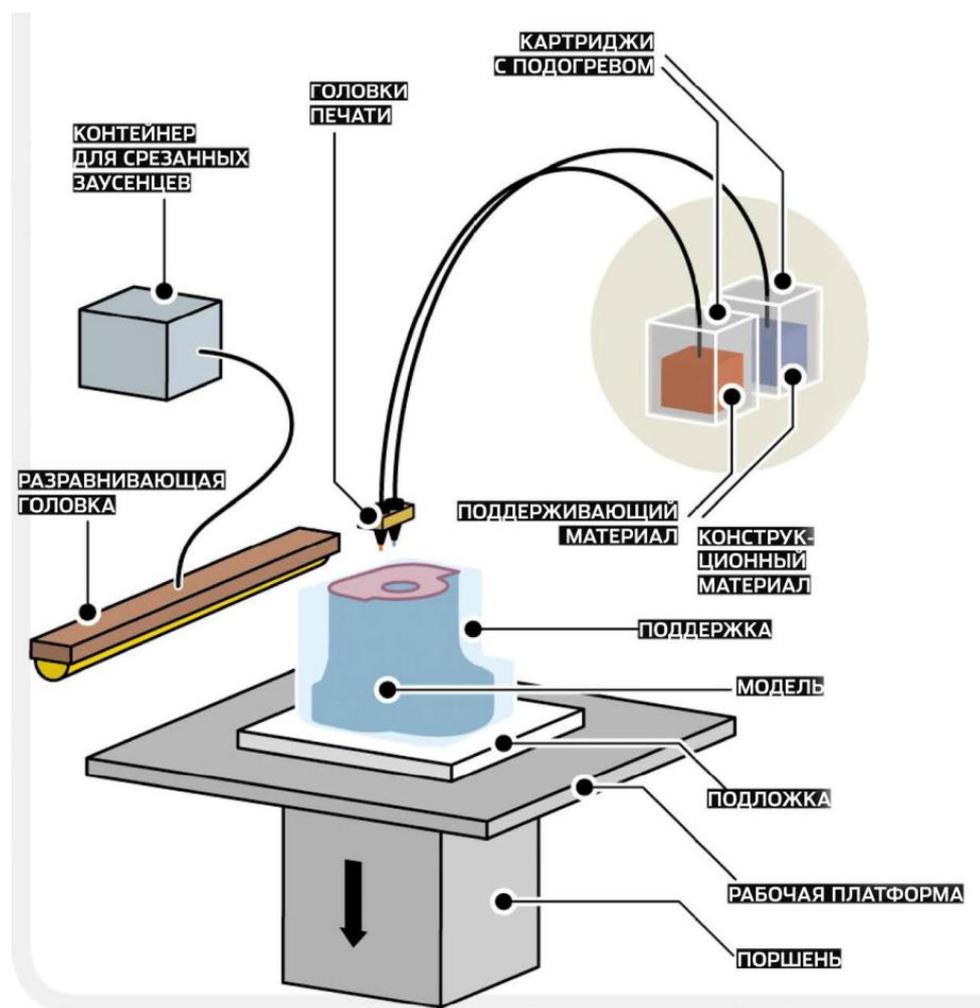


Рисунок 19 – Технология струйной печати

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Также существуют различные технологии позиционирования печатающей головки:

1. Декартова, когда в конструкции используются три взаимно-перпендикулярные направляющие, вдоль каждой из которых двигается либо печатающая головка, либо основание модели.

2. При помощи трёх параллелограммов, когда три радиально-симметрично расположенных двигателя согласованно смещают основания трёх параллелограммов, прикрепленных к печатающей головке.

3. Автономная, когда печатающая головка размещена на собственном шасси, и эта конструкция передвигается целиком за счёт какого-либо движителя, приводящего шасси в движение.

4. Ручная, когда печатающая головка выполнена в виде ручки, и пользователь сам подносит её в то место пространства, куда считает нужным добавить выделяемый из наконечника быстро затвердевающий материал. Назван такой прибор «3D-ручка», и к 3D-принтерам может быть отнесён с некоторой натяжкой.

Существуют варианты с использованием термополимера, застывающего при охлаждении, и с использованием фотополимера, отверждаемого ультрафиолетом.

3d печать всё прочнее входит в нашу жизнь, превращаясь из узконаправленной и достаточно дорогой услуги в незаменимого помощника для профессионалов различных сфер деятельности. Доступность трехмерной печати позволяет проводить самые смелые эксперименты в архитектуре, строительстве, мелкосерийном производстве, медицине, образовании, ювелирном деле, полиграфии, изготовлении рекламной и сувенирной продукции.

Преимущества использования данной технологии:

1. Значительное повышение гибкости производства;
2. Повышение конкурентоспособности;
3. Снижение себестоимости продукции, особенно для мелкосерийного производства;
4. Сокращение сроков выхода на рынок новой продукции;
5. Интеграция компьютерных технологий и систем САПР.

3d печать находит широкое применение в изготовлении архитектурных макетов зданий, сооружений, целых микрорайонов, коттеджных посёлков со всей инфраструктурой: дорогами, деревьями и уличным освещением.

Для печати трёхмерных архитектурных макетов используется дешёвый гипсовый композит, который обеспечивает низкую себестоимость готовых моделей.

На сегодняшний день для 3d печати доступно 390 тысяч оттенков палитры CMYK, что позволяет воплотить в жизнь любую цветовую фантазию архитектора.

Также принципы 3d печати используются и в строительстве. Инженеры из университета Южной Калифорнии создали систему для создания крупногабаритных объектов. Система работает по принципу строительного крана, который возводит стены из слоёв бетона. Данная технология позволяет возвести двухэтажный дом всего лишь за 20 часов. Рабочим останется только установить окна, двери и провести внутреннюю отделку помещений.

Профессиональные 3d принтеры постепенно завоевывают свои позиции в сфере мелкосерийного производства. Чаще всего данную технологию печати используют для изготовления эксклюзивных изделий, таких как предметы искусства, фигурки персонажей, прототипы и концептуальные модели будущих потребительских товаров или их конструктивных деталей. Такие модели используются как в экспериментальных целях, так и для презентаций новых товаров.

Технология быстрого прототипирования постепенно осваивает сферу производства одежды. Первые в мире кроссовки, напечатанные на 3d принтере, вызвали живой интерес специалистов. Разработчиком новинки является французский инженер и дизайнер Люк Фусаро. В основу его работы легли более ранние исследования доктора Даниэля Туна, а сами исследования проводились с привлечением специалистов из Университета Спортивных Технологий Лафборо (Loughborough University) и компании Additive Manufactured.

Основная цель проекта – разработать малозатратные технологии, которые позволили бы в короткий срок изготавливать обувь, учитывающую индивидуальные особенности строения стопы конкретного бегуна.

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		40

На первом этапе проводится трехмерное сканирование стопы спортсмена в нескольких режимах: в покое, при ходьбе, при беге. Далее полученные данные обрабатываются, и на их основе создается цифровая 3d-модель подошвы, а затем кроссовки печатаются из порошка полиамида-нейлона на 3d принтере методом селективного лазерного спекания (SLS). На выходе получается подошва, идеально соответствующая особенностям строения стопы и биомеханики бега конкретного спортсмена.

Научные исследования показали, что «настройка» механических свойств спринтерской обуви под параметры конкретного спортсмена способна улучшать производительность бегуна в среднем на 3,5 %. Иначе говоря, при идеально подобранной обуви, на спринтерской дорожке с каждых 10 секунд можно «сэкономить» 0,35 секунды, а это может оказаться решающим фактором для победы.

Пока такие кроссовки, напечатанные с помощью 3d принтера, существуют лишь как прототип. Их вес составляет всего лишь 96 граммов. В данный момент Люк Фусаро, заручившись поддержкой Фонда Джеймса Дайсона, продолжает корректировать технологию, поскольку верхняя часть кроссовок остается слишком жесткой, чтобы обеспечить комфорт и максимальную скорость.

По мнению специалистов, данный проект, названный "созданные побеждать", демонстрирует неограниченные возможности 3d-технологий не только в области производства обуви для спортсменов, но и в обувной промышленности в целом. Современные технологии 3D-печати позволяют использовать в процессе производства несколько материалов, подобно тому, как обычный принтер использует несколько цветов.

При изготовлении ювелирных изделий самой трудоёмкой процедурой является создание восковых прототипов, которая требует колоссальных затрат времени. С появлением 3d принтеров у ювелиров появилась возможность быстро создавать восковые модели украшений.

Для создания прототипов ювелирных украшений используется специальный материал, по своему составу похожий на ювелирный воск.

Трёхмерные принтеры позволяют изготавливать пробные макеты упаковок, флаконов и бутылок оригинальной формы. Прототипы могут быть выполнены в цвете, с включением всех элементов дизайна, в том числе этикеток, штрих-кодов, фирменных знаков. Готовые модели упаковки могут быть продемонстрированы заказчику перед запуском в массовое производство. Преимущество таких прототипов налицо: заказчик может подержать упаковку в руках, оценить её фактуру, текстуру, цветовое оформление и некоторые другие характеристики.

Также 3D принтеры используются для создания игрушек и сувениров. Теперь легко получить готовый полноцветный прототип перед запуском изделия в массовое производство. Анализ прототипа позволяет изучить текстуру будущего изделия, его форму, размер и цвет.

Чаще всего сувенирные изделия печатают из гипсовых материалов, которые подвергаются дополнительной обработке для увеличения прочности готового изделия. 3d принтеры печатают сувениры с различной цветностью, вплоть до полноцветной текстуры в 390000 оттенков.

Использование 3d принтеров для функционального тестирования является одним из современных методов инновационных разработок. В большинстве случаев требуется протестировать новый механизм в сборке, но изготовление отдельных компонентов в одном экземпляре может оказаться слишком долгим или дорогим или же весьма проблематичным делом. На помощь приходят 3d принтеры, которые способны изготавливать объекты с различной степенью детализации моделей.

Использование 3D принтеров в медицине позволяет спасать человеческие жизни. Такие принтеры могут воссоздать точную копию фрагментов человеческого скелета для отработки приёмов, гарантирующих проведение успешной операции. Всё чаще 3D принтеры используют в протезировании и стоматологии, так как трёхмерная печать позволяет получить протезы и коронки значительно быстрее классической технологии производства.

Медицинские трёхмерные модели могут быть изготовлены из целого ряда материалов, включая живые органические клетки. Выбор того или иного

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		42

материала для медицинского прототипирования зависит от целей и задач, стоящих перед медиками, и проблем, связанных со здоровьем конкретного пациента.

Совсем недавно сила и мощь 3d печати была продемонстрирована на примере обыкновенного орла, который по вине браконьеров лишился клюва. 3d печать позволила изготовить точную копию орлиного клюва.

Также 3d печать применяется для изготовления гипса для фиксации перелома. Такой гипс является вентилируемым, просто перерабатывается, не страдает от контакта с водой и легкий по весу.

Для создания гипса пациента сканируют рентгеном, находят перелом, зона перелома проходит 3D-сканирование, после чего данные загружают в компьютер, который моделирует гипс для последующей печати. Гипс имеет одну открывающуюся сторону, которая фиксируется прочными крепежами.

Также медики научились печатать «заплатки» для повреждённой человеческой кожи. В качестве материалов для печати используется специальный гель из клеток донора. По словам учёных, для печати кожи может быть использован даже самый обычный офисный принтер, немного модернизированный под поставленную задачу.

В 2011 году учёные сумели воспроизвести живую человеческую почку. Для этого 3d принтеру потребовалось всего лишь 3 часа.

Технологии 3d-печати и сканирования без сомнений открывают новые возможности для усовершенствования сферы образования. Эксперты утверждают, что подобные технологии точно увеличат интерес к процессу обучения и тягу к знаниям, ведь благодаря им каждый ученик или студент сможет почувствовать себя изобретателем чего-то абсолютно нового. Создав модель, ученик, уже через некоторое время сможет держать ее в собственных руках.

Актуальность и популярность технологий 3d-печати и сканирования во всем мире растет с каждым днем, в том числе и в нашей стране.

При помощи данной технологии можно изучать различные предметы и направления: физику и механику (изготовления различных наглядных механизмов для проведения экспериментов), географию и архитектуру (моделирования ланд-

шафтов и проектирование зданий), биологи (создание моделей органов человека и скелета), дизайн (воплощение разнообразных творческих идей) и многое другое. Для подобных целей можно использовать даже несложные и, соответственно, недорогие 3d-принтеры, которые может позволить себе практически любая школа или ВУЗ.

Использование технологии 3d печати в образовании позволяет получить наглядные пособия, которые отлично подходят для классных комнат любых образовательных учреждений, начиная от детских садов и заканчивая вузами.

Современные 3d принтеры отлично подходят для классных комнат, так как обладают повышенной надёжностью, не выделяют во время печати вредных для здоровья продуктов, не предъявляют особых требований к утилизации, не содержат режущих и бритвенных материалов.

2.3.2 Программа Netfabb Studio

Netfabb Studio Basic – бесплатная программа для просмотра и исправления ошибок 3d моделей. Программа открывает целый ряд файлов с разным расширением, но самыми популярными из них являются файлы формата stl и obj.

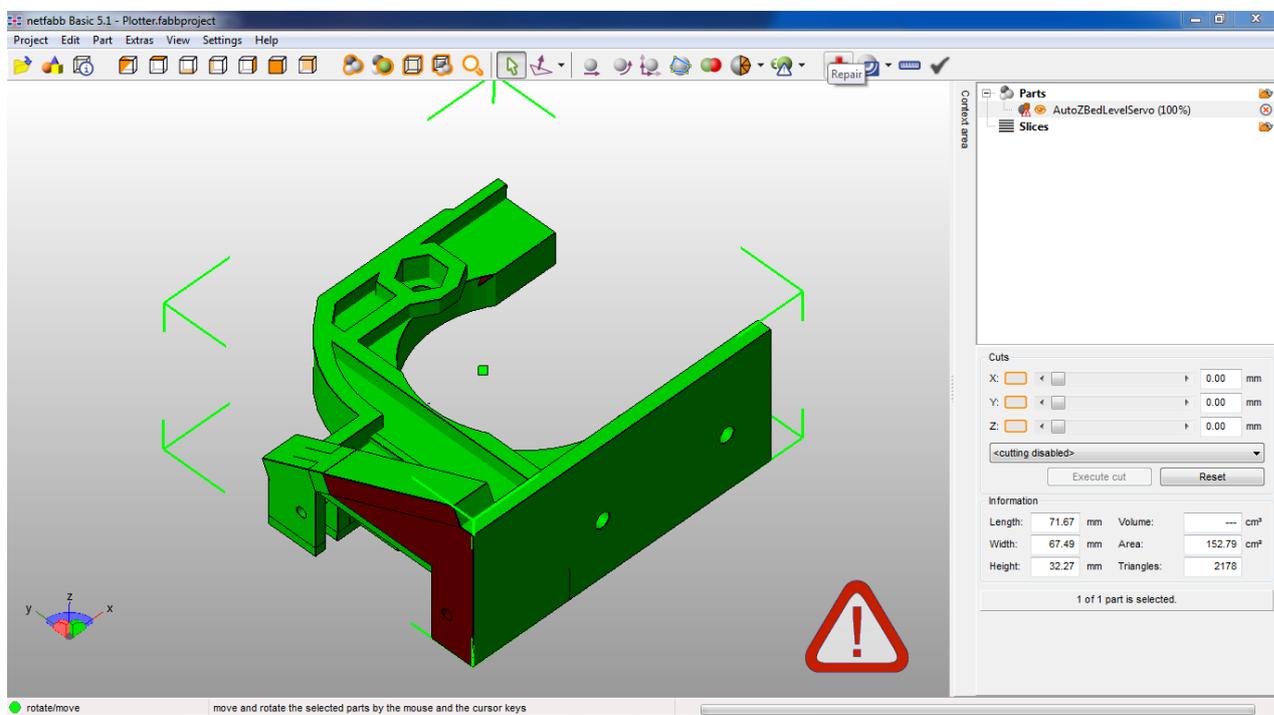


Рисунок 20 – Интерфейс программы Netfabb Basic

Netfabb позволяет исправить наиболее распространенные ошибки трехмерного моделирования, препятствующие печати:

1. Инвертированные нормали – неправильно ориентированные нормали. Нормали всегда должны быть направлены наружу, они определяют границы объекта и позволяют программному обеспечению 3D-принтера понять, где внутренняя, а где внешняя поверхность модели. Если хоть одна из нормалей направлена в обратную сторону и противоречит другой нормали, то это вызывает сбой при 3D-печати, поскольку принтер не может различить лицевую и изнаночную сторону объекта.

2. Неманифолдная геометрия – неманифолдность модели является обязательным условием для печати. Суть этого понятия заключается в том, что у каждого ребра модели должно быть ровно две грани.

В данное понятие обычно включаются следующие ошибки:

1. Меш с дырками – проблема “незакрытой” полигональной сетки. Основное правило 3D моделирования: модель должна быть «водонепроницаемой» или «герметичной». Если образуется дырка, это значит, что у какого-то ребра не хватает одной грани, следовательно модель неманифолдна, а значит не подходит для 3D-печати.

2. Наличие внутренних полигонов. Внутри модели, например внутри стенок, не должно быть граней.

3. Общие ребра. Ошибка возникает, когда к одному ребру прикреплено более двух полигонов. Каждое ребро модели должно объединять только две смежные грани.

4. Совпадающие ребра. Возникают, когда два отдельных ребра созданы в одном и том же месте и при этом не соединены, такие ребра должны объединяться в одно общее ребро.

5. Нахлест полигонов. Образуется, когда создается полигон поверх уже существующего. Пересекающиеся грани могут сбить с толку слайсер – программу, которая по слоям переводит модель в управляющий код для 3d принтера.

6. Нулевая толщина полигона. Необходимо убедиться в том, что каждый по-

лигон имеет заданную толщину.

2.3.3 3d принтер Prusa i3

Prusa i3 это текущий дизайн 3d принтера от RepRap Core Developer PrusaJr. Данный принтер учел в себе все ошибки предыдущих двух поколений, а так же и других популярных RepRap принтеров.

Проект RepRap зародился в Англии как инициатива университета Бата по разработке дешевого принтера, который смог бы печатать свои собственные компоненты.



Рисунок 21 – 3d принтер Prusa i3

Благодаря способности данных принтеров создавать некоторые из своих частей, авторы проекта предрекали распространение дешевых принтеров, позволяющих производить сложные продукты без необходимости в обширной промышленной инфраструктуре. Предварительное исследование утверждало, что использование данных принтеров для печати приводит к экономической выгоде.

На данный момент проект распространился по всему миру. RepRap это со-

кращение от replicating rapid prototype, что в переводе с английского означает быстрое прототипирование с самовоспроизведением.

Так как проект является открытым, все создаваемые принтеры выпускаются под лицензией свободного программного обеспечения. Так как проект был создан для развития прогресса, было создано множество различных вариаций. Проект является открытым, поэтому разработчики вольны вносить любые изменения в существующие решения, но они должны выставлять свои результаты в открытый доступ.

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		47

3. ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛИЗАЦИИ 3D МОДЕЛЕЙ

3.1 Создание прототипа персонажа

Создание прототипа персонажа осуществляется в программе zbrush посредством создания детализированной модели, которая затем послужит основой для статичной и динамической (анимированной) модели.

Для экономии времени в качестве отправной точки используется базовая модель человека, включенная в демонстрационные материалы программы.

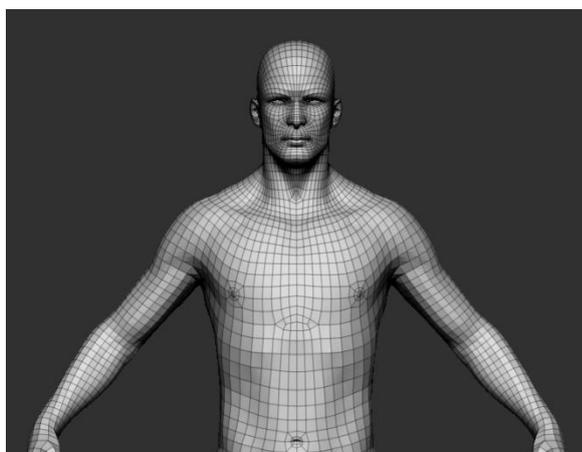


Рисунок 22 – Базовая модель человека

Далее уточняются пропорции в соответствии с возрастом и комплекцией создаваемого персонажа. Важно начинать моделирование с более общих форм и крупных деталей, не вдаваясь в мелкие, так как впоследствии это избавит от проблем при добавлении элементов обмундирования, вооружения и т. д. Поэтому необходимо сначала создать все необходимые элементы в простой форме, затем совместить их вместе, а затем детализировать.

Для создания твердотельных объектов часто используется такой инструмент как Dynamesh. Он является инструментом создания базовой сетки в Zbrush. Dynamesh является идеальным решением для трехмерного скульптинга, потому что он снимает все ограничения по топологии. До появления данного инструмента процесс моделирования начинался с создания базовой низкополигональной модели в другом пакете, к примеру, 3d Max или Maya. И для дальнейшей

успешной работы было необходимо, чтобы полигональная сетка была максимально равномерной и состоять преимущественно из четырехугольных полигонов. Иначе при подразделении сетки в zbrush в некоторых ее местах плотность могла быть излишней, в то время как в других – недостаточной. Данный же инструмент позволил упростить процесс и сосредоточиться на творческой стороне моделирования. Теперь нет нужды заботиться о качестве полигональной сетки в самом начале. Сначала создается высокополигональная модель, а затем на ее основе низкополигональная, с равномерной полигональной сеткой, например для анимации или визуализации объекта. Детали с высокополигональной модели затем проецируются на низкополигональную.

Dynamesh позволяет изменять общую форму любого объекта, добавлять различные части геометрии, объединять объекты, или даже удалять часть геометрии аналогично тому, что можно сделать с помощью булевых операций в других пакетах компьютерной графики. Dynamesh был разработан, чтобы создавать модели с низким или средним разрешением, что делает его идеальным инструментом для создания базового меша.

Dynamesh рассчитывает габариты объекта, находит максимальную величину и относительно размера объекта в сцене вычисляет объем вокселями (англ. voxel – образовано из слов: объёмный (англ. volumetric) и пиксель (англ. pixel) – элемент объёмного изображения, содержащий значение элемента раstra в трёхмерном пространстве, являются аналогами двумерных пикселей для трёхмерного пространства). Ползунок resolution указывает на количество этих вокселей по максимальной стороне габарита (128 по умолчанию).

Работа с Dynamesh напоминает работу скульптура с традиционными материалами, такими как глина. При добавлении объема текущая консистенция материала остается точно такой же. Dynamesh поддерживает равномерное разрешение и распределение полигонов на модели. В этом отличие от традиционных методов скульптинга, которые приводят к растяжению полигонов, если воздействовать на поверхность слишком сильно, что создает проблемы при дальнейшей работе.

Dynamesh это режим, который может быть применен к примитивами в

					ВКР.155504.09.04.04.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		49

ZBrush. Также возможно преобразовать любую существующую геометрию в Dynamesh. Разрешение преобразованной сетки будет определяться ползунком resolution. После использования Dynamesh получается совершенно новая геометрия, которая равномерно распределена по всей модели, что идеально подходит для лепки.

К объектам в режиме dynamesh можно применять любые другие инструменты zbrush. Что, так или иначе, может привести к искажению полигональной сетки в некоторых местах. Чтобы снова восстановить равномерное распределение полигонов, нужно, просто удерживая клавишу ctrl, провести курсором в любом свободном пространстве документа. Dynamesh восстановит равномерное распределение геометрии.

Все команды и опции DynaMesh находятся в палитре Tool, меню Geometry.

Объединение с помощью dynamesh может быть осуществлено через меню subtool. При этом dynamesh будет использовать иконки возле каждого подобъекта (объединение, вычитание, пересечение).

Для объединения, как и для вычитания и пересечения необходимо выполнить следующее:

1. Выбранный subtool должен находиться в режиме dynamesh.
2. Необходимо убедиться, что subtool в режиме dynamesh находится в списке выше subtool-а, с которым будет происходить объединение (вычитание, пересечение).
3. Возле Subtool-а, расположенного ниже, должен быть выбран значок объединения.
4. Далее необходимо выбрать subtool в режиме dynamesh, и нажать на кнопку Merge down во вкладке Merge меню Subtool. После выполнения функция Merge down не может быть отменена.
5. Затем удерживая ctrl и нужно перетащить курсор в любом свободном месте документа. Объекты будут объединены в единую полигональную сетку.

Следует отметить, что программа zbrush позволяет очень активно вмешиваться в свой интерфейс и весьма свободно менять местоположение практически

всех элементов. Есть возможность создавать свои собственные вкладки и меню быстрого доступа, назначать горячие клавиши, выбирать наиболее часто используемые инструменты и опции и помещать их в любое место кроме самой рабочей области. Всё это позволяет настроить интерфейс под любого пользователя и любой проект.

Для того, чтобы начать настройку интерфейса, нужно включить опцию `enable customize` в меню `config` вкладки `preferences`. Для перемещения какого-либо элемента нужно зажать сочетание клавиш `ctrl+alt` и перетащить на нужное место. Чтобы удалить элемент, нужно зажать ту же комбинация и перетащить элемент на рабочую область. После внесения необходимых изменений, опцию необходимо отключить. Для того, чтобы каждый раз при запуске программы не выполнять такие манипуляции, текущую настройку интерфейса можно сохранить в отдельный файл, нажав кнопку `save ui`. Данный файл можно подгружать в программу на любом другом компьютере. Чтобы переключиться на интерфейс по умолчанию, необходимо нажать кнопку `restore standart ui`.

Для того, чтобы скомпоновать элементы можно воспользоваться меню `transpose`. Оно позволяет менять положение объекта, его размер и ориентацию. Операции передвижения, изменения размера и вращения воздействуют только на выбранный в данный момент объект, в то время как другие остаются неизменными.

Включение режима `solo` в данном меню позволяет скрыть все объекты кроме выбранного. Это удобно если работа в данный момент сосредоточена на каком-то конкретном объекте и нет нужды отвлекаться на другие. Также это увеличивает производительность.

Скульптинг и детализация модели осуществляются кистями, а также с помощью дополнительных модификаторов и инструментов, таких как маскирование.

Каждая кисть имеет свои уникальные свойства. Кроме того, кисти в ZBrush могут быть модифицированы. Можно создавать свои собственные версии любой кисти, регулируя настройки, и сохранять их для последующего использования.

Кисти в ZBrush могут быть изменены с помощью элементов управления, таких как Gravity, Wrap Mode и Density.

Кнопки zadd, zsub определяют как кисть взаимодействует с информацией о глубине на модели. Одновременно может быть выбран только один из этих параметров. Zadd добавляет информацию о глубине к пикселям, zsub действует наоборот. Когда обе эти опции отключены, кисть накладывает только цвет или материал на объект, в зависимости от выбранного алгоритма mrgb (материал и цвет), rgb (только цвет) и m (только материал). При переключении на другую кисть, выбранные опции сохраняются. Так чтобы при возвращении к работе с этой кистью не пришлось настраивать ее заново. Однако при перезапуске программы все опции сбрасываются на значение по умолчанию. Чтобы сделать это, не перезапуская программу, необходимо нажать reset all brushes в палитре кистей.

Палитра Альфа контролирует форму кисти. Альфа карта это черно-белая карта интенсивности, на которой белые области означают что поверхность будет подвергаться воздействию, а черные соответственно нет. С помощью альфа карт можно наносить узоры или фактуру на поверхность.

Палитра stroke управляет тем, как кисть движется по поверхности модели. Существует несколько видов штрихов, которые могут быть использованы: Dots , Freehand, Spray stroke и Drag Rectangle.

Кисти могут быть сохранены и загружены с помощью Brush:Load и Brush:Save As. При сохранении кисти сохраняются все настройки палитры Brush, а также настройки штриха и альфы.

Перечень некоторых основных видов кистей:

1. Standart

Данная кисть "выдавливает" наружу вершины, над которыми проходит. Нажатие клавиши Alt (либо включение опции zsub вместо zadd по умолчанию) наоборот "вдавливает" вершины внутрь модели. Часто используется для создания складок, морщин, сколов, трещин и так далее.

2. Smooth (с английского "сглаживать")

Кисть сглаживает детали на поверхности к "среднему" уровню этой

поверхности.

3. Move ("перемещать", "двигать")

Используется для перемещения вершин в направлении движения курсора.

4. Inflat ("надувать", "накачивать")

В отличие от стандартной кисти, которая воздействует на геометрию вдоль нормали к поверхности под центром кисти, Inflat расширяет геометрию воздействием на вершины вдоль их собственных нормалей. Используется для придания объема.

5. Clay ("глина", "пластилин")

Работа кисти похожа на кисть standart, она воздействует на геометрию, вдавливая либо выдавливая объем относительно нормалей к поверхности, однако не так интенсивно как стандартная кисть. Используется для создания основных "больших" форм объекта.

6. Pinch ("сжатие", "защемление")

Кисть стягивает вершины вместе. Используется при создании складок одежды, морщин, а также для добавления жестких краев к любой форме.

Это основные кисти, однако существует также множество производных от них со своими параметрами, и некоторые второстепенные.

Для того, чтобы предохранить часть модели от деформации существует инструмент маскирование.

Наложить маску можно следующими способами:

1. Нанести кистью непосредственно на объект в режиме редактирования, удерживая клавишу ctrl. Можно использовать различные типы штрихов stroke .

2. Спроецировать выбранную альфу на объект, удерживая ctrl и ведя курсор по объекту.

3. Спроецировать выбранную альфу, нажав кнопку Mask By Alpha.

Маска отображается как темная область на поверхности: чем темнее область, тем интенсивнее маска. Чтобы скрыть отображение маски, необходимо нажать view mask. Чтобы удалить маску, нужно нажать clear.

Также можно инвертировать отображение маски, нажав inverse. Для того,

чтобы сделать края маски менее или более резкими нужно нажать blurmask или sharpenmask соответственно. Область маскирования можно увеличить, нажав growmask или уменьшить, нажав shrinkmask. Также есть возможность замаскировать модель исходя из ее геометрии модели или ее цвета. К примеру, при использовании mask by cavity будут замаскированы "впадины" на модели.

Меню deformation позволяет применить к модели множество различных модификаторов. Например, можно отзеркалить модель, изменить ее размер, повернуть, согнуть, закрутить по спирали, сгладить и так далее. Аналогичные или подобные модификаторы существуют во многих 3d пакетах. Для работы модификатора нужно выбрать по каким осям он будет воздействовать – X, Y и/или Z. Модификаторы также берут в расчет замаскированные области и не воздействуют на них.

Также в zbrush, начиная с версии 4r6 появился весьма полезный встроенный плагин subtool master. Он позволяет управлять всеми элементами модели. С его помощью можно зеркально отображать по какой-либо оси, делать копии, объединять, экспортировать, назначать цвет и/или материал данному элементу.

Для того, чтобы обезопасить результаты работы в случае вылета программы, сбоя в электросети или других проблем в zbrush существует система автосохранения. Ползунок "максимальная продолжительность" задает количество минут между автосохранениями. Любое сохранение, автоматическое или ручное, сбрасывает таймер. Минимальное значение это 1 минута, максимальное 600. Такое значение стоит выставлять, если нет необходимости в автосохранении вообще.

Ползунок "продолжительность в простое" устанавливает количество минут, через которое будет осуществлено автосохранение, если компьютер работает в режиме ожидания, или пользователь переключился на другое приложение. Этот параметр работает независимо от предыдущего.

Если включен параметр "пропустить историю", то при автосохранении история изменений не будет включена в файл, что может существенно уменьшить его размер.

Ползунок "максимальное количество файлов" устанавливает, сколько

файлов может быть сохранено. Затем файлы будут перезаписываться поверх уже имеющихся. Минимальное значение составляет 1, максимальное – 100. Кнопка "удалить файлы" позволяет удалить все файлы в папке автосохранений.

3.2 Реализация динамической модели

Создание динамической модели включает в себя создание низкополигональной модели, текстур для нее, а также анимационного скелета.

3.2.1 Основные этапы моделирования

Создание персонажа происходит по следующим этапам:

1. Сбор информации (рисунки, фотографии, текстовое описание);
2. Создание высокополигональной модели (скульптинг в программе трехмерного моделирования);
3. Создание низкополигональной модели на основе высокополигональной (построение новой геометрии поверх уже имеющейся); создание uv развертки (соответствие между координатами на поверхности трёхмерного объекта (X, Y, Z) и координатами на текстуре (U, V));
4. Создание текстур для среды визуализации Unreal.

3.2.2 Создание низкополигональной модели

Цель создания низкополигональной модели – создание объекта для среды визуализации с таким полигонажем, который бы не требовал чрезмерных вычислительных ресурсов и топологией (распределение полигонов по поверхности модели), пригодной для анимации, если предполагается, что объект будет подвижным. Другими словами, создаваемая изначально высокополигональная детализированная модель является слишком "тяжелой" для визуализации и анимации, поэтому ее необходимо оптимизировать.

Высокополигональная модель из программы Zbrush экспортируется в формате obj, он является универсальным для большинства пакетов трехмерной графики. Для ускорения работы модель можно обработать плагином Decimation master в Zbrush, который позволяет существенно уменьшить полигонаж, при этом сохраняя форму и детали, модель при этом будет состоять только из треугольников, что в данном случае не принципиально.

Далее модель импортируется в 3D Coat. Построение новой топологии происходит поверх загруженной детализированной модели. Создаваемые вершины "привязываются" к поверхности высокополигональной модели. Топология может строиться как с помощью простого создания вершин, так и с помощью других инструментов, аналогичным стандартным инструментам многих пакетов трехмерного моделирования (экструдирование полигонов, добавление ребер, объединение вершин и т. д.). Также имеется возможность сглаживания полигональной сетки.

Программа также дает возможность создавать симметричную топологию, повторяя ваши действия относительно выбранной оси, что существенно ускоряет и облегчает процесс. При этом симметрия будет работать, даже если исходная модель не является полностью симметричной, а лишь частично. Несимметричные части можно будет отредактировать вручную.

После создания низкополигональной геометрической поверхности необходимо сделать ее uv развертку. Процесс состоит из задания так называемых швов и развертки модели на плоскость.

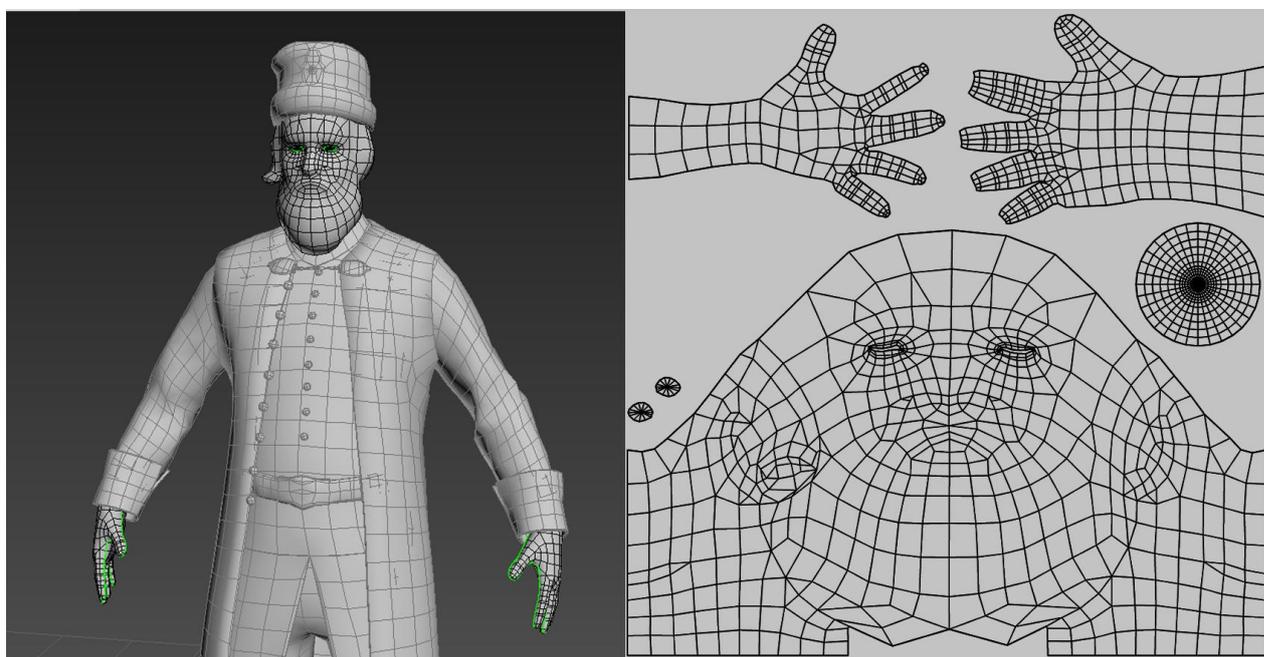


Рисунок 23 – Uv развертка объекта

На рисунке выше слева показана модель персонажа, состоящая из нескольких элементов и справа развертка одного из них (голова и руки персонажа,

объединенный в один подобъект). Размер некоторых подобъектов на самой развертке увеличен в размере для большего разрешения, как например лицо. И наоборот, некоторые менее значимые части уменьшены, так как они будут менее всего видны.

Также элементы должны располагаться максимально компактно для получения максимального разрешения на текстуре. Однако, следует учесть размер свободного пространства между элементами на развертке. Среды визуализации используют фильтрацию текстур для более сглаженного их отображения в процессе называемом понижающей дискретизацией. Если цвет свободного пространства между элементами сильно отличается от самих элементов, эти цвета могут смешиваться, и в результате на модели будут видны «швы». Такие же проблемы могут возникнуть в случае, если соседние элементы также сильно отличаются по цвету. Когда разрешение текстуры уменьшается, эти цвета будут смешиваться.

Чтобы этого избежать, к каждому элементу нужно добавить так называемый паддинг – отступ, формируемый дублированием граничных пикселей элемента на заданную величину. При создании развертки нужно это учесть и оставить необходимое расстояние между элементами. Размер свободного пространства между элементами должен быть как минимум равен размеру двойного паддинга, так как границы будут увеличиваться вокруг каждого элемента.

Рекомендуемые величины паддинга для разных размеров текстур следующие:

1. 256x256 – 2 пикселя;
2. 512x512 – 4 пикселя;
3. 1024x1024 – 8 пикселей;
4. 2048x2048 – 16 пикселей.

Также возможен вариант, когда паддинг не ограничивается какой-то величиной, а заполняет все пространство между элементами, либо пустому пространству задается цвет наиболее близкий к цвету элементов. Вышеперечисленные методы зависят от среды визуализации и метода

фильтрации.

3.2.3 Реализация текстурированной модели

Целью создания текстур является придание модели цвета, мелких деталей, ощущения материала, и тому подобное. До недавнего времени освещение в средах визуализации было довольно простым и в основном обеспечивало только крупные и весьма приблизительные тени от объектов. Поэтому в текстуры объектов «врисовалась» основная информация об освещении, а именно блики, тени и отражения, чтобы имитировать сложное освещение. С появлением физически корректного освещения процесс изменился. Теперь информация об освещении обеспечивается именно системой освещения среды визуализации, а на текстуры наносится только такая информация как цвет, шероховатость/гладкость модели, принадлежность к металлам/неметаллам, то есть конкретные физические свойства поверхности.

Так как среда Unreal Engine, в которой будет происходить визуализация персонажей, работает с pbr (от англ. physically-based rendering – технология физически корректной визуализации, основанная на научном подходе), необходимо знать особенности этой технологии.

Свет – это сложное явление, обладающее свойствами как волн, так и частиц. Существуют различные модели описания поведения света. При создании текстурных карт необходимо отталкиваться от лучевой модели света, так как она демонстрирует взаимодействие света и материала. Важно понимать, как лучи взаимодействуют с поверхностью материала потому, что необходимо создать такую текстуру, которая корректно бы отображала поверхность. Материалы и текстуры взаимодействуют со светом в виртуальной среде Unreal, и чем больше мы знаем о поведении света, тем лучше будут выглядеть создаваемые модели.

В лучевой модели света сказано, что луч света имеет траекторию прямой линии в однородной прозрачной среде. Также, в ней говорится о том, что луч будет вести себя предсказуемо, когда столкнется с поверхностью непрозрачного объекта, или проходя сквозь воздушное либо водное пространство. Это дает возможность визуализировать путь, по которому будет идти луч, так как он движется от начальной точки туда, где он, в конечном итоге, изменяется в другой вид

энергии, например в тепло.

Луч, который сталкивается с поверхностью, называют падающим лучом, а угол, под которым он падает, называется углом падения, как показано на рисунке ниже.

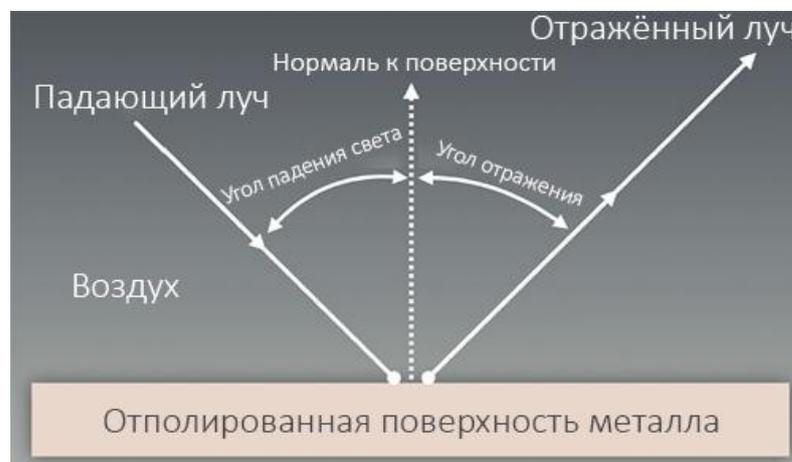


Рисунок 24 – Падение луча света на ровную поверхность

Луч света опускается на плоскую поверхность между двумя средами. Когда луч света касается поверхности, возможны один или оба из следующих вариантов:

1. Луч света отражается от поверхности и идет в другую сторону. Это происходит согласно закону отражения, в котором говорится, что угол отражения равен углу падения.

2. Луч света проходит из одной среды в другую по прямолинейной траектории.

Таким образом, световой луч разделяется на две составляющие: отраженный луч и преломленный. Если луч не отражается и не преломляется, то он может быть поглощен какой либо средой.

Когда световой луч проходит через неоднородное пространство либо полупрозрачный материал, он может быть поглощен или рассеян. При поглощении яркость света уменьшается, так как свет переходит в другую форму энергии (зачастую тепло), также меняется его цвет, потому что количество поглощенного света зависит от длины волны. Но направление света остается неизменным.

При рассеивании, направление луча изменяется случайным образом, коли-

чество отклонений зависит от материала. Но при этом его яркость не снижает. Отличным примером является ушная раковина. Малая толщина и соответственно слабое поглощение ею света, позволяет видеть рассеянный свет, который проникает с другой стороны. Если рассеивание отсутствует, и поглощаемость низкая, то лучи могут проходить напрямую сквозь поверхность, например как через стекло или воду. Однако, если в воде будут присутствовать какие-то посторонние частицы, то они будут рассеивать свет, что ухудшит прозрачность среды.

Чем дальше свет проходит в такого рода среду/материал, тем больше он поглощается и рассеивается. Таким образом, плотность объекта играет большую роль в том, как сильно свет будет поглощен или рассеян. Карта толщин может быть использована для того, чтобы передать эту характеристику объекта.

Зеркальное отражение – это свет, который был отражен от поверхности, как уже было сказано выше. Световой луч отражается от поверхности и идет в другом направлении. Это исходит из закона отражения света, в котором говорится, что на идеально плоской поверхности угол отражения равен углу падения. Однако большинство поверхностей не являются абсолютно ровными, и направление отражения будет случайным, что в свою очередь зависит от шероховатости поверхности. Это повлияет на направление света, но яркость останется неизменной. Чем грубее поверхность, тем больше и размытой будет выглядеть отражение. На гладкой же поверхности отражение будет намного более четким. Однако в обоих случаях отражается одинаковое количество света, как показано на рисунке ниже.

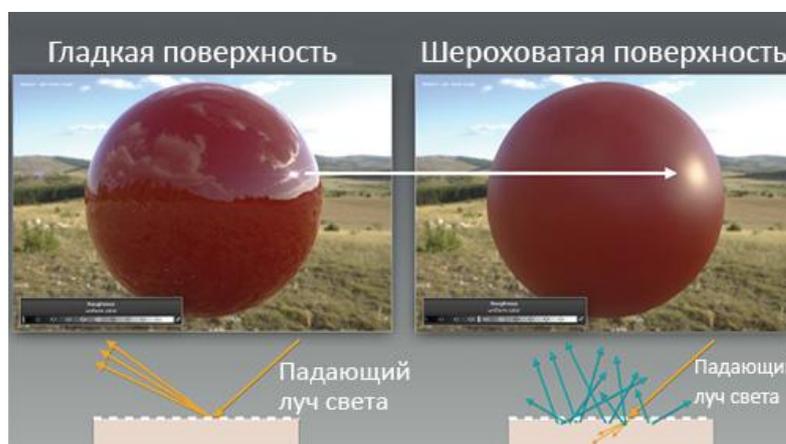


Рисунок 25 – Зависимость отражения от шероховатости поверхности

Слева на рисунке выше мы видим гладкую поверхность шарика и это делает отражение сфокусированным в маленькое пятнышко, поэтому отражение выглядит ярче и более интенсивным. Справа же – шероховатый шарик, блик у которого более крупный и приглушённый. В нижней части схематично отображено как отражается свет в обоих случаях. В случае шероховатой поверхности есть даже лучи, которые проходят внутрь материала, а это значит, что свет теряет свою яркость.

Рассеянное отражение – это свет, который был преломлен. Световой луч проходит из одной среды в другую, и рассеивается несколько раз внутри объекта. Затем он отражается от объекта в первичную среду примерно в ту же точку, через которую прошел в первый раз, как показано на рисунке ниже.

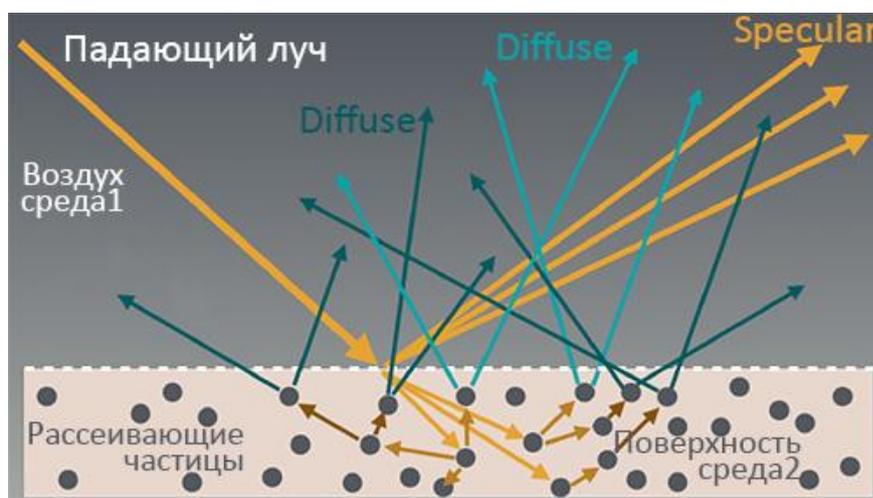


Рисунок 26 – Рассеивание света в материале

Рассеивающие материалы могут выступать в роле абсорбента, другими словами, если преломленный свет проходит достаточно глубоко в материал, он может быть поглощенным полностью. Это означает, что если свет когда-либо выйдет, то вероятно он не прошел достаточно далеко от начальной точки входа. Вот почему расстоянием от точки входа до точки выхода можно пренебречь. Модель Ламберта, которая обычно используется для рассеянного отражения, не берет во внимание шероховатость поверхности, но есть и такие, которые берут ее в расчет, например модель Орена-Наяра.

Материалы, у которых высокая отражаемость, но низкая поглощаемость иногда сравнивают с соучаствующей средой или полупрозрачными материалами. Пример этому дым, молоко, кожа, нефрит и мрамор. Визуализация последних трех может быть возможна с помощью дополнительного моделирования подповерхностного рассеивания, где разницу между входящей и выходящей точкой луча нельзя игнорировать. Точное отображение среды с сильно переменной, но плохо отражающей и поглощающей средой, как например дым или туман, могут потребовать более сложных методов, таких как имитация Монте Карло.

В теории микрограней рассеянное и зеркально отражение зависят от неровностей поверхности, с которыми пересекаются лучи. На практике же, эффект шероховатости рассеянного отражения менее заметен, из-за рассеивания которое происходит внутри самого материала. В результате, направление исходящего луча сильно зависит от грубости поверхности и от угла падения.

Работа двулучевой функции отражательной способности в физически корректной среде визуализации основана на теории микрограней, в которой говорится, что поверхность состоит из по-разному повернутых маленьких плоских поверхностей, которые и называют микрогранями. Каждая из этих маленьких поверхностей отражает свет в одном направлении соответственно направлению её нормали, как показано на рисунке ниже.

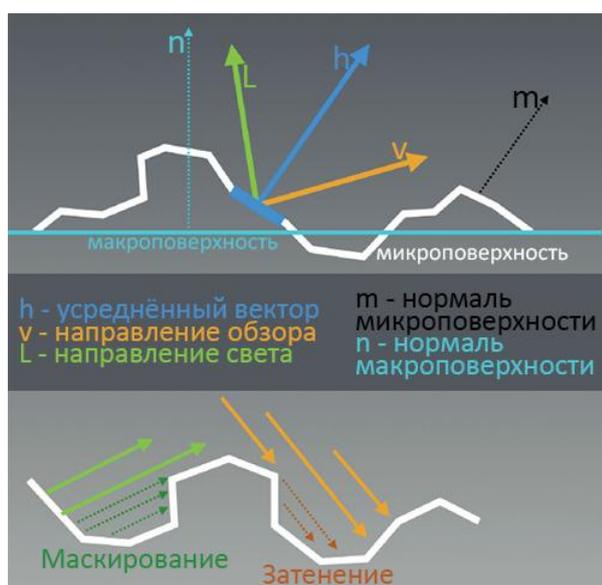


Рисунок 27 – Отражение света от микрограней поверхности

Микрограницы, чьи нормали отражают четко между направлением света и областью видимости, будут отражать видимый свет. Тем не менее, не все микрограницы, где нормали микроповерхностей и повернутые нормали совпадают, будут отображаться, так как некоторые из них будут заблокированы тенью.

Шероховатости поверхности на микроскопическом уровне рассеивают свет. Например, расплывчатое отражение из-за размытых лучей света. Лучи не отражаются параллельно, и мы получаем зеркальное размытое отражение, показанное на рисунке ниже.

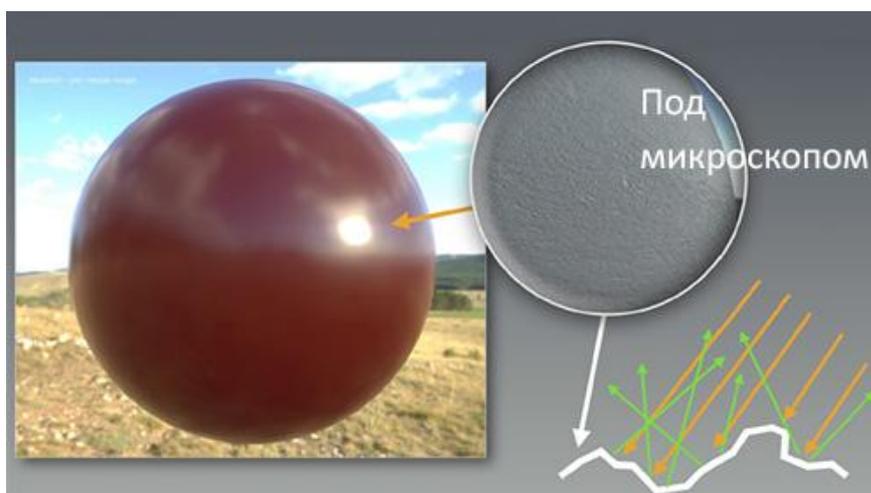


Рисунок 28 – Гладкая поверхность под микроскопом

Цвет поверхности (другими словами, цвет, который мы видим) существует благодаря волнам, которые излучаются источником света, они частично поглощаются объектом, а частично отражаются зеркально и рассеяно. Отражающиеся волны и есть цвет, который мы видим.

Brdf (от англ. bidirectional reflectance distribution function – двунаправленная функция распределения отражений) рассматривается как функция, которая описывает отражательные свойства поверхности. В компьютерной графике существуют разные brdf модели, не все из них являются физически корректными. Что бы быть физически корректной, модель должна проявлять качества взаимности и сохранения энергии. Под взаимностью имеется ввиду принцип взаимности Гельмгольца, в котором говорится, что исходящие и входящие световые лучи

могут взаимозаменяться, не воздействуя на результат brdf.

Brdf, которые используются в pbr материалах пакета Substance, основаны на принципе отражения, используемом анимационной студией Дисней, который в свою очередь основан на ggx шейдере (шейдер – программа, предназначенная для определения параметров геометрических объектов или изображений, таких как отражения, преломления, затемнения с учётом заданных параметров поглощения и рассеяния света, наложения текстур и др.). На данный момент именно ggx позволяет наиболее точно передать отражения по сравнению с другими шейдерами. В отражении передается больше деталей, блик от прямых лучей выглядит более реалистичным.

Закон сохранения энергии играет важную роль для физически корректной визуализации. Он утверждает, что общее количество света, излучаемого поверхностью (отраженного и рассеянного) меньше, чем общая сумма падающего излучения. Другими словами, свет, отраженный от поверхности никогда не будет более интенсивным, чем свет, падающий на эту поверхность. Это один из позитивных аспектов PBR, в котором закон сохранения энергии всегда соблюдается шейдером.

В соответствии с вышесказанным можно вывести некоторые ключевые факторы pbr визуализации:

1. Закон сохранения энергии. Яркость отраженного луча никогда не превышает значения, которое он имел, когда он впервые попал на поверхность. Закон сохранения энергии учитывается шейдерами.

2. Френелевские отражения. Brdf учитывается шейдерами. Значение F_0 отражения имеет минимальное изменение для наиболее распространенных диэлектриков и колеблется в пределах от 2 % до 5 %. F_0 для металлов имеет высокое значение в диапазоне от 70 до 100 %.

3. Интенсивность зеркального отражения контролируется brdf, текстурами, отражающими степень шероховатости поверхности, а также величиной коэффициента отражения F_0 .

4. Расчеты освещения вычисляются в линейном пространстве. Все текстуры,

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		64

которые имеют гамма-кодированные величины, такие, как базовый или диффузный цвет, как правило, обрабатываются шейдерами в линейном пространстве. Текстуры, которые описывают атрибуты поверхности, такие как шероховатость/гладкость, блеск, принадлежность к металлам/диэлектрикам и микрорельеф должны быть интерпретированы в линейном пространстве.

У вышеописанной технологии физически корректной визуализации есть следующие преимущества:

1. Намного легче создавать реалистичные текстуры, так как отпадает необходимость в бесконечном переборе множества вторичных параметров материала. Пользователь задает лишь несколько фундаментальных характеристик – все остальное вычисляется на основе точных физических формул и алгоритмов.

2. Модели выглядят одинаково корректно во всех условиях освещения.

3. Сам процесс разработки более логичный, интуитивный, не смотря на широчайший спектр возможных реализаций.

Теперь перейдем от теории физически корректной визуализации к практике. Для создания текстур необходимо сначала запечь с высокополигональной модели мелкие детали (спроецировать детализацию с поверхности трехмерной модели на двухмерную текстуру) для их последующей имитации на поверхности низкополигональной модели, которые фактически будут отсутствовать на геометрии.

Рельефное текстурирование (от англ. bump mapping) – это технология компьютерной графики для имитации детализации на поверхности объекта. Это достигается воздействием на нормали поверхности объекта и использованием этих нормалей при расчетах освещения. Результатом является имитация на объекте различных деталей рельефа, хотя поверхность самого объекта не изменяется. Рельефное текстурирование было введено Джеймсом Блинном в 1978 году. Карты нормалей – наиболее распространенное средство, используемое для этой технологии.

Просчет результатов рельефного текстурирования происходит намного быстрее и потребляет меньше ресурсов при одном и том же уровне детализации по сравнению с технологией смещения (displacement mapping), где геометрия поверх-

ности изменяется согласно карте высот.

Основным минусом данного метода является то, что он воздействует только на поверхностные нормали без изменения самой подстилающей поверхности. То есть силуэты и тени объектов остаются неизменными.

Существует два основных способа отображения рельефа. Первый использует карту высоты для моделирования смещения поверхности, приводящего к изменению нормалей. Прежде чем подсчет освещения будет выполнен для каждой видимой точки (или пикселя) на поверхности объекта происходит следующее:

1. Интерпретация карты высот.
2. Вычисление нормалей поверхности с использованием карты высот, как правило, для этого используется метод конечных разностей.
3. Объединение нормальной из шага два с нормалью настоящей («геометрической») поверхности.
4. Просчет взаимодействие новой рельефной поверхности со светом в сцене, используя, например, модель отражения Фонга.

Результатом является поверхность с имитацией рельефа на ней. Алгоритм также гарантирует, что внешний вид поверхности изменяется по мере того, как источники света в сцене изменяют свое положение.

Другой метод это использование карты нормалей, которая непосредственно содержит модифицированную нормаль для каждой точки на поверхности. Поскольку нормаль указана непосредственно, а не высчитывается из карты высот, этот метод обычно приводит к более предсказуемым результатам.

Карта нормалей – это текстура, содержащая информацию об отклонениях нормалей поверхности. Она преимущественно состоит из фиолетового цвета с градиентными переходами до красного цвета и показывающая, насколько должна быть искривлена поверхность, насколько она выпуклая или вогнутая, какие детали на ней присутствуют.

В компьютерной графике это один из самых эффективных способов для создания реалистичных детализированных поверхностей без увеличения количества полигонов модели.

Другими словами с помощью карты нормалей можно создать плоскость, состоящую из одного полигона, а выглядеть она будет так, будто состоит из несколько тысяч полигонов, потому, что она будет обладать микрорельефом.

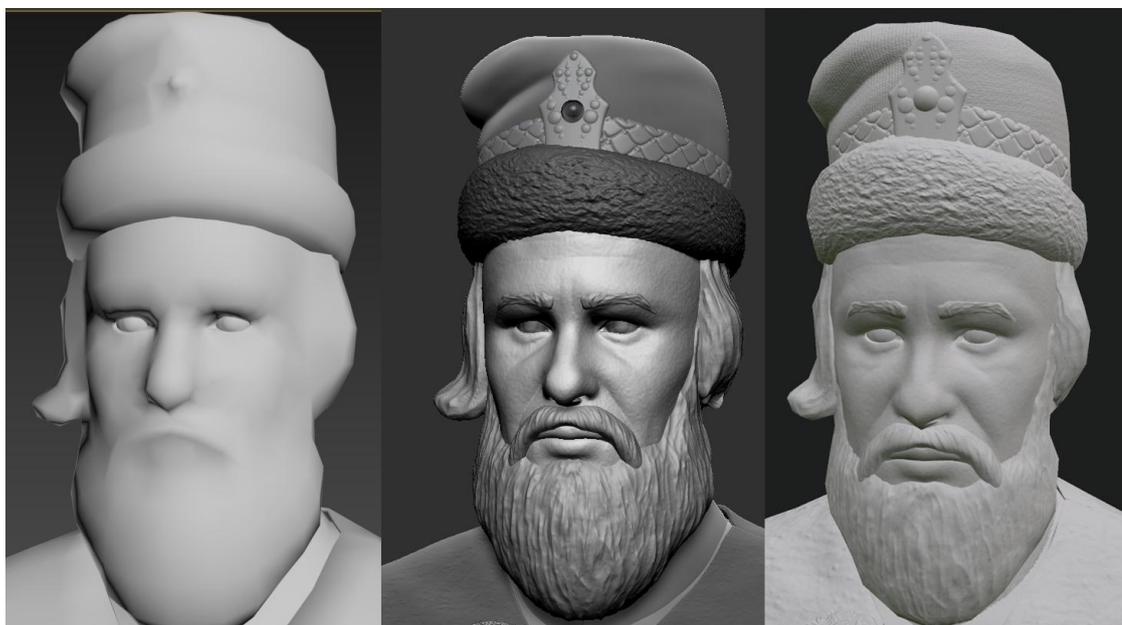


Рисунок 29 – Результат запекания карты нормалей

На рисунке выше показаны следующие модели слева направо:

1. Низкополигональная модель. Грубая модель без каких-либо деталей, передающая лишь основные, крупные формы.
2. Высокополигональная модель. Изначально созданная детализированная модель.
3. Низкополигональная модель с примененной к ней картой нормалей. Благодаря текстурной карте теперь на модели присутствует детализация и визуально она выглядит как высокополигональная.

Использование карт нормалей позволяет изменять нормаль отображаемого пикселя, основываясь на цветной карте нормалей, в которой эти отклонения хранятся в виде текселя (минимальная единица текстуры трёхмерного объекта, пиксель текстуры), цветовые составляющие которого $[r, g, b]$ интерпретируются в оси вектора $[x, y, z]$. На его основе вычисляется нормаль, используемая для расчёта освещённости пикселя.



Рисунок 30 – Карта нормалей для головы и рук персонажа

Существует два типа карт нормалей:

1. Object-space – используется для недеформирующихся объектов, таких как стены, двери, целые здания и т. п.
2. Tangent-space – применяется для возможности деформировать объекты, например персонажей.

Для создания карт нормалей используется сравнение высокополигональной и низкополигональной моделей, в результате которого получаются нужные отклонения нормалей для последней. Для корректного сравнения модели должны быть одного размера и их положение должно максимально совпадать. Карты нормалей можно создавать как в 3ds Max, так и в других аналогичных универсальных пакетах, таких как Blender, 3D Coat, а также с помощью утилит Xnormal, Hand-Paint и других.

После того, как были созданы низкополигональная геометрия и карты нор-

малей для нее, можно приступить к созданию текстурных карт. Для начала необходимо назначить материалы для модели в программе 3ds Max. По сути, в одном материалы объединяются элементы модели, обладающие общей координатной разверткой. Объекты обычно группируются таким образом, чтобы на одной развертке были объединены элементы одного материала, например, только тканевые элементы, только кожа, только металл, но это не является обязательным условием, а лишь делает процесс текстурирования более удобным. Другими словами, сколько в модели присутствует uv разверток, такое же количество материалов нужно создать. Назначенные материалы будут отображаться во всех других программах, давая тем самым возможность работы с текстурными картами.

Процесс происходит следующим образом: в редактора материалов программы 3ds Max создается определенное количество материалов, равное числу координатных разверток в модели, им задаются имена, непосредственно назначение материалов на модель происходит путем выделения элемента, нажатия правой клавишей на материал и выбора пункта «применить материал к выделенному объекту».

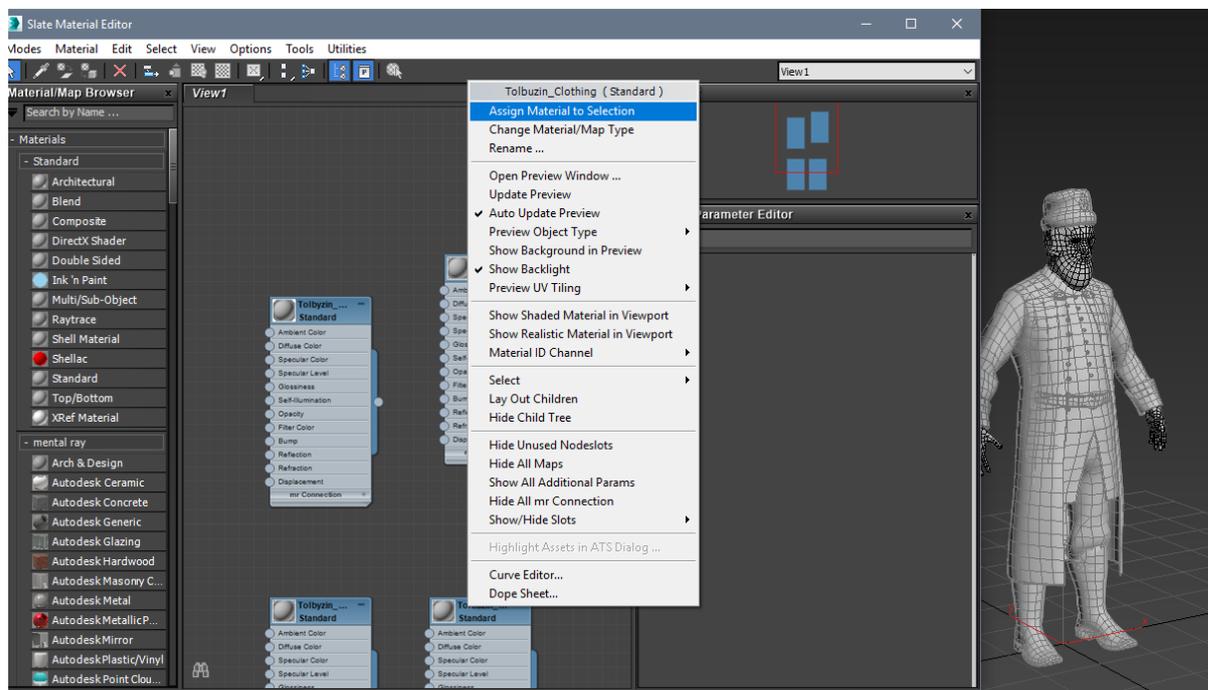


Рисунок 31 – Назначение материалов в программе 3ds Max

После чего модель в формате fbx экспортируется в программу Substance painter. Работа в данном пакете основана на слоях, что позволяет вносить значительные изменения на любом этапе. Слой можно выключить, уменьшить его интенсивность или вовсе удалить при необходимости. Для взаимодействия слоев предусмотрены различные режимы смешивания между ними, а также маскирование. Инструментарий также предлагает большое количество настраиваемых кистей и так называемых смарт-материалов (различные металлы, ткани и другие всевозможные поверхности). И те и другие обладают большим количеством параметров, которые можно настроить по необходимости. Чтобы иметь возможность редактировать смарт-материал, его нужно просто перетащить на иконку интересующего слоя. По умолчанию, создан только один слой. Пользователь имеет возможность создать неограниченное количество слоев, менять их порядок, группировать их и именовать по необходимости. Сам процесс текстурирования происходит как процедурно, путем применения материалов, предлагаемых программой и их настройкой, так и путем рисования поверх трехмерной модели, либо поверх ее двухмерной развертки. Программа позволяет отображать модель в трех режимах: только сама модель, модель и ее развертка, либо только развертка.

Как правило, текстуры создаются в достаточно большом разрешении, чаще всего от 2048 до 4096 пикселей. Обычно текстуры такого размера не применяются для анимируемых моделей, так как требует достаточно большого количества ресурсов компьютера при визуализации. Это связано с тем, что для финальной модели могут понадобиться текстуры самого разного разрешения, поэтому удобнее сделать их сначала в одинаково большом разрешении, а затем, уменьшить до определенного требуемого размера. К тому же, если качество изображения будет заметно выше, если к примеру его изначальный размер был 2048 пикселей, а затем был уменьшен до 512, чем если бы изображение сразу создавалось с разрешением в 512 пикселей.

На выходе мы получаем следующие текстуры: цвет поверхности (diffuse), шероховатость (roughness), нормали поверхности (normal), металлик (Metallic), создается для тех элементов, где присутствует металл, как например застежка

					ВКР.155504.09.04.04.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		70

ремня персонажа на рисунке 32; на данной металлик текстуре такие элементы отмечаются белым цветом, соответственно неметаллы – черным), а также карта затенения ambient occlusion, которая нацелена помочь системе освещения среды визуализации при создании теней.

В компьютерной графике ambient occlusion представляет собой метод затенения, используемый для расчета того, как каждая точка в сцене соответствует окружающему освещению. Например, внутренняя часть цилиндра является закрытой и, следовательно, темнее, чем открытая внешняя поверхность. Данный метод может рассматриваться как просчет коэффициента «доступности», которое рассчитывается для каждой точки поверхности. В сценах на открытом пространстве это делается путем оценки количества «видимого» неба для каждой точки, в то время как во внутренних помещениях учитываются только объекты в пределах определенного радиуса, и считается, что стены являются источником окружающего света. Результатом является диффузный, ненаправленный эффект затенения, который не дает четких теней, но усиливается в закрытых областях и может влиять на общий тон изображения. Он часто используется в качестве эффекта пост-обработки.



Рисунок 32 – Текстурирование в программе Substance Painter

В отличие от локальных методов затенения, таких как затенение Фонга, ambient occlusion является глобальным методом, что означает, что освещение в каждой точке является функцией всей геометрии сцены. Однако это достаточно грубое приближение к методу глобального освещения.

3.2.4 Создание анимационного скелета

Скелетная анимация это техника компьютерной анимации, в которой персонаж (или другой объект) представляется с помощью двух частей: представление трехмерной поверхности, используемое для визуального отображения персонажа (называемое мешем) и иерархический набор взаимосвязанных костей (называемый скелетом или риггом), используемый для анимации.

Хотя этот метод часто используется для оживления органических моделей, его же можно использовать для управления деформацией любого другого объекта – двери, ложки, здания, или целой галактики. Когда анимированный объект не является гуманоидным персонажем, набор костей может не быть иерархическим или взаимосвязанным, он просто представляет собой описание движения объекта, на которое этот набор воздействует.

Эта технология была введена в 1988 году Надией Магненат Тальман, Ричардом Лаперьером и Даниэлем Талманном. Этот метод используется практически во всех системах анимации, где упрощенные пользовательские интерфейсы позволяют аниматорам часто контролировать сложную геометрию. Однако, данный метод не предназначен для имитации реальной анатомии или физических процессов, а лишь служит для контроля деформации трехмерной поверхности.

Этот метод построения набора «костей» часто называют риггингом. Каждая кость имеет трехмерную трансформацию (которая включает в себя ее положение, масштаб и ориентацию) и опциональную родительскую кость. Таким образом, кости образуют иерархию. Полное преобразование дочернего узла является продуктом его родительского преобразования и его собственного преобразования. Таким образом, перемещение кости бедра будет перемещать и нижнюю часть ноги. Когда персонаж анимируется, кости меняют свое положение под влиянием некоторого контроллера анимации. Риг, как правило, состоит из прямой и обрат-

ной кинематики, которые могут взаимодействовать друг с другом.

Каждая кость в скелете связана с определенной частью визуального представления персонажа. Скиннинг – это процесс создания этих связей, привязка костей к определенной части поверхности модели. Обычно кость связывают с определенной группой вершин полигонов. Например, в модели человека, анимационная кость бедра будет связаны с вершинами, составляющими полигоны бедра модели. Однако части модели чаще всего связаны с несколькими костями, каждая из которых обладает своими коэффициентами влияния на данный участок модели, называемые весами вершин, или весами смешивания. Таким образом, деформация поверхности модели в месте соединения двух костей может в определенной степени зависеть от обеих костей.

Каждая вершина поверхности модели может обладать своими значениями весов для каждой кости. Чтобы вычислить конечную позицию вершины, для каждой кости создается матрица преобразования, которая при применении к вершине сначала помещает вершину в пространство «костей», а затем возвращает ее в пространство полигональной сетки. После применения матрицы к вершине она масштабируется соответствующим весом.

Плюсы данной технологии в том, что набор вершин модели представлен костями, а они могут менять свои положение независимо друг от друга. И это позволяет аниматору легче управлять моделью и сосредоточиться на крупномасштабном движении. Таким образом, анимацию можно определить лишь движением костей, а не работой с каждой вершиной по отдельности, ведь их число может достигать до десятков тысяч.

Минусы же проистекают из плюсов, а именно того, что набор вершин модели представлен костями. Это не позволяет обеспечивать реалистичного движения мышц и деформации кожи, если речь идет об анимации органики. Возможные решения этой проблемы это использование специальных контроллеров, прикрепленных к костям, для обеспечения мышечных деформаций, а также консультирование с экспертами по физиологии для повышения точности мышечно-скелетного деформаций с использованием более тщательного моделирования

виртуальной анатомии.

Скелетная анимация – это стандартный метод анимации персонажей и механических объектов с достаточно большой длительностью, достигающей до 100 кадров и более. Он обычно используется в киноиндустрии, анимационных фильмах и играх.

Для повышения уровня реализма, а также скорости работы при анимировании часто используется технология захвата движений. Для особо опасных движений и трюков существует компьютерное моделирование, которое автоматически вычисляет физику движения и сопротивления. Свойства виртуальной анатомии, такие как масса конечностей, мышечная реакция, сила костей и суставные ограничения, могут быть добавлены для реалистичных эффектов подпрыгивания, выгибания, падения и т. п. Однако существуют и другие сферы применения моделирования виртуальной анатомии, такие как военное дело и чрезвычайные ситуации. Виртуальные солдаты, спасатели, пациенты, пассажиры и пешеходы могут использоваться для обучения, виртуальной инженерии и виртуального тестирования оборудования. Технология виртуальной анатомии может сочетаться с искусственным интеллектом для дальнейшего совершенствования технологии анимации и моделирования.

Создание анимационного скелета в рамках данной работы осуществлено посредством онлайн сервиса Mixamo. Сервис является бесплатным, требуется только регистрация по электронной почте. Для того чтобы загрузить модель на сайт сервиса, нужно экспортировать ее из программы 3d max в формате fbx. По завершению загрузки откроется окно предварительного просмотра. После нажатия кнопки далее, откроется окно размещения маркеров на ключевых точках (подбородок, кисти, локти и т.д.). Размещать маркеры можно в режиме симметрии, просто отметив галочкой соответствующее меню. Также есть возможность выбора режима размещения костей для кистей, а именно выбор стандартного варианта с пятью фалангами, тремя, двумя или вовсе без них. После выбора интересующих параметров, размещения маркеров и нажатия кнопки далее начнется автоматический процесс создания анимационного скелета.

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		74

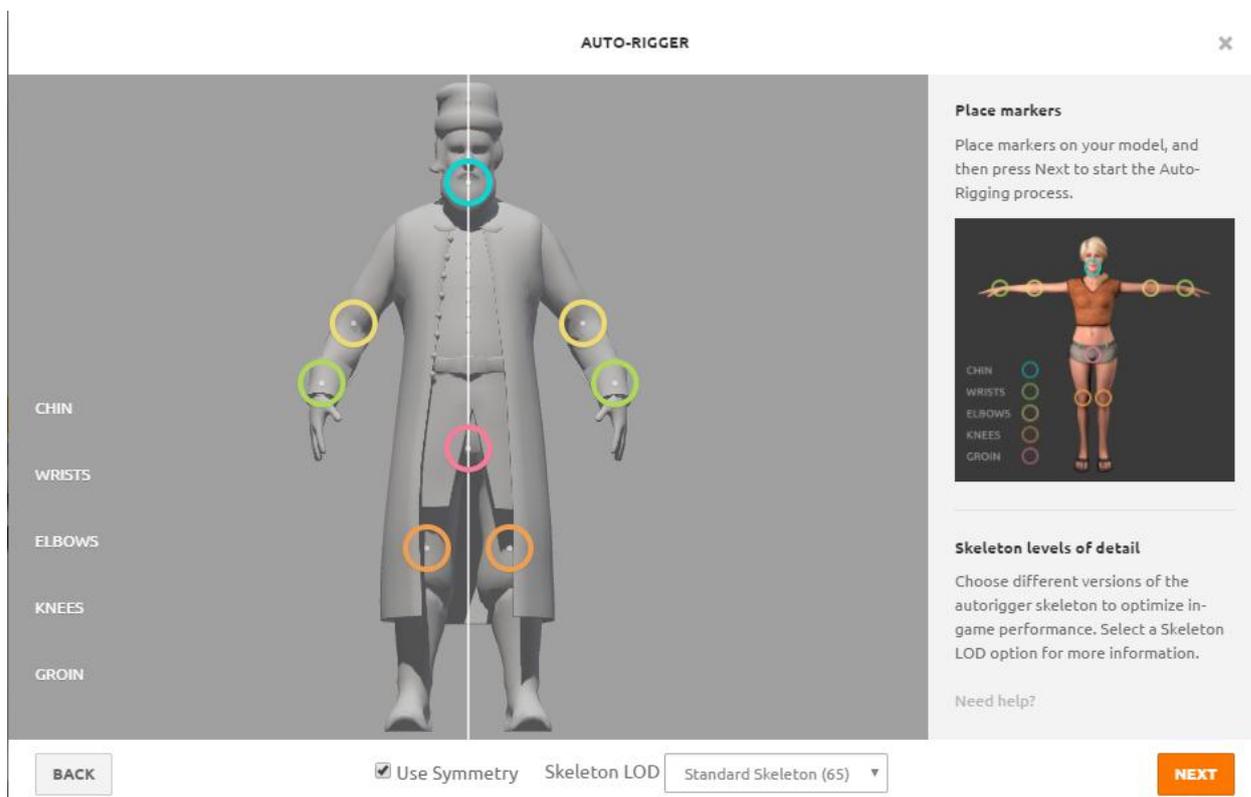


Рисунок 33 – Размещение маркеров на модели

Когда процесс завершится, откроется окно предварительного просмотра, в котором будет показана модель с демонстрационной анимацией. Если полученный результат не устраивает, есть возможность вернуться назад и внести изменения в размещение маркеров и изменить параметры в случае необходимости. Загрузить модель с созданным скелетом можно в личном кабинете.

3.3 Реализация статичной модели

Реализация статичной модели включает в себя подготовку прототипа к 3d печати. Далеко не всякая трехмерная модель может быть напечатана на 3d принтере. Даже если на экране она выглядит идеально, в процессе прототипирования могут обнаружиться проблемы или же печать не начнется вовсе. Необходимо убедиться, что модель отвечает требованиям 3d печати и сохранена в определенном формате.

В модели не должно быть пересекающихся ребер и граней. Объект должен быть цельным, за исключением случаев, когда печатается сразу несколько отдельных элементов.

Крайне желательно, чтобы у модели было достаточно большое плоское основание. Так модель будет лучше держаться на печатной поверхности принтера, не упадет и не отклеится (такой процесс называется деламинацией). В этом случае печать продолжать будет невозможно либо модель будет деформирована. Если основание модели не плоское или небольшое, то печать производится на подложке называемой рафтом. Он может быть сгенерирован прямо в программном обеспечении самого принтера. Однако стоит отметить, что рафт портит поверхность, с которой соприкасается. Рафт нужно аккуратно отделить после окончания печати и отшлифовать модель в проблемных местах при необходимости. Также существует методика создания таких называемых "ушек" на углах модели. Это более экономный метод, так как материала тратится меньше, а эффект от использования сходный. Модель лучше сцепляется с поверхностью, но требуется меньше пост-обработки. Данные "ушки" необходимо создать самостоятельно в каком-либо пакете трехмерного моделирования.

В том случае, если модель пустотелая, то толщина стенок должна быть равной или больше диаметра сопла принтера.

В модели должно быть минимум нависающих элементов. Чтобы напечатать такие элементы используют специальные поддерживающие конструкции, называемые поддержками. Они могут быть сгенерированы как автоматически программным обеспечением самого принтера, так и вручную в некоторых программах, например Meshmixer. Стоит учесть, что чем больше поддержек нужно, тем больше будет израсходовано материала и тем дольше и дороже будет печать. Также стоит учесть, что поддержки могут ломаться в процессе печати. Поэтому толщину и количество следует определить экспериментальным путем. И не стоит оставлять печать без присмотра. Кроме того, поддержка как и рафт может портить поверхность.

Также детализация модели может быть не воссоздана точно. Всё зависит от свойств материала и точности принтера. Мелкие детали меньше диаметра сопла однозначно не будут воспроизведены, также они могут стать менее заметны или исчезнуть вовсе в процессе пост-обработки, если таковая необходима. В случае

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		76

если обработка всё же требуется, стоит избегать моделей с труднодоступными участками, к которым впоследствии невозможно подобраться с инструментами.

Модель не должна быть слишком большой, то есть превышать максимально возможные габариты печати. В этом случае, модель нужно разделить на несколько частей либо уменьшить ее размер, если это возможно.

Необходимо также обратить внимание на расположение модели на печатной поверхности. Желательно, чтобы нагрузка распределялась поперек слоев печати, а не вдоль.

3.3.1 Инструменты Transpose и Decimation

Transpose master предназначен для создания позы для модели, которая состоит из множества отдельных элементов. Он временно объединяет все составные части в одну низкополигональную модель, которой гораздо удобнее задать позу. Задание позы происходит путем маскирования интересующей части модели, затем маска инвертируется (это позволяет деформировать только нужный участок модели – замаскированная часть становится нередатируемой), части модели задается нужное положение, маска удаляется и далее процесс повторяется для других участков модели, которым нужно задать новое положение. После чего внесенные изменения по нажатию кнопки будут перенесены на исходную модель.



Рисунок 34 – Постановка модели персонажа в позу

После задания позы необходимо оптимизировать модель для 3d принтера. Большинство непромышленных принтеров могут работать с моделями в пределах одного миллиона полигонов, однако модели, созданные в программе Zbrush, могут превышать это значение. Инструмент Decimation master позволяет значительно снизить количество полигонов модели, при этом сохранив большую часть детализации и даже текстуру, если таковая имеется. Текстура может быть необходимо для цветной печати или же статичной визуализации в другой программе.

Плагин прост в использовании и справляется с работой достаточно быстро. Итоговая полигональная сетка будет состоять преимущественно из треугольных полигонов, а ее плотность будет сконцентрирована в местах с наибольшей детализацией.

В большинстве случаев, модель можно оптимизировать вплоть до 25 процентов от текущего полигонажа и, не потеряв при этом в детализации. Необходимо выбрать насколько процентов будет оптимизирована модель, и программа укажет, сколько полигонов и вершин получится в итоге.

Меню decimation master отображено на рисунке ниже:

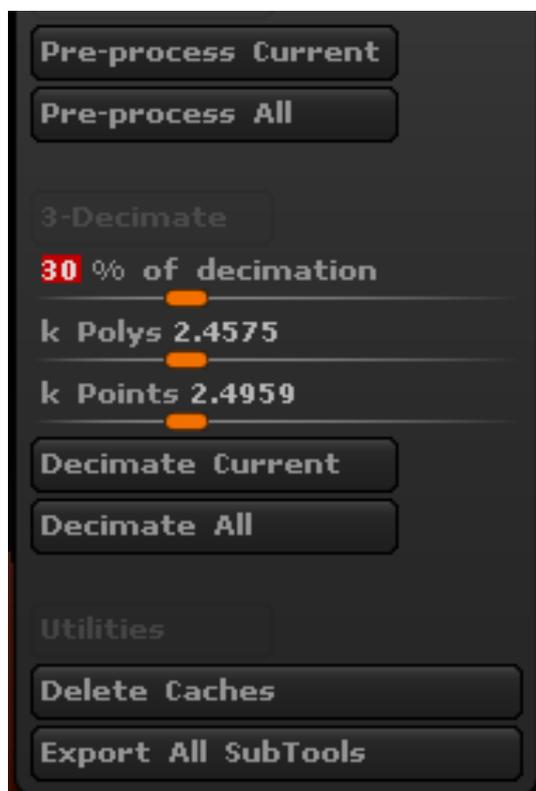


Рисунок 35 – Меню инструмента Decimation master

Уже оптимизированную модель можно подвергнуть процессу повторно, если есть такая необходимость. Как правило, «тяжелые» модели лучше оптимизировать именно так. Сначала указать процент в диапазоне 40-45 процентов, затем повторить процесс со значением меньше.

Кнопка pre-process current отвечает за просчет оптимизации для текущего подобъекта, а кнопка pre-process all – для всех имеющихся. После того как программа закончит просчет модели, необходимо нажать decimate current или decimate all соответственно, чтобы программа реализовала результаты вычислений.

Decimation master идеально подходит для:

1. Подготовки модели к визуализации в другом пакете без необходимости создания карт нормалей или дисплейсmenta.
2. Оптимизации модели для 3d печати.
3. Подготовки модели к ретопологии (созданию новой геометрии поверх имеющейся) или запеканию текстур в другом пакете.

Он также позволяет:

1. Оптимизировать модели с сохранением polypaint текстуры. Для этого нужно во вкладке Preferences открыть меню Decimation master и включить опцию use and keep polypaint.
2. Учитывать симметрию модели по осям x,y и z, также в zbrush присутствует радиальная симметрия.
3. Экспортировать все подобъекты в один obj-файл.

3.3.2 Инструмент 3d print exporter

Большинство 3d-принтеров работают с такими форматами, как stl и wml. Для того, чтобы экспортировать модель из Zbrush в одном из этих форматов нужно воспользоваться плагином 3d print exporter, который также позволяет установить физические размеры в дюймах или миллиметрах.

Перед тем как экспортировать модель, необходимо выбрать единицы измерения (дюймы либо миллиметры), нажать на кнопку update size ratios для просчета соотношения размера модели по трем осям, затем указать желаемый размер по одной из осей, программа автоматически просчитает размеры по двум другим.

После чего можно экспортировать в формате stl, vrmf или obj, также есть возможность выбора всех элементов, только видимых, или только выбранного в данный момент.

Меню данного плагина изображено на рисунке ниже:

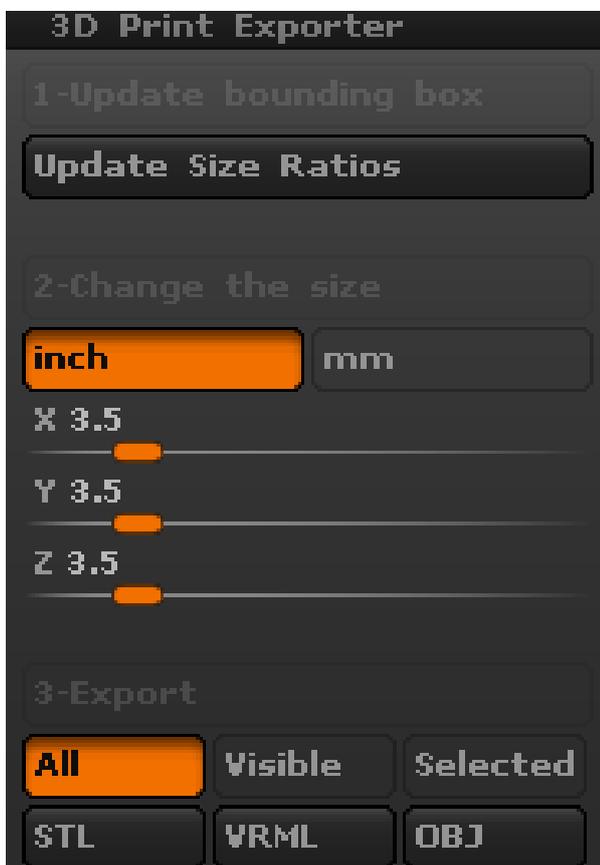


Рисунок 36 – Установка размеров модели для 3d печати

Также можно указать какие подобъекты экспортировать – все имеющиеся, все видимые (отключить видимость объекта можно в меню subtool), либо только активный.

3.3.3 Формат stl

STL – формат файла, используемый для хранения трехмерных моделей для использования в технологиях быстрого прототипирования. Информация о модели хранится как список треугольных граней, которые описывают его поверхность, и их нормалей. Файл в формате stl может быть текстовым (ASCII) или двоичным. Текстовые stl файл начинается со строки "solid name".

Треугольники в файле описываются следующим образом:

```
facet normal  $n_i$   $n_j$   $n_k$ 
outer loop
vertex  $v1_x$   $v1_y$   $v1_z$ 
vertex  $v2_x$   $v2_y$   $v2_z$ 
vertex  $v3_x$   $v3_y$   $v3_z$ 
endloop
endfacet
```

Рисунок 37 - Описание треугольника в файле stl

Где каждый n или v число с плавающей запятой в виде знака-мантиссы или 'e'-экспоненты, то есть "-2.648000e-002".

Файл заканчивается строкой "endsolid *name*".

Так как ASCII stl файл может быть достаточно большим, существует двоичная версия данного формата.

Файл начинается с заголовка из 80 символов, далее указывается количество треугольников. После чего указывается информация о каждом треугольнике.

Описание двоичного stl файла приведено на рисунке ниже.

```
UINT8[80] - Header
UINT32 - Number of triangles

foreach triangle
REAL32[3] - Normal vector
REAL32[3] - Vertex 1
REAL32[3] - Vertex 2
REAL32[3] - Vertex 3
UINT16 - Attribute byte count
end
```

Рисунок 38 – Описание двоичного stl файла

3.3.4 Проверка моделей в Netfabb Basic

Для проверки пригодности моделей к 3d-печати существует бесплатное приложение netfabb basic. Стоит отметить, что просматривать stl файлы могут многие программы для работы с трехмерными моделями, однако немногие из них могут исправлять ошибки. Чтобы протестировать модель, необходимо загрузить ее в программу через меню Project либо просто перетащив файл на рабочую область. Если в модели имеются ошибки, то в правом нижнем углу экрана появится большой восклицательный знак. В этом случае необходимо нажать кнопку new analysis на панели инструментов.

Кнопка выделена на рисунке ниже:

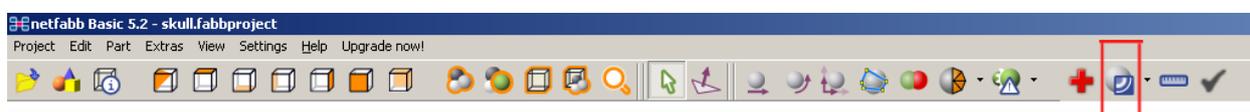


Рисунок 39 – Панель инструментов Netfabb basic

Проблемные зоны на модели будут окрашены в красный цвет, и на правой панели появится информация о проекте.

Пример того, как выводится данная информация, изображен на рисунке ниже:

	X	Y	Z
Minimum:	0.00	0.00	0.00
Maximum:	38.47	50.00	35.31
Size:	38.47	50.00	35.31
Volume:	9.8000 cm ³	Area:	39.7137 cm ²
Points:	12595	Edges:	37669
Triangles:	25075	Shells:	3
Holes:	5	Bad edges:	0
Boundary edges:	113	Boundary Len	107.42 mm
Flipped triangles:	0		
Surface is closed:			No
Surface is orientable:			Yes

Рисунок 40 – Информация о модели

Нужно уделить внимание информации о незамкнутых поверхностях и вывернутых наизнанку гранях. Часто это вызвано небольшими отверстиями или несходящимися краями на модели, которые не заметны на экране.

Чтобы устранить ошибки, нужно нажать на `repair` на панели инструментов, на правой панели выбрать автоматический способ, и в появившемся окошке выбрать способ по умолчанию. После чего нажать выполнить. После этого информация о модели обновится. Все ошибки должны иметь напротив значение «ноль». Значение `shell` должно равняться одному, но может быть и больше, если файл состоит из нескольких частей. Когда процесс завершен, нужно нажать на кнопку принять исправления на правой панели. После чего, можно экспортировать модель в необходимом формате.

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		83

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленными задачами в ходе данной работы были выполнены следующие этапы:

1. Выполнен анализ предметной области;
2. Выбраны программные средства для реализации проекта;
3. Согласно полученным данным из предметной области разработаны компьютерные модели участников рассматриваемого исторического события;

В ходе написания работы были исследованы особенности внешнего облика участников обороны Албазинского острога. Также выполнен анализ технологии трехмерного моделирования и визуализации. Были рассмотрены основные методы и этапы разработки моделей персонажей рассматриваемого исторического события. Осуществлена непосредственно сама разработка компьютерных моделей. Была оценена перспективность взаимодействия таких направлений как информационные технологии и историческая реконструкция.

В результате исследования были получены следующие результаты:

1. Динамичные компьютерные модели персонажей рассматриваемого исторического события.
2. Статичные компьютерные модели и их физические аналоги, распечатанные на 3d принтере.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Макаров, О. Назад из виртуальности / О. Макаров // Популярная механика. – 2011. – № 10 (108) – С. 54-60.
- 2 Михеенко, М. Микеланджело в цифре: моделирование / М. Михеенко // Популярная механика. – 2009. – № 5 (79) – С. 70-74.
- 3 Меженин, А. В. Технологии 3D моделирования для создания образовательных ресурсов / А. В. Меженин. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 112 с.
- 4 Флеминг, Б. Текстурирование трехмерных объектов / Б. Флеминг. – М.: Изд-во ДМК-Пресс, 2008. – 240 с.
- 5 Ратнер, П. Трехмерное моделирование и анимация человека / П. Ратнер. – М.: Вильямс, 2005. – 277 с.
- 6 Большаков, В.П. Основы 3d моделирования / В. П. Большаков, А. Л. Бочков, А. А. Сергеев. – СПб. : Питер, 2012. – 100 с.
- 7 Дегтярев, В.М. Инженерная и компьютерная графика / В. М. Дегтярев, В. П. Затыльников. – М.: Академия, 2012. – 240 с.
- 8 Грек, А. Нарисованный флот / А. Грек // Популярная механика. – 2017. - №2(172) – С. 36-41.
- 9 Канесса, Э. Доступная 3d печать для науки, образования и устойчивого развития / Э. Канесса, К. Фонда, М. Зеннаро. – М.: Наука, 2013. – 192 с.
- 10 Келлер, Э. Введение в ZBrush 4 / Э. Келлер. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
- 11 Гук Д. Ю. Исторические реконструкции: от идеи к виртуальному воплощению / Д. Ю. Гук // Труды IV (XX) Всероссийского археологического съезда в Казани. – Казань: Отечество, 2014. – Т. 4 – С. 294-296.
- 12 Тимофеев, С. М. 3ds max 2014 в подлиннике / С. М. Тимофеев. – СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2014. – 512 с.
- 13 Что такое PBR: физически корректный рендеринг и шейдинг [Электронный ресурс]. URL: <http://3dyuriki.com/2015/02/26/что-такое-pbr-fizicheski-korrektnyj-rendering-i-shejding/> (дата обращения: 25.02.2017).

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		85

14 Что такое PBR: физически корректный рендеринг и шейдинг 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://3dyuriki.com/2015/02/26/chto-takoe-pbr-fizicheski-korrektnyj-rendering-i-shejding-2/> (дата обращения: 26.02.2017).

15 Как создавать PBR текстуры: практический курс [Электронный ресурс]. URL: <http://3dyuriki.com/2015/03/25/kak-sozdavat-pbr-tekstury-prakticheskij-kurs/> (дата обращения: 01.03.2017).

16 Черников, И. И. Энциклопедия мониторов. Защитники речных границ России / И. И. Черников. – СПб.: Изд-во Судостроение, 2007. – 695 с.

17 Попов, И. М. Россия и Китай: 300 лет на грани войны / И. М. Попов. – М.: Изд-во Астрель, 2004. – 547 с.

18 Шведов, В.Г. Оборона албазина: историко-географический анализ / В. Г. Шведов, А. А. Агжитов // Естественно-географическое образование на Дальнем Востоке: мат. IV рег. науч.-пр. конф. – Благовещенск, 2013. – С. 18–26.

19 Топология для анимации персонажей [Электронный ресурс]. URL: http://skif3d.blogspot.ru/2010/05/blog-post_19.html (дата обращения: 02.12.2016).

20 Звягин, К. Трехмерное моделирование и анимация на примерах / К. Звягин, А. Меженин, В. Тозик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 880 с.

21 Уроки по 3d печати [Электронный ресурс]. URL: <http://can-touch.ru/3d-tutorials/> (дата обращения: 15.11.2016).

22 Бондаренко, М.Ю. Плагины для 3ds MAX в примерах/ М. Ю. Бондаренко, С. В. Бондаренко. – М.: КомБук, 2004. – 608с.

23 Мильчин, Ф. М. 3D Studio Max 7.0. Все, что Вы хотели знать, но боялись спросить/ Ф. М. Мильчин. – М.: Бук-Пресс и К, 2005. – 368 с.

24 Верстак, В. А. 3ds Max 8. Секреты мастерства/ В. А. Верстак. – М.: ПИТЕР, 2006. – 681 с.

25 Багрин, Е. А. Комплекс вооружения русских служилых людей в Забайкалье и Приамурье в третьей четверти XVII – начале XVIII вв. (по материалам письменных источников) / Е. А. Багрин // Вестник Бурятского государственного университета. История. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2011. – Вып. 7. – С. 36-39.

26 Бобров, Л.А. Опыт изучения защитного вооружения русских воинов XVI – XVII в. Сибири / Л. А. Бобров, Ю. С. Худяков // Культура русских в археологических исследованиях: сб. науч. тр. – Омск: Изд-во ОмГУ, 2005. – С. 268-275.

27 Багрин, Е. А. Боезапас русских служилых в Сибири и на Дальнем Востоке в XVII веке / Е. А. Багрин // Культура русских в археологических исследованиях: сб. науч. тр. – Омск: Апельсин, 2008. – С. 283-293.

28 Глушаков, С.В. Компьютерная графика / С. В. Глушаков, Г. А. Кнабе. – М.: Харьков: Фолио, 2002. – 500 с.

29 Шикин, Е.В. Компьютерная графика / Е. В. Шикин, А. В. Боресков. – М.: Диалог-Мифи, 2005. – 464 с.

30 Гейлер, Э. М. Photoshop. Полный курс / Э. М. Гейлер. – М.: НТ Пресс, 2009. – 496 с.

31 Мелихов, Г. В. Манчжуры на Северо-Востоке (XVII в.) / Г. В. Мелихов. – М.: Наука, 1974. – 101 с.

32 Миронов, Д. Ф. Компьютерная графика в дизайне / Д. Ф. Миронов. – М.: БХВ-Петербург, 2008. – 560 с.

33 Шлыкова, О. В. Культурная политика региона в контексте глобализации и информатизации общества / О. В. Шлыкова. – М.: РГГУ, 2007. – 843 с.

34 Курс уроков по созданию персонажа [Электронный ресурс] – <http://soohar.ru/sozdanie-personazha-the-warrior-chast-1/> (дата обращения: 29.03.2016).

35 Процесс текстурирования персонажа [Электронный ресурс] – <https://www.allegorithmic.com/blog/pounn-character-making> (дата обращения: 29.03.2016).

36 Беспрозванных, Е. Л. Приамурье в системе русско-китайских отношений / Е. Л. Беспрозванных. – Хабаровск: Хабаровское книжное издательство, 1986. – 336 с.

37 Боднарюк, М.К. Компьютерная реконструкция персонажей обороны Албазина // Молодежь XXI века: шаг в будущее: мат. XVII рег. науч.-пр. конф. – Благовещенск: БГПУ, 2016. – Т. 3.– С. 201-202.

38 Боднарюк, М.К. Компьютерная историческая реконструкция / М. К. Боднарюк, А. В. Вишневский, И. Е. Еремин, А. Н. Черкасов // Ученые заметки Тихоокеанского государственного университета. – 2016. – Т.7 – № 3 – С. 111-116.

					<i>ВКР.155504.09.04.04.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		88

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Изображения компьютерных моделей



Рисунок А.1 – Модель воеводы Толбузина



Рисунок А.2 – Модель рядового казака

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А



Рисунок А.3 – Модель офицера