

**Министерство науки и высшего образования 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 подготовки 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника

Направленность (профиль) образовательной программы Автоматизированные системы обработки информации и управления

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. Кафедрой

\_\_\_\_\_ А.В. Бушманов

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022г

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Разработка 3D-моделей коренных народностей Приамурья

Исполнитель

студент группы 853об

А.В. Ким

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Руководитель

профессор, доктор техн. наук

И.Е. Еремин

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Консультант по безопасности  
и экологичности

доцент, канд.техн.наук

А.Б. Булгаков

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Нормоконтроль

инженер

В.Н. Адаменко

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Благовещенск 2022



## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 95 с., 59 рисунков, 5 таблиц, 6 приложений, 25 источников.

### 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ, СКЕЛЕТИРОВАНИЕ, РИГГИНГ, 3D-ПЕЧАТЬ, СУВЕНИРНАЯ ПРОДУКЦИЯ, КОРЕННЫЕ НАРОДЫ ПРИАМУРЬЯ

Объектом исследования выступает процесс создания трехмерных моделей коренных народностей Приамурья. Цель работы состоит в разработке 3D-моделей представителей коренных народов с учетом особенностей вывода на 3D-печать.

Для достижения поставленной цели в работе используются метод анализа для подробного изучения внешних признаков коренных народов Приамурья и метод индукции для формирования цельного образа каждого народа на основе отдельных частей одежды и изображений представителей рассматриваемых культур. На основе полученных с помощью этих методов данных становится возможным применить метод синтеза, дающий достоверный и правдоподобный результат в виде цельных образов представителей коренных народов, которые необходимы для создания их трехмерных моделей.

Результатом выполнения данной работы являются трехмерные модели представителей коренных народностей Приамурья.

## НОРМАТИВНЫЕ СЫЛКИ

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

ГОСТ 2.105-95 ЕСКД Нормоконтроль

ГОСТ 19.004-80. ЕСПД Термины и определения

ГОСТ 2.105-95 ЕСКД Общие требования к текстовым документам

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

ГОСТ 7.32-91 (ИСО 5966-82) Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

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

ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности

ГОСТ Р 57589-2017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 2. Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования

ГОСТ 24105-80 Изделия из пластмасс. Термины и определения дефектов

ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ Р ИСО 1503-2014 Эргономика. Требования к пространственной ориентации и направлениям движения органов управления

СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

3D-модель – трехмерная модель объекта;

3D-скульптинг – производство трехмерного объекта путем применения компьютерных программных средств, посредством которых удается работать с моделями так, как скульптор работал бы над обычными глиной или камнем;

Риггинг – процесс построения скелета 3D-модели, чтобы, привязав к нему модель, можно было изменить позу виртуального персонажа;

Симуляция тканей – процесс симуляции тканей с применением цифровых технологий, обычно в контексте трехмерной графики;

3D-принтер – устройство для трехмерной печати цифровых моделей;

3D-печать – производство физических объектов посредством послойного нанесения материала печатающей головкой, соплом или с использованием иной технологии печати;

Фотограмметрия – создание формы объекта по его фотоизображениям;

Композитинг – соединение нескольких визуальных элементов в одно целостное изображение.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Предметная область проводимого исследования	10
1.1 Области применения компьютерного моделирования	10
1.1.1 Трехмерное моделирование в целом	10
1.1.2 3D-моделирование и цифровой образ человека	21
1.2 Общие сведения о коренных народностях Приамурья	23
1.2.1 Краткие сведения о нивхах	25
1.2.2 Краткие сведения о нанайцах	26
1.2.3 Краткие сведения об эвенках	26
2 Комплекс программных и технических средств	28
2.1 Обзор существующих программных решений в сфере компьютерного моделирования	28
2.2 Используемое программное обеспечение	33
2.2.1 Среда прототипирования гуманоидов MakeHuman	33
2.2.2 ПО для создания 3D-одежды Marvelous Designer	36
2.2.3 Пакет 3D-моделирования Blender	39
2.2.4 Программа для скульптинга ZBrush	40
2.2.5 Слайсер для 3D-моделей Ultimaker Cura	43
2.3 Используемое техническое обеспечение	44
2.2.1 Характеристики используемого 3D-принтера	45
2.2.2 Характеристики расходных материалов	47
3.1 Систематизация процесса разработки	48
3.1.1 Описание процесса моделирования	48
3.1.2 Описание процесса вывода на 3D-печать	49
3.2 Производственный процесс	49
3.2.1 Синтез образа представителей народностей	49
3.2.3 Скелетирование и позирование	56

3.2.4 Создание одежды	58
3.2.5 Создание предметов быта и окружения	61
3.2.6 Обработка модели и подготовка под 3D-печать	62
3.2.7 Физическая 3D-печать	68
3.2.8 Результаты	70
4 Безопасность и экологичность	72
4.1 Безопасность	72
4.1.1 Анализ потенциальных опасностей	72
4.1.2 Мероприятия по обеспечению безопасности	74
4.2 Экологичность	79
4.3 Чрезвычайные ситуации	84
Заключение	86
Библиографический список	87
Приложение А	90
Приложение Б	91
Приложение В	92
Приложение Г	93
Приложение Д	94
Приложение Е	95

## ВВЕДЕНИЕ

Компьютерное моделирование уже давно является серьезным инструментом и опорой в крупных областях экономики. Оно входит в сектор информационных технологий, востребованность которого за годы пандемии COVID-19 стремительно растет. Об увеличении прибылей сообщают игровые компании, производящие крайне популярный в период изоляции продукт – видеоигры. Во многих из них широко применяются технологии 3D-моделирования для создания окружения, персонажей и многого другого. Нашли трехмерные модели применение и в областях медицины, непосредственно связанных с COVID-19. На просторах интернета можно найти 3D-модели и анимационные ролики, посвященные визуализации вируса. Это позволяет в интерактивной или развлекательной форме привлечь внимание к данной проблеме, что способствует лучшей вовлеченности мировой общественности в этот вопрос, ведь язык трехмерных моделей универсален для всего земного шара.

Помимо этих областей, компьютерное моделирование продолжает облегчать работу в более традиционных областях экономики вроде строительства. Строительство является одной из самых крупных областей с точки зрения денежного оборота, чему напрямую способствуют применяемые технологии 3D-моделирования, обеспечивая специалистов в этой области точными и надежными моделями строительных сооружений, позволяя создавать и использовать повторно различные трехмерные элементы конструкций, автоматизируя процесс производства в целом.

Нашло свое применение компьютерное моделирование и в области, которая не может похвастаться настолько же широкой популярностью или годовой выручкой, но от того не менее важной. Это создание цифровых трехмерных моделей различных исторических и культурных объектов, в частности, создание 3D-моделей представителей различных народов.

Сохранение культур коренных народов всегда было актуальным вопросом для нашей страны, причем с течением времени актуальность эта только растет, так как популяция многих из них неуклонно снижается, что неизбежно в условиях соседства народов, численность и уровень технологического развития которых несопоставим.

Отталкиваясь от данного вопроса, была обозначена цель: разработать 3D-модели коренных народностей Приамурья, которые впоследствии можно вывести на 3D-печать. Достижение обозначенной цели позволит повысить общественное внимание к этим народам и способствовать популяризации их культуры и традиций. В свою очередь, это может как помочь стабилизировать финансовые и другие проблемы народов за счет туристического интереса людей, так и укрепить национальную идентичность представителей этих народов по отношению к своему этносу, ведь одной из серьезных проблем снижения их численности является потеря интереса молодежи к собственной культуре.

Практическим результатом достижения цели являются 3D-модели пар представителей нивхов, нанайцев и эвенков. Для этого процесс разработки был разбит на решение следующего ряда задач:

- анализ предметной области;
- синтез внешнего вида представителей коренных народностей;
- создание пар 3D-моделей каждого из трех народов;
- создание национальной одежды;
- создание элементов окружения и быта;
- трехмерная печать объектов;
- проведение анализа безопасности и экологичности.

# 1 ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ ПРОВОДИМОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

## **1.1 Области применения компьютерного моделирования**

### **1.1.1 Трехмерное моделирование в целом**

Компьютерное моделирование уже давно находит применение в большом количестве различных сфер деятельности. На данный момент можно выделить несколько направлений, в которых оно находит наибольшее применение. Одним из этих направлений является индустрия развлечений.

В свою очередь, в индустрии развлечений также можно выделить несколько перспективных направлений применения и развития компьютерного моделирования. Это компьютерные игры, фильмы и мультфильмы. Так как применения моделирования в этих сферах имеют много сходств, то подробное рассмотрение областей компьютерного моделирования будет осуществляться на примере видеоигр.

Растущую перспективность компьютерных игр обеспечивают несколько факторов. За время пандемии популярность компьютерных игр как средства проведения досуга значительно возросла. Ими заинтересовались даже те, кто никогда не пробовал играть в них. Помимо сложившейся в мире обстановки, популярности компьютерных игр способствует и общий технологический прогресс. Если на заре своего появления игры запускались на аппаратных средствах, которые не были доступны широким массами, то сегодня каждый может прикоснуться к ним. Даже простейшие смартфоны способны запускать несложные игры, в том числе те, что используют трехмерную графику. По пути от дома до офиса, от остановки автобуса до учебного заведения – везде можно увидеть людей, держащих в руках телефон. И одним из самых частых использований смартфона, которые можно заметить, являются игры.

Первое, что требуется выполнить для добавления трехмерной графики в игру, это разработать трехмерные модели. Для осуществления этой задачи

применяются различные технологии трехмерного моделирования. Самой базовой формой моделирования можно назвать прямую манипуляцию точками, ребрами и полигонами. Точки в трехмерном пространстве соединяются ребрами, а ребра образуют полигоны. Простым примером является куб, в котором 6 его граней – это полигоны, или пирамида, в которой есть 4 треугольных полигона и 1 четырехугольный. Вершины этих объектов – точки, а соединения этих точек – ребра.

Другой технологией моделирования является работа с математическими формами, например, кривыми. На основе кривых могут создавать такие объекты, как трубы или нити. Могут создаваться и плоскости, построенные по нескольким кривым. Такое моделирование может быть предпочтительно ручной манипуляции точками.

Для детальной работы с моделью используют скульптинг. Это позволяет художнику работать с моделью, как со скульптурой, в точности подстраивая 3D-модель под свое видение. Применение скульптинга желательно после выполнения моделирования более грубыми методами и утверждения модели для последующей доработки, так как скульптинг, скорее всего, сделает невозможным возврат к базовым формам для изменения модели.

Получение трехмерной модели можно упростить, применяя фотограмметрию. Особенно хорошо этот подход показывает себя при моделировании ландшафтов, если действия игры должны происходить на больших площадях. Это позволяет сэкономить ресурсы на моделировании местности вручную.

Со временем аппетиты игроков в компьютерные игры только растут, что подталкивает разработчиков игр к поиску все новых и новых способов завлечения аудитории. Одними из простейших приемов являются переход от двумерного варианта графики к трехмерному, а также улучшение качества трехмерной графики. Совершенствование графики способствует росту популярности, рост популярности обеспечивает необходимость улучшений в графике для удержания аудитории. Безусловно, не все используют 3D как основной

способ улучшений продукта, но так или иначе, можно заметить общий тренд к улучшению качества трехмерной графики с течением лет в играх, где она присутствует. И совершенство идет не строго в определенную сторону, наращивая только реализм картинки на экранах игроков, но во все возможные художественные стили. В один момент вы играете в игру с графикой, стиль которой напоминает мультипликационный фильм (рисунок 1), а в другой вы запускаете приложение, которое делает упор на реалистичное отображение происходящего (рисунок 2). И все это обеспечивается совершенствованием процессов графического компьютерного моделирования.

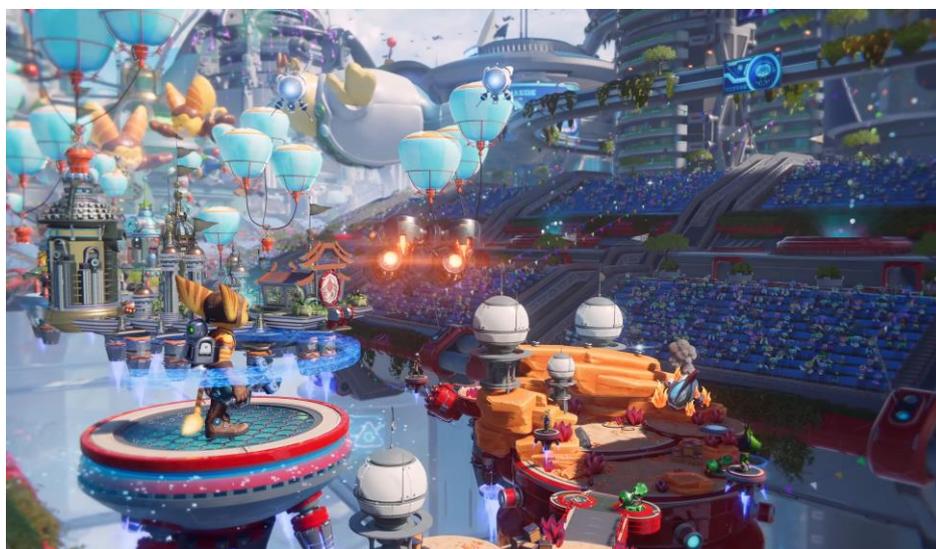


Рисунок 1 – Мультипликационная графика

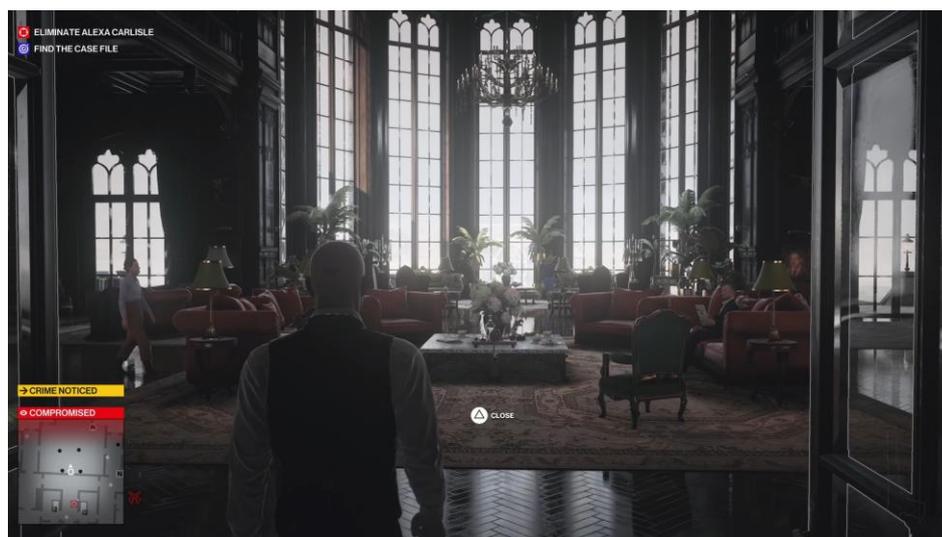


Рисунок 2 – Реалистичная графика

Улучшение качества изображения в играх достигается через ряд возможностей, часть которых лежит полностью в художественном аспекте и рассматриваться не будет. Из технических вариантов повышения качества можно рассмотреть изменение геометрических характеристик трехмерного объекта, а также работу с материалами поверхности объекта.

Самым простым и очевидным способом улучшения отрисовки моделей является наращивание основных структурных элементов 3D-объекта – полигонов. В играх стандартизированы треугольные полигоны, поэтому в них отображаются модели, собранные именно из таких полигонов. Увеличение количества полигонов имеет один существенный недостаток – очень сильно возрастает нагрузка на вычислительную систему, если полигонов очень много. Именно поэтому в играх применяются технологии превращения высокополигональных моделей в низкополигональные.

Подобный переход обеспечивается целой областью компьютерного моделирования, которую можно обозначить как *texture mapping* (англ. «сопоставление текстур»). Простейшим примером маппинга является наложение двумерной текстуры на трехмерный объект, что можно увидеть на рисунке 3.



а



б

Рисунок 3 – Двумерная текстура (а) и трехмерный объект (б)

На практике в индустрии назначение текстуры одним изображением не используется. Для создания текстуры объекта используются различные изображения, называемые картами.

Первостепенно важной является карта цвета, определяющая то, в какие цвета будет окрашен объект. От того, как будет задан цвет, какое распределение на участках объекта он получит, а также от ряда других параметров, зависит построение других карт, определяющих тени, геометрию и другие свойства поверхности объекта.

Крайне важными картами, которые позволяют сэкономить на количестве полигонов на модели в игре, являются карты `bump` и `normal`, которые создают псевдо-высоту поверхности трехмерного объекта, что дает зрительную детализацию поверхности, например, чешуйки или небольшие повреждения материала. Однако то, что при применении этих карт не создается настоящей геометрии, накладывает ограничение на размер деталей. Крупные детали нельзя нанести с помощью этих карт, так как будет заметно невооруженным глазом, что на объект наложена картинка без реальной глубины или высоты. Лучшее всего этот недостаток заметен на силуэте модели, который получается проекцией модели на плоскость. Отличаются эти две карты тем, что `bump` представляет собой черно-белое изображение, по которому определяется высота, а карта `normal` использует RGB-информацию, что дает возможность перекладывать ее на трехмерную ориентацию полигонов в пространстве, обеспечивая куда большую гибкость настройки поверхности.

Для создания реальной геометрии на трехмерном объекте используются карты `displacement`, которые создают реальную геометрию. При их применении становится возможным локально увеличивать детализацию, при этом значительно не увеличивая общее количество полигонов модели. Сильнее всего эффект заметен при перенесении деталей с высокополигональных моделей на низкополигональные.

Помимо этих карт, используются карты roughness, определяющая рассеиваемость света по поверхности, metallic, определяющая степень сходства свойств поверхности с металлической, а также ряд других.

Данные карты накладываются на трехмерную модель, что превращает простую 3D-модель в продукт, который имеет желаемый вид. Но полученная модель зачастую имеет слишком много полигонов для ее представления в игре. Для этого разработан процесс, который носит название baking (англ. «запекание»).

Данный процесс заключается в перенесении деталей с высокополигональной модели на низкополигональную. Для этого на вход программ, поддерживающих данную технологию, подаются две модели, настраиваются параметры переноса, а на выходе получается низкополигональная модель, но с сохранением вида высокополигональной. Так texture mapping обеспечивает возможность совершенствования графики без ущерба производительности игрового приложения.

Применение компьютерного моделирование в играх не ограничивается одной лишь картинкой. Погружение игрока в игру формируется совокупностью всех качеств игры, например, физики поведения объектов. Гораздо приятнее смотреть на одежду, которая ведет себя, как настоящая, или наблюдать за водой, которая течет, подчиняясь законам, близким к реальной физике. Такое применение моделирования также растет и развивается каждый год. В последние годы большую популярность набрало развитие направления трассировки лучей в реальном времени. Это обеспечивает реалистичный свет в игровых сценах, что улучшает восприятие зрительных образов игроком. Эта технология, например, делает возможным реализацию реалистичных отражений на полированных объектах, что можно увидеть на примере наплечника на рисунке 4. Расчеты в реальном времени позволяют имитировать зеркальные поверхности с достаточно высокой точностью.

Подобные технологии были доступны и раньше, но применялись они в

основном в фильмах и мультфильмах, так как требования к аппаратному обеспечению у трассировки лучей в реальном времени весьма существенные. Все, что могло применяться в играх – это имитация эффекта отражения. Например, создание дубликата всего, что находится перед зеркалом, и помещение дубликата с обратной стороны зеркала. Это дает нужный эффект, но такой процесс создания отражений сложно назвать естественным. К тому же, он весьма ресурсозатратен. Но с развитием технологий расчеты лучей света стали возможны и на вычислительных машинах пользователей, пусть и с тем ограничением, что трассировка лучей в играх все еще требует недешевого оборудования.

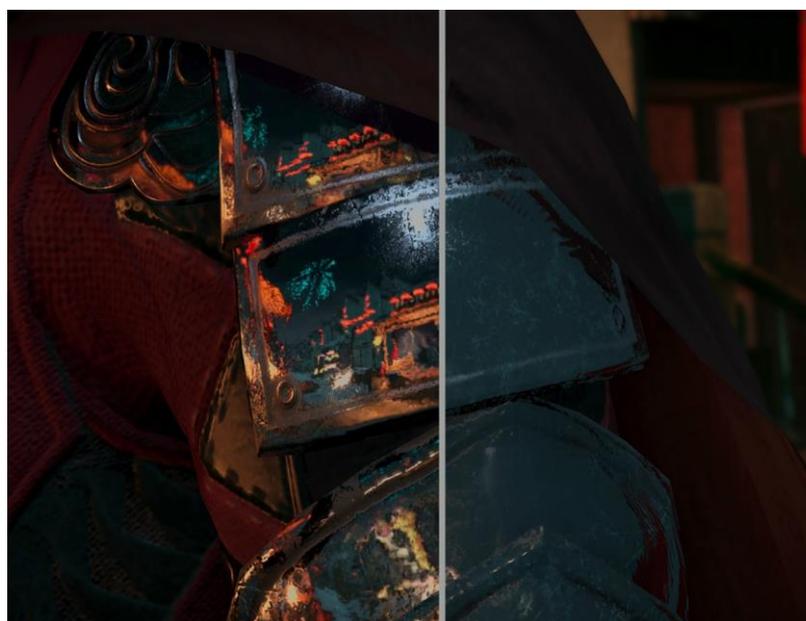


Рисунок 4 – Трассировка лучей в реальном времени

Еще одним видом применения компьютерного моделирования в играх является анимация. Именно анимация сопутствует ведущему качеству популярности видеоигр – интерактивности. Игрок не смотрит мультфильмы или сериалы, а играет в игры, именно потому, что у него есть возможность взаимодействовать с окружением игры, видеть, как персонаж игрока откликается на нажатие кнопок на клавиатуре или мыши, видеть, как на его действия отзываются внутриигровые персонажи. И для того, чтобы игрок мог поверить в

происходящее, активно используются и совершенствуются технологии анимирования персонажей, которые варьируются в зависимости от жанров игр, но для трехмерного моделирования часто используются создание скелетов и контроллеров.

Так как чаще всего в трехмерных играх присутствуют живые существа, антропоморфные роботы или что-либо другое, напоминающее органические формы жизни реального мира, то для анимации подобных объектов были разработаны и продолжают развиваться стандартизированные методы анимации, основой которых является создание скелета для трехмерной модели. Понятие скелета в моделировании хорошо согласуется с понятием скелета из реального мира. Человеческий скелет обеспечивает жесткость там, где проходит кость, и подвижность там, где кости сочленяются. Аналогичным образом работают скелеты в 3D-моделировании. В трехмерной модели создаются виртуальные кости, соединяющиеся в последовательности, как и в случае скелета живого существа. Используя полученные цепочки костей аниматор может воздействовать на них, вращая и перемещая, при этом модель персонажа или существа будет подчиняться положению костей, как это делают органические ткани, покрывающие настоящие кости. На рисунке 5 зелеными линиями представляют собой кости, а точки, по которым они соединяются – суставы. Часто в дополнение к скелету создаются контроллеры, которые являются удобным средством манипуляции несколькими костями сразу. Например, сгибание пальцев обеспечивается в весьма ограниченном пространстве, имея два конечных положения в одной плоскости (согнут – разогнут) и вариацию этих положений при повороте в суставе, соединяющем палец и ладонь. Таким образом, можно создать контроллер, который может быть реализован в виде слайдера со значениями в интерфейсе пользователя, двигая который можно будет изменять степень сгибания пальцев, или же в виде трехмерного графического объекта, перемещение которого будет управлять сгибанием.

Все обозначенные выше области: моделирование 3D-объектов, совершенствование визуального представления трехмерного объекта с помощью различных технологий, анимация моделей, – применимы и в фильмах, сериалах, мультфильмах и других подобных видах искусства. И, хоть это направление и не относится к индустрии развлечений, но реклама также активно применяет компьютерное моделирование в схожем виде.

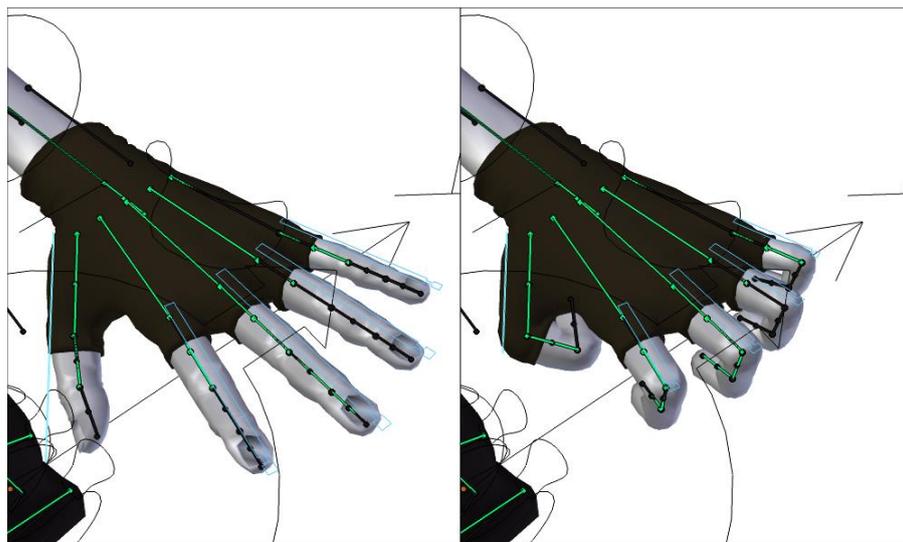


Рисунок 5 – Скелет модели

В отличие от игр, фокус фильмов и мультипликационных картин смещен с соблюдения баланса между качеством картинки и производительностью в сторону максимально впечатляющего результата. Для этого делается гораздо больший акцент на спецэффектах и общем уровне детализации изображения. Благодаря тому, что не требуется просчитывать происходящее на трехмерной сцене в режиме реального времени, удастся достичь высокого качества картинки (рисунок 6).

Помимо лучшего достигаемого качества изображения, моделирование помогает и в улучшении самого процесса съемки кинолент. Для того, чтобы выполнять сложные и опасные трюки, больше не требуется каждый раз привлекать каскадеров. Можно создать трехмерную модель актера, которая затем будет анимирована в сцене так, как задумано создателями фильма, что может

не только свести риск для жизни к нулю, но и помочь сэкономить время и ресурсы на съемку сложного в исполнении трюка.



Рисунок 6 – Кадр из фильма «Доктор Стрэндж»

Компьютерное моделирование является неотъемлемой частью и других критически важных областей, таких как строительство и медицина.

Для того, чтобы возводить в кратчайшие сроки надежные и долговечные сооружения, активно применяются средства компьютерного моделирования в строительстве. Важно отметить, что моделирование имеет настолько высокую ценность в отрасли, что для выполнения государственных строительных заказов с января 2022 года становится обязательным применение BIM-технологий (рисунок 7). BIM (Building Information Modeling) – это процесс, в результате которого формируется информационная модель здания или сооружения, которая отражает накопленную информацию на протяжении всех этапах производства. Собранная информация предоставляется всем заинтересованным в строительстве лицам, что положительно сказывается на процессе строительства.

Применение компьютерного моделирования не ограничивается самим сооружением. Для того, чтобы начать возведение комплекса по добыче какого-либо ресурса, проводится ряд серьезных исследовательских работ, включающих в себя, например, создание трехмерных моделей местности, что становится возможным благодаря авиасъемке в сочетании с фотограмметрией, и магниторазведку, которая позволяет определить, что находится под снимаемой поверхностью земли.

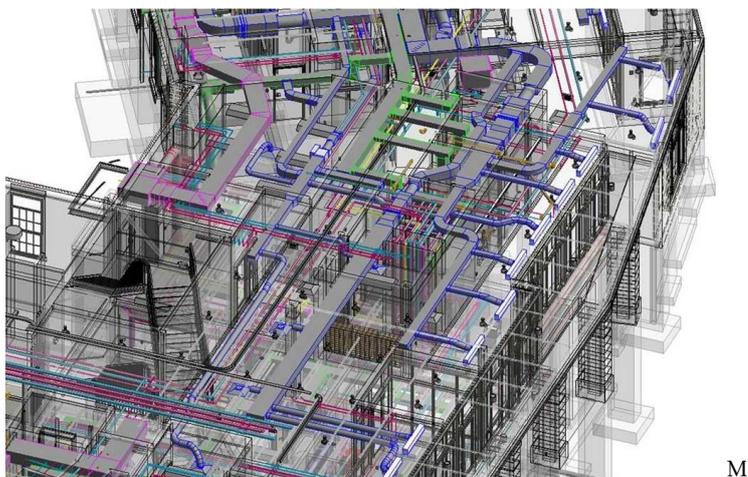


Рисунок 7 – BIM-модель здания

Находит компьютерное моделирование широкое применение и в медицине и смежных областях. Помимо перспективных технологий печати органов (рисунок 8), реализуются протезы, напечатанные на 3D-принтерах, которые используют сконструированные компьютерные модели для печати.



Рисунок 8 – Искусственное сердце

К сожалению, на данный момент все еще сложно сказать, как быстро удастся достичь значимых практических результатов в таких областях, как пересадка искусственных органов, так как существует ряд проблем и задач, которые еще только предстоит решить. Однако сочетание компьютерного моделирования и медицины однозначно дает положительный результат как минимум с научно-исследовательской точки зрения, позволяя ученым изучать множество различных областей в визуальном представлении, используя компьютерные модели и их напечатанные версии.

Таким образом, применение различных направлений компьютерного моделирования позволяет решать широкий спектр проблем, которые возникают в различных сферах человеческой жизни.

### **1.1.2 3D-моделирование и цифровой образ человека**

Важным направлением трехмерного моделирования является человек и его цифровой образ. Где бы ни применялось трехмерное моделирование, модели с большой долей вероятности человек будет иметь какую-то роль. Для анимационных фильмов гуманоидные персонажи помогают проникнуться симпатией к похожим на нас существам, в играх часто главными героями выступают люди, в фильмах создаются цифровые двойники актеров для выполнения трюков или создания спецэффектов, в протезировании учитываются характеристики человека через моделирование частей его тела или всего человека в целом, при проектировании сооружений модель человека используется для учета форм и размеров, чтобы обеспечивать удобство эксплуатации здания. Говоря о фильмах и цифровых двойниках, нельзя не отметить, что цифровые двойники создаются не только для живых актеров, но и для тех, кто больше не может играть ключевые роли. Одним из последних известных примеров такого «воскрешения» является цифровая модель актера Питера Кушинга, которую использовали в качестве актера в фильме «Изгой-один. Звездные войны: Истории». Один из кадров данного фильма представлен на рисунке 9.

Очень ценной характеристикой трехмерных моделей человека является тот факт, что они способны запечатлеть в себе антропологические особенности людей, особенности культуры и повседневного быта, реализуя возможность сохранить смоделированные цифровые образы для передачи потомкам сквозь многие века, даже если описываемые этими цифровыми моделями культуры и народы исчезнут с лица земли. Пример с цифровым актером – лишь частность того, что может быть достигнуто с помощью компьютерного моделирования.



Рисунок 9 – Компьютерная реконструкция Питера Кушинга

Цифровой образ человека складывается из разных направлений компьютерного моделирования. Многие из них применяются и в моделировании других объектов, но у моделирования цифрового образа человека есть свои особенности.

В первую очередь, моделирование человека имеет свои ограничения. И чем ближе к реалистичности моделей хочет подобраться художник, тем больше вещей приходится учитывать. Может доходить вплоть до того, что для воссоздания образа приходится агрегировать антропологические карты, исторические снимки и иные свидетельства, если требуется воссоздать достоверную копию представителя какой-либо народности на определенном историческом этапе. К счастью, в настоящий момент существует достаточно много

средств, позволяющих учесть параметры тела человека при создании компьютерной модели, а для придания деталей существуют специализированные программы, позволяющие работать с моделью человека, как на уровне скульптуры, задавая общие формы поверхностей тела и его частей, так и на уровне мельчайших деталей, позволяя наносить даже микротрещины на коже или другие небольшие дефекты.

Часто можно встретить необходимость иметь хорошие познания в анатомии человека, а также разбираться в искусстве создания скульптур. Эти знания помогают создавать правдоподобные тела за счет возможности нанесения мышечных тканей, как скульптор, задающий поверхности фигуры мышечный рельеф путем лепки поверх новых кусков материала, а также обеспечивает правильную постановку модели в позы, не противоречащим ограничениям, которым подчиняется тело, а также помогает создать «естественное» ощущение от позы, что помогает в зрительном восприятии изображения как более правдоподобного.

Получение компьютерной модели человека является одним из первых этапов получения общего цифрового образа. Для того, чтобы заложить в модель, например, культурную информацию, необходимо исследовать и реализовать поведенческие особенности людей, а также снабдить их соответствующей одеждой, предметами быта и другими атрибутами. С привнесением в цифровой образ человека подобной информации отлично справляются уже обозначенные выше технологии анимации путем создания скелетов, симуляции тканей, а также моделирования различных объектов окружения. Все эти направления должны также подчиняться особенностям человеческого тела и здравому смыслу. Наши руки не могут сгибаться в произвольные стороны, а повседневная одежда не ограничивает движения до минимума.

## **1.2 Общие сведения о коренных народностях Приамурья**

Россия – крупнейшая в мире страна, насчитывающая более 190 народов. На территории нашей страны проживают русские, татары, украинцы, армяне,

белорусы, якуты и множество других этносов. В Приамурье также можно обнаружить немалое количество национальностей, в частности, представителей коренных народов, большинство из которых живут в Амурской области, Хабаровском крае, Приморье, а также на побережье Татарского пролива. На рисунке 10 приведена карта из государственного архива Хабаровского края.



Рисунок 10 – Карта расположения народов

Говоря о конкретных народах, то выделяют: нанайцев, маньчжуров, ульчей, негидальцев, нивхов, эвенков, орочей и удэгейцев. Жизнь этих народов с давних времен связана с особенностями местной природы, которая глубоко укоренилась в их культуре. Леса и реки давали им пищу, одежду, а также предметы быта. За долгие годы существования эти народы научились обрабатывать добываемые материалы различного происхождения, заготавливая меха и шкуры.

Живущие на сравнительно небольшой территории, эти народы долгое время взаимодействовали друг с другом, что и привело к формированию похожих элементов в культурах, в частности, в способах изготовления предме-

тов быта, создании узоров на одеждах, а также сходств в самой одежде. Выделяют тесную связь между народами, представители которых жили по берегам Амура: эвенками, нивхами, нанайцами и ульчами.

В рамках темы работы следует кратко описать общие мотивы костюмов народов. В орнаменте присутствует множество кривых линий и s-образных спиралей. Находят отражение в узорах представители окружающей природы: рыбы, животные, птицы. Орнамент может представлять собой ромбы или прямоугольники, дуги, облачные узоры. Могут встречаться узоры в виде мелких кружков, кружков с точкой в центре, концентрических кружков.

### **1.2.1 Краткие сведения о нивхах**

Слово «нивхи» происходит от нивхского слова «человек». Также может встречаться название гиляки от тунгусского слова гилэкэ – от гилэ «лодка». Проживают около устья реки Амур и на севере Сахалина. Большинство современных представителей народа нивхов говорит на русском.

Так как представители народа проживают на двух отделенных друг от друга территориях, исторически выделяют две группы нивхов: амурские и сахалинские. Это разделение находит отражение в культурных и языковых отличиях.

Быт нивхов много времени уделяет рыбному делу. Рыба не только употребляется в пищу в виде разнообразных блюд, но и используется для пошива одежды. Далее можно выделить занятия охотой, собирательством, а также собаководством.

Нивхи придерживаются анимизма, веря в то, что на небе и в воде, в лесу и на земле обитают духи. Присущ им и шаманизм, в котором шаман занимается определением и лечением всяческих недугов, проводит обряды для отваживания злых духов. Обычно костюм шамана украшен множеством разных металлических элементов. Особое место в верованиях и традициях играет медведь. Ему посвящен целый «медвежий праздник», почитающий медведя как

священное животное в культуре нивхов, чья жертва принесет лесные блага для народа.

### **1.2.2 Краткие сведения о нанайцах**

Нанайцы (нанайские слова нанай, нани, встречаются переводы «местный», «здешний человек», «человек земли»), также можно встретить название гольды, являются коренным народом Дальнего Востока и, в частности, Приамурья, представители которого проживают по берегам Амура и его притоков Усури и Сунгари в России и Китае.

Как и в случае с другими коренными региона народонами, в культуре и быту нанайцев занимает важное место рыболовство. Менее значимой можно считать охоту, с которой получались пропитание и меха. Важной частью жизни нанайцев являлись собаки, с помощью которых можно было передвигаться на санях. К мужским занятиям относят работу по металлу и дереву, к женским – пошив одежды, плетение корзин.

Религиозные взгляды основываются на шаманизме и анимизме, шаман выполняет в народе схожую роль, например, с шаманов из народа нанайцев.

### **1.2.3 Краткие сведения об эвенках**

Эвенки (также можно встретить «тунгусы») считаются коренным народом Восточной Сибири, живущими также на северо-востоке Китая и в Монголии.

Традиционно эвенки охотились в одиночку. Для охоты на крупного зверя собирались в группы по два-три человека. Охота велась для добычи мяса, а также пушнины, если попадалась подходящая добыча. Использовались тактики загона зверя на стрелка с луком, ловушки и засады.

Занимались эвенки оленеводством. Они использовались как верховые и вьючные животные.

Добывалась эвенками рыба. Для этого применялись луки и остроги. Зимой рыба добывалась через лунки, летом занимались лучением – охота на

зверя или рыбу с помощью ослепления того источником света в темноте, что не дает добыче определить угрозу.

Как и у нанайцев, к мужским занятиям относят изготовление изделий из дерева, металла и кости. К этим занятиям добавляется изготовление лодок и нарт. Женщины выделывали шкуры, шили одежду, шкуры для жилища. Помогали женщины и в изготовлении лодок, готовя для них полотнища из бересты. Забота о детях и приготовлении еды также традиционно отходят женщинам.

Религия так же, как и у других коренных народов Приамурья, основывается на анимизме. Существуют сведения о некоторой распространенности Тибетского Буддизма. Эвенки уважают природу и окружающий их мир, что привело их к созданию своего рода «системы» ответственности человека перед природой и духами, и наоборот.

Шаманы эвенков выделяются своими костюмами из всего народа количеством различных декоративных элементов, как и некоторыми элементами одежды. Роли шаманов эвенков сходятся к тем же, которые выполняют шаманы других коренных народов Приамурья.

## 2 КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

### 2.1 Обзор существующих программных решений в сфере компьютерного моделирования

В настоящее время существует множество программных решений в области компьютерного моделирования. Для достижения поставленной в работе цели необходимо провести обзорное сравнение специализированного программного обеспечения. Сравнительные таблицы составлены в соответствии с направлениями работы по трехмерному моделированию: создание цифровой модели человека, разработка симулированной одежды, общее моделирование объектов, скульптинг. Этому порядку направлений соответствуют таблицы 1-4.

Таблица 1 – Сравнительный обзор ПО для создания модели человека

Программное решение	Описание
Daz 3D	Программный продукт, специализирующийся на предоставлении трехмерных моделей человека с уже готовым риггингом, что позволяет быстро приступать к созданию различных поз. Также включает в себя возможность задания аксессуаров и предметов одежды для модели.
MakeHuman	Открытое программное обеспечение, которое нацелено на создание точной трехмерной модели человека, что обеспечивается наличием огромного количества различных настроек цифрового представления: от головы человека до его ступней.

Программное решение	Описание
	Также предлагает дополнительные возможности по установке поз для персонажа, создания скелета, выбору одежды и аксессуаров.
Character Creator	Программа позиционируется как решение для создания трехмерных персонажей в целях последующей анимации, экспорта в игровые движки, создания на основе моделей персонажей AR и VR приложений.

Помимо рассмотренных в таблице программ для создания 3D-модели человека, стоит также учесть потенциальную возможность создания такой модели в любом ПО, поддерживающем создание произвольных трехмерных объектов. Однако данный процесс очень трудоемок и занимает много времени, что однозначно является критическим недостатком в сравнении со специализированными решениями.

Таблица 2 – Сравнительный обзор ПО для разработки одежды

Программное решение	Описание
Решения компании Browzwear	Комплекс программных решений, которые обеспечивают широкие возможности по созданию одежды. Программные продукты компании ориентированы на корпоративное использование.
Optitex PDS	Компания Optitex предоставляет ряд продуктов для создания реалистичной одежды, в частности, pattern design

Программное решение	Описание
	software, который позволяет создавать одежду для трехмерных моделей.
Marvelous Designer	Продукт компании CLO, который позволяет симулировать одежду, созданную в программе, в реальном времени. Имеет программу-двойника в виде Clo3D. Считается, что Marvelous Designer лучше подходит для применения в таких сферах, как игры и анимации. В целом, между двумя программами нет критически важных отличий.
Clo3D	Еще одно программное решение компании CLO, которое, в отличие от Marvelous Designer, сосредоточено больше на индустрии моды, что определяет основную аудиторию программы как дизайнеров одежды.

Также есть возможность создания одежды в программах общего моделирования, однако, так как такие пакеты моделирования не специализируются на создании одежды, они не рассматриваются.

Таблица 3 – Сравнительный обзор ПО для общего моделирования

Программное решение	Описание
Autodesk 3ds Max	Индустриальный стандарт от компании Autodesk, который считается одним из лучших пакетов моделирования трехмерных объектов. Располагает широким функционалом моделирования объектов в виде различных модификаторов 3D-объектов и способов манипулирования ими.

Программное решение	Описание
Autodesk Maya	<p>Еще один продукт индустриального класса от компании Autodesk. В связи со сходным функционалом часто сравнивается с 3ds Max, но Maya больше подходит для анимации и риггинга, а также для создания спецэффектов.</p> <p>Поддерживает собственный скриптовый язык для настройки и доработки функционала программы под себя – MEL (Maya Embedded Language), а также python и C++.</p>
Blender	<p>Бесплатный продукт с открытым исходным кодом, который нашел широкое признание у художников в 3D-сфере. Имеет внушительный арсенал возможностей, который представлен различными областями моделирования: от простого создания трехмерных моделей до создания готовых сцен с текстурированными объектами, которые могут быть подвергнуты дополнительной постобработке с добавлением эффектов на сцену.</p> <p>Одинаково часто используется как для моделирования, так и для риггинга и анимации.</p>
Maxon Cinema4D	<p>Программный пакет, который широко известен за свое применение в фильмах и рекламе, а также в архитектурном дизайне. Это обеспечивается тем, что в программе реализовано большое количество удобных инструментов, которые облегчают работу над созданием анимации и эффектов, а также над созданием архитектурных композиций.</p>

Помимо рассмотренных в таблице решений существует большой ряд других программных продуктов, но для работы в рамках темы работы для сравнения были отобраны только эти продукты.

Таблица 4 – Сравнительный обзор ПО для скульптинга

Программное решение	Описание
ZBrush	<p>Мощный пакет, основной направленностью которого является скульптинг. Для удобства процесса в ПО присутствует множество вспомогательных функций вроде нескольких вариантов наращивания геометрии объекта для детализации поверхности, создания процедурной геометрии, устранения ошибок геометрии.</p> <p>Основным достоинством программы можно считать непревзойденную детальность настроек, однако это же может считаться недостатком, так как это усложняет процесс обучения пользователя.</p>
Mudbox	<p>Является одним из часто упоминаемых продуктов в области скульптинга. Отмечаются хорошие инструменты для работы с текстурами и запечкой карт. Уступает в самом процессе скульптинга ZBrush.</p>
3D Coat	<p>Программное решение имеет удобные инструменты для работы с текстурированием, ретопологией и UV-преобразованием (сопоставление точек трехмерного объекта двумерному изображению).</p>

Скульптинг также поддерживается в таких пакетах моделирования, как Blender, однако решения вроде ZBrush имеют значительное превосходство в этой сфере, поэтому неспециализированные программы программы не участвуют в сравнении.

Рассмотрев все вышеперечисленные программные продукты, были отобраны следующие продукты:

- MakeHuman;
- Blender;
- Marvelous Designer;
- ZBrush.

Данный выбор основан на следующих критериях:

- Простота освоения продукта и его доступность;
- Эффективность решения поставленной задачи;
- Удобство рабочего процесса при передаче материалов между программами;
- Производительность программы.

Помимо выбранных в ходе сравнения программных продуктов в работе используется еще один программный продукт – слайсер Ultimaker Cura. Эта программа предназначена для создания файла G-Code для вывода трехмерной модели на 3D-печать.

## **2.2 Используемое программное обеспечение**

### **2.2.1 Среда прототипирования гуманоидов MakeHuman**

Создание трехмерной модели человека вручную – это сложный и трудоемкий процесс. И хотя практика скульптинга гуманоидных фигур с нуля существует, так как могут ставиться задачи уникальных и оригинальных образов, в рамках выполняемой работы это не имеет практического смысла. Поэтому для создания реалистичной 3D-модели человека используется программный пакет MakeHuman. В нем представлены базовые модели с возможностью их широкой настройки. Стоит отметить, что большинство значений, например, пол, не представлены лишь двумя значениями «мужчина/женщина». Программа позволяет самому определить, к какому полу по фигуре модель человека будет ближе, что улучшает процесс работы с точки зрения гибкости.

Подобная тенденция позволять пользователю выбирать точные значения сохраняется и при настройке других параметров.

Рассматривая интерфейс программы и функциональные возможности, ассоциированные с ними, стоит отметить несколько разделов и их подразделов.

Раздел Modeling предназначен для задания всех основных антропологических характеристик человека, он представлен следующими значимыми подразделами.

Main (рисунок 11) отвечает за задание всех глобальных параметров вроде пола, возраста, мускулатуры, веса и др. При дальнейшей работе все тонкие изменения модели (положение глаз, размер носа) будут базироваться на решениях, принятых на стадии работы с этой вкладкой, поэтому следует внимательно подбирать значения. Хотя изменение этих параметров не сбросит детальные настройки модели, общий вид модели может измениться так, что настроенные детали больше не соответствуют визуальному образу трехмерного человека.

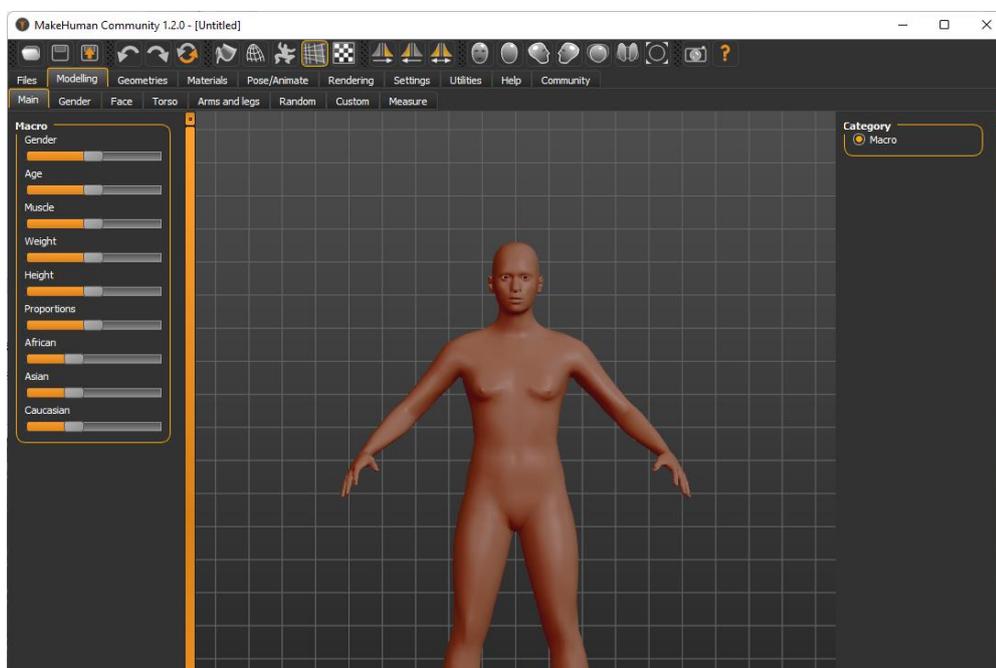


Рисунок 11 – Окно программы и вкладка Modeling

Вкладка Gender отвечает за настройку первичных и вторичных половых признаков.

Face (рисунок 12) является очень важным разделом, так как лицо формирует значительную часть образа человека. Несмотря на то, что пункт носит такое название, на самом деле он отвечает за все параметры, связанные с головой человека. Это обеспечивается наличием длинного списка различных областей настройки вроде формы головы и формы обоих глаз.

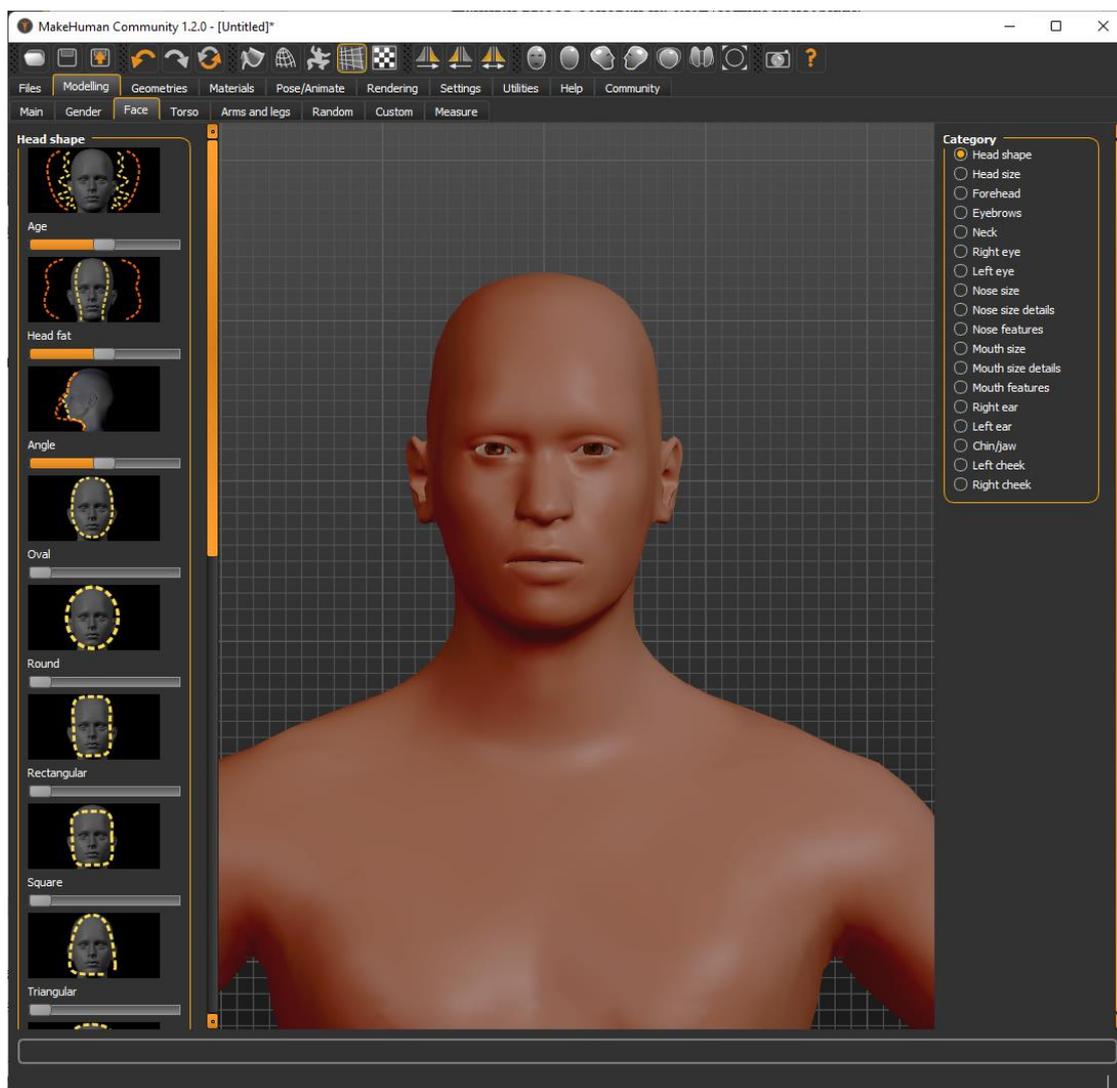


Рисунок 12 – Вкладка настройки лица

Torso задает параметры торса трехмерной модели.

Вкладка Arms and legs позволяет определить параметры рук и ног цифрового человека.

Measure обеспечивает поддержку настройки расстояния между ключевыми точками тела трехмерного человека, а также периметры обхвата шеи, ног

и др.

Пользуясь разделом Geometries, можно задать дополнительную геометрию для модели или переопределить существующую. Например, модели можно изменить тип ресниц, а также добавить одежду. Поддерживается изменение топологии, которая определяет геометрическую сетку полигонов модели.

Раздел Pose/Animate позволяет изменить позу трехмерной модели, а также выбрать выражение лица. Помимо этого, MakeHuman предлагает на выбор несколько вариантов готовых скелетов, которые в дальнейшем могут использоваться для анимации.

### **2.2.2 ПО для создания 3D-одежды Marvelous Designer**

Marvelous Designer – это программный пакет, обеспечивающий широкие возможности по созданию реалистичной одежды, поведение которой симулируется внутри программы для достижения правдоподобного вида. Помимо возможности пошива одежды, программа поставляется вместе с предустановленными комплектами аватаров (3D-моделями гуманоидов), одеждой и другими ресурсами, которые могут пригодиться в работе художника.

Работа в программе ведется в двух окнах, которые отвечают за трехмерное и двумерное представление создаваемой одежды (рисунок 13). Так как одежда в реальном мире создается из плоских кусков ткани, то разработчики решили перенести этот естественный принцип пошива в виртуальную среду. Как результат получается очень удобный и интуитивно понятный инструмент для работы с составными элементами костюма. Эти элементы называются паттерны. Для работы с ними в программе Marvelous Designer есть различные инструменты по созданию паттернов из произвольных форм, заданию внутренних линий и вырезов на паттернах, а также множество других возможностей.

Для того, чтобы паттерны могли стать цельным костюмом, их необходимо сшить. Для этого применяются элементы программы, называемые швами,

концепция которых будет понятна каждому человеку без каких-либо специальных знаний в моделировании. Швы могут задаваться несколькими способами, что обеспечивает удобство по объединению паттернов в костюм.

Как и многие программы компьютерного моделирования, Marvelous Designer позволяет работать с текстурами. При желании элементами одежды можно задавать различные текстуры, которые можно создать из произвольной картинки. Например, так можно нарисовать принт на футболке с логотипом автомобильной компании.

И одной из по-настоящему ведущих особенностей программы можно назвать инструменты симуляции ткани в реальном времени.

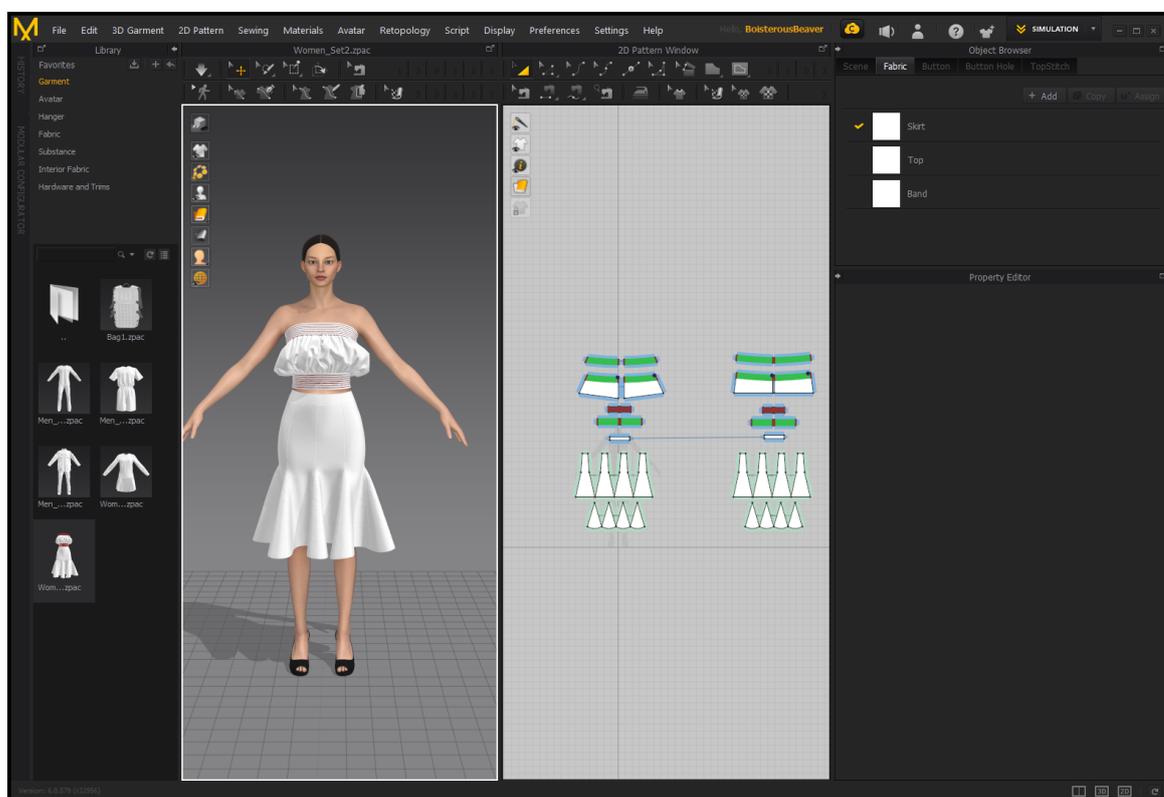


Рисунок 13 – Главное окно программы

Эти инструменты представлены разными разделами программы. Для того, чтобы симулировать ткань, нужно определить, что за ткань представлена в моделировании. Для этого существует раздел тканей, в котором можно как выбрать одну из готовых тканей, так и создать свою. Можно детально настра-

ивать то, как ткань растягивается в горизонтальном, вертикальном и диагональном направлении, задавать толщину ткани и другие параметры, которые характеризуют реальную одежду.

В процессе симуляции можно контролировать то, как сидит одежда, с помощью манипулирования тканью в окне 3D-представления. Для этого также реализованы возможности по использованию виртуальных булавок, которые позволяют фиксировать одежду так, как хочется художнику.

Еще одной важной особенностью Marvelous Designer является наличие редактора развертки UV EDITOR (рисунок 14). Работа с ним имеет принципиальное значение в случаях, когда требуется сохранить возможность работать с отдельными паттернами, которые составляют одежду, при экспорте в другие программы.

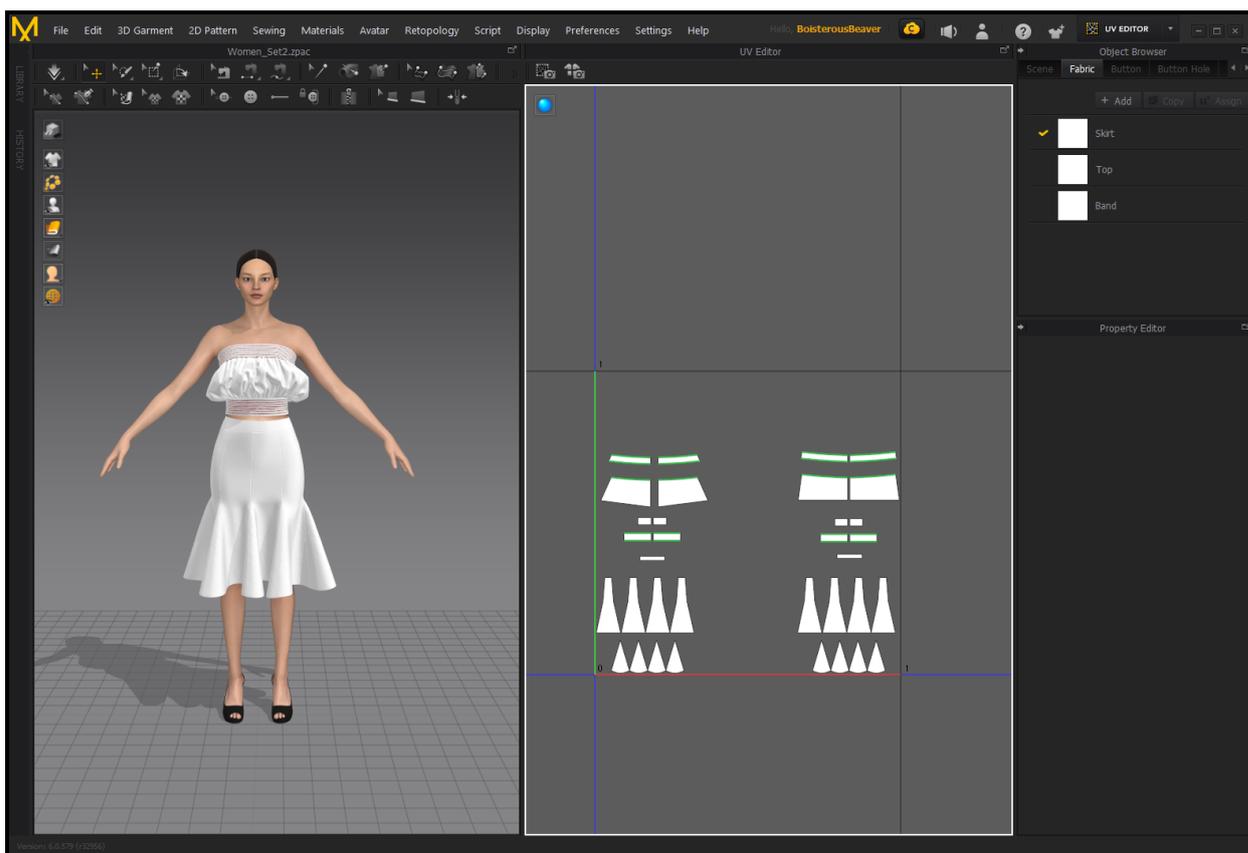


Рисунок 14 – Вкладка UV EDITOR

Полученные предметы одежды можно экспортировать в нескольких форматах для дальнейшей работы с моделью.

## 2.2.3 Пакет 3D-моделирования Blender

Blender является одним из лучших пакетов трехмерного моделирования широкого назначения. В нем представлены инструменты моделирования, текстурирования, скульптинга, анимации, рендеринга, композинга, скриптинга и др. Благодаря большому объему функций и возможностей данный программный продукт очень активно поддерживается сообществом, что выражается в большом количестве обучающих материалов по программе, а также множеству плагинов, разработанных для Blender. Главное окно программы приведено на рисунке 15.

Программа поддерживает «неразрушительные» методы работы и процедурный подход к созданию трехмерных объектов. Например, к базовой 3D-модели можно применить представленные в программном пакете модификаторы, которые изменяют свойства объекта. Внешний вид модели при этом может значительно изменяться.

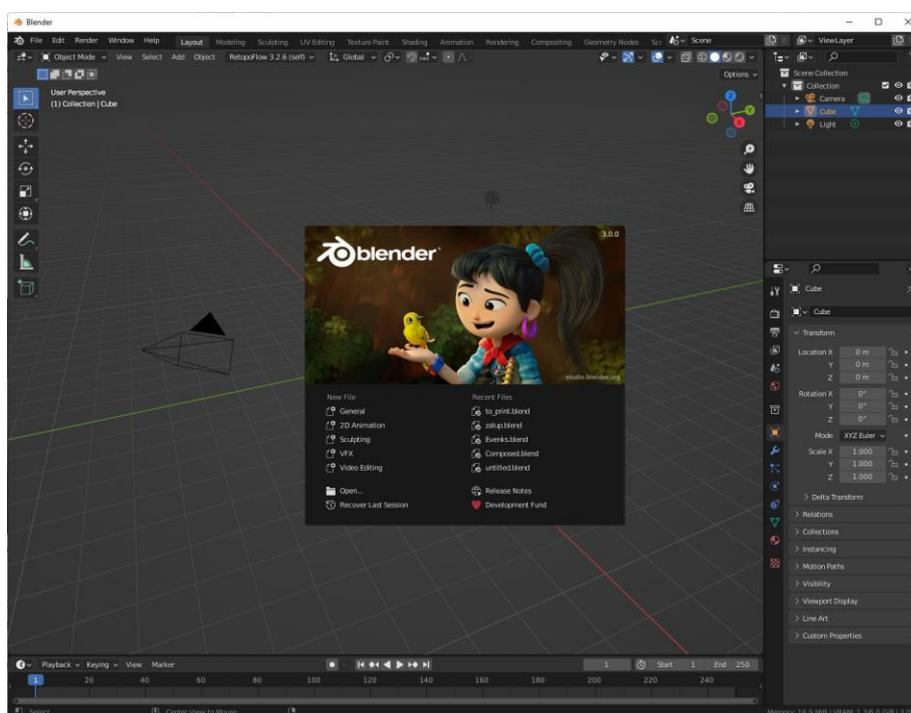


Рисунок 15 – Окно программы Blender

Результат применения трех модификаторов array, screw, wireframe к обычному кубу можно увидеть на рисунке 16. Как несложно заметить, куб с 6

гранями превратился в сложную структуру, в которой сложно узнать изначальный объект. И самое замечательное в этом подходе то, что в любой момент можно изменить параметры модификаторов, изменить их порядок, удалить старые, добавить новые – и все это без внесения в объект каких-либо непоправимых изменений.

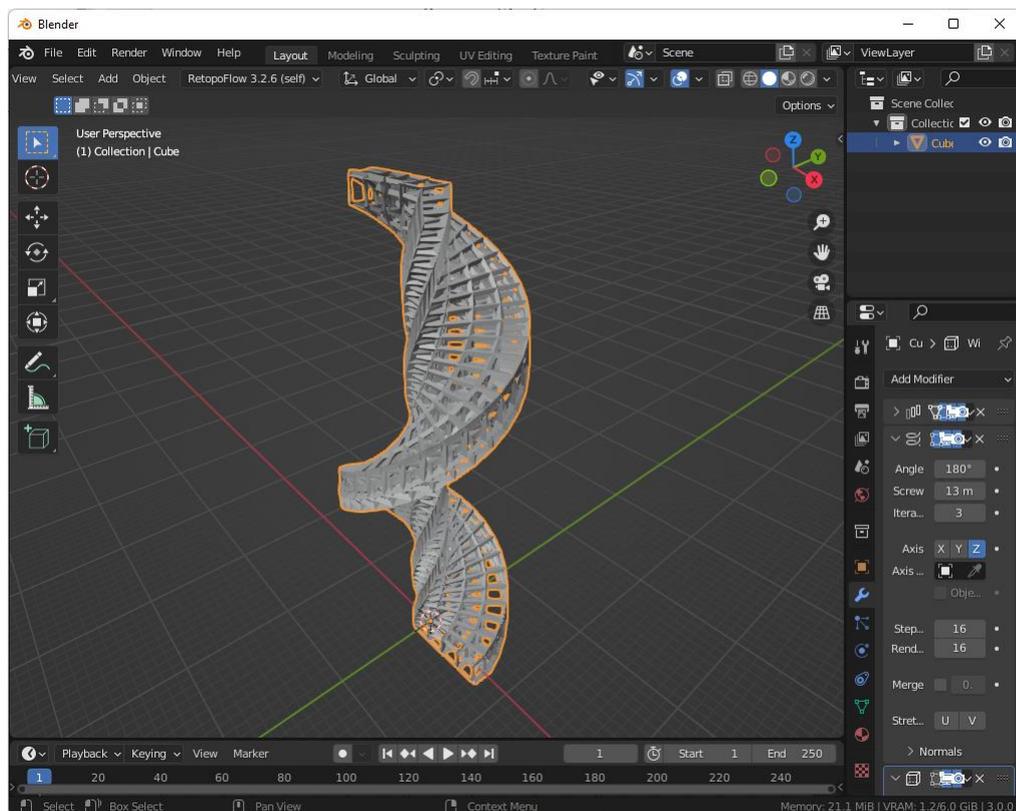


Рисунок 16 – Применение модификаторов к кубу

Таким образом, присутствующих в программе инструментов более чем достаточно для реализации практически любых задач моделирования.

#### 2.2.4 Программа для скульптинга ZBrush

Практически единогласный лидер среди специализированных на скульптинге пакетов, ZBrush обеспечивает все мыслимые потребности в области скульптинга. Само окно программы, которое приветствует пользователя при запуске приложения, гораздо сложнее и запутаннее на первый взгляд, чем окно любого другого пакета моделирования. Говоря о программе в целом, не только интерфейс имеет отличия в плане устройства. Подходы и способы реализации

многих функций также имеют свои особенности. Это дало ZBrush славу «уникального» программного решения, подразумевая нестандартную организацию программы. На рисунке 17 приведено окно программы.

Функционал программы колоссален: все, что видно, можно настраивать и изменять под себя, можно создавать пользовательские наборы инструментов, добавлять свои кисти для моделирования с тончайшими настройками, генерировать процедурную геометрию на поверхности объектов несколькими различными способами, использовать «неразрушающие» методы работы, пользоваться слоями, увеличивать и снижать разрешение геометрии.

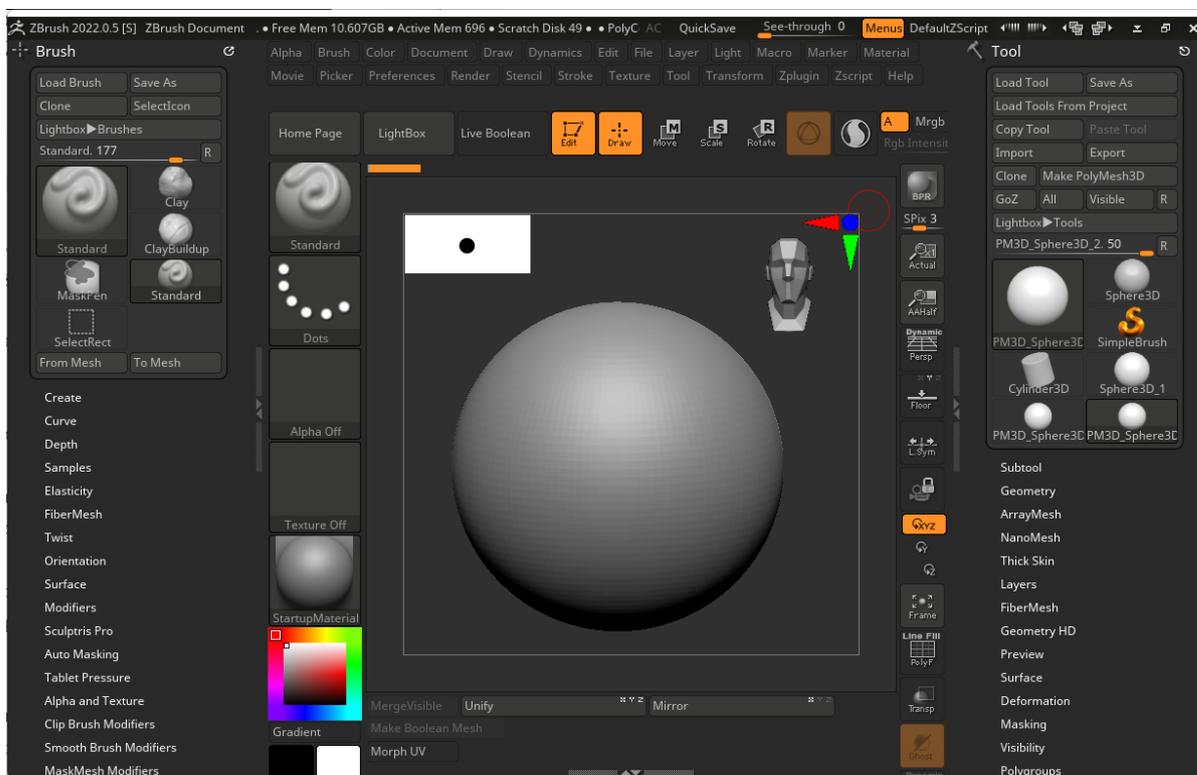


Рисунок 17 – Главное окно ZBrush

Например, для получения колчугообразной структуры, которая помещена на сферу, необходимо выполнить следующую последовательность действий: создать шар, добавить плоскость, добавить динамическое разрешение, добавить MicroPoly (замена полигонов на объекты), использовать симуляцию ткани. Пять простых действий обеспечивают достаточно сложный в ручной реализации результат, который можно наблюдать на рисунке 18.

Главным достоинством программы являются кисти. ZBrush предоставляет со старта множество кистей различного назначения. И каждая кисть имеет сложную иерархическую систему настройки.

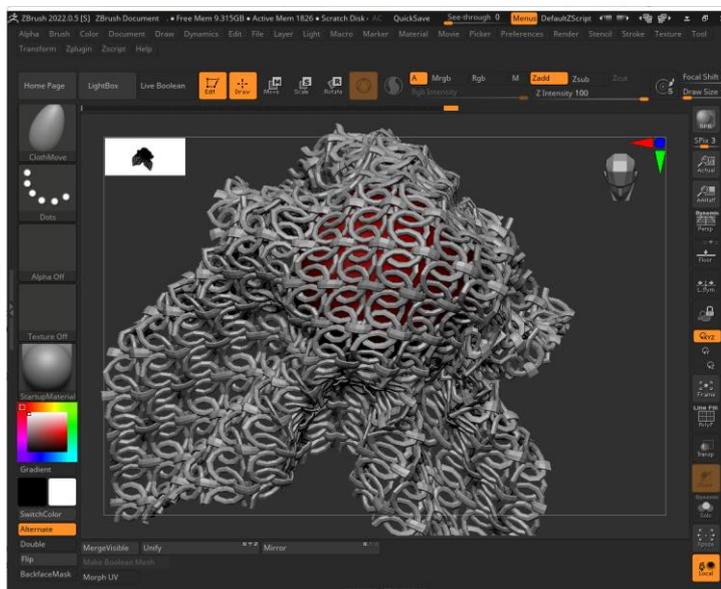


Рисунок 18 – Физика ткани и MicroPoly

Нанесение геометрии на трехмерный объект контролируется в первую очередь благодаря настройкам Brush и Stroke. Как видно из рисунка 19, кисти разбиты на категории, в каждой из которых лежит большое количество разных инструментов на выбор, а слева от каталога кистей можно увидеть настройки Brush, которые содержат не только частично дублированный список кистей, но и множество подпунктов, которые содержат детальные настройки кисти. Такой же список из множества подпунктов содержит любой пункт меню.

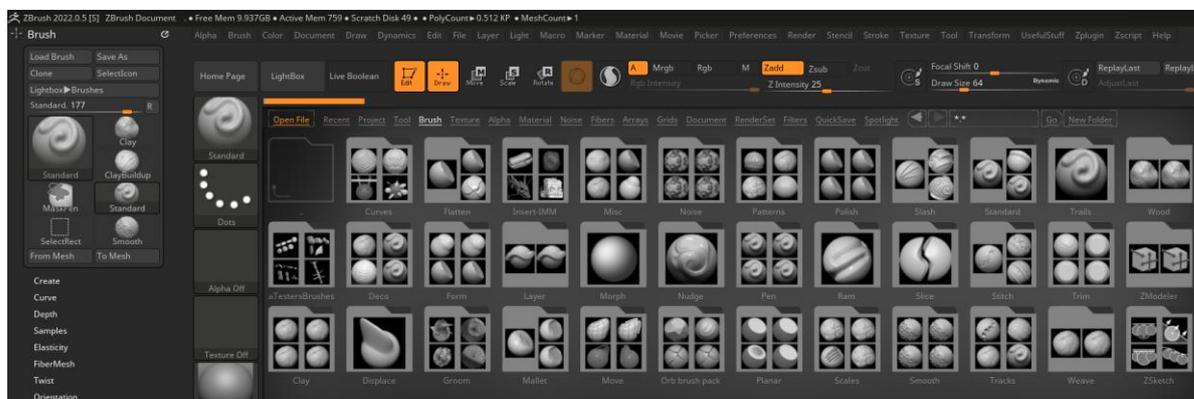


Рисунок 19 – Список кистей и настройки Brush

Подобное внимание к деталям со стороны разработчиков программы обеспечивает 3D-художников мощным инструментарием реализации своих идей.

## 2.2.5 Слайсер для 3D-моделей Ultimaker Cura

Ultimaker Cura является одним из множества слайсеров для трехмерных моделей. Благодаря достаточно простому и понятному интерфейсу (рисунок 20) программа широко применяется пользователями 3D-принтеров по всему миру. Для удобства работы настройки печати можно сохранять в отдельных профилях, что позволяет легко и просто переключаться между ними, если того требует конкретная трехмерная модель, или необходимо печатать на двух разных 3D-принтерах. Присутствуют возможности в режимах готовых профилей и ручных настроек. Режим готовых профилей содержит несколько базовых параметров, которые ориентированы на начинающего пользователя 3D-принтера, а режим ручных настроек открывает доступ ко всему функционалу программы, в том числе к заданию отдельных профилей для работы. Для печати используются файлы с g-code, которые переносятся на принтер в целях печати.

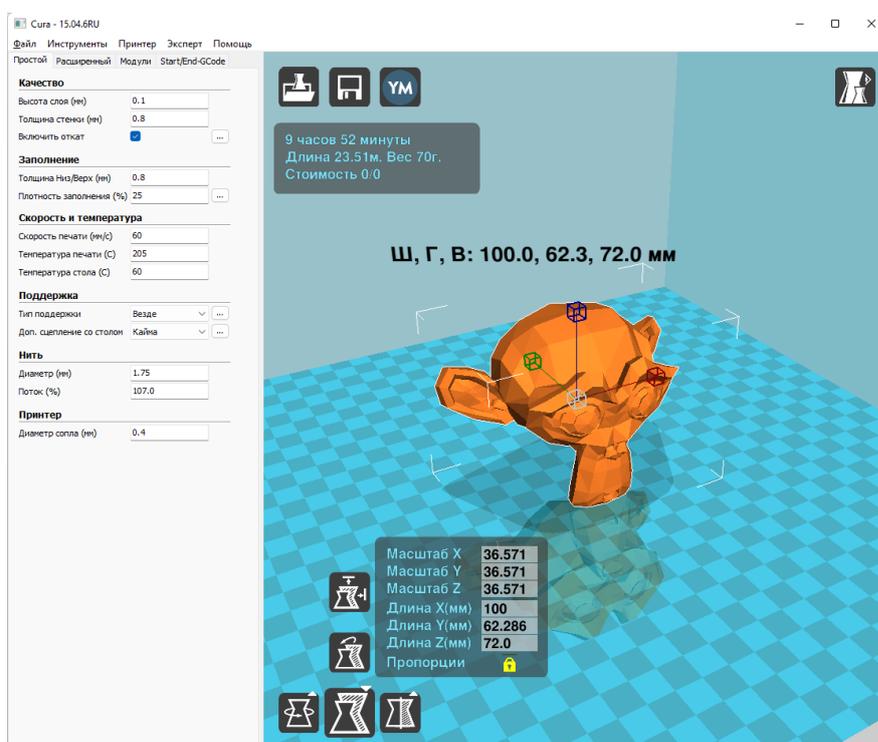


Рисунок 20 – Окно Cura

Для печати слайсер разбивает трехмерную модель на слои, которые печатаются поочередно на принтере. Для того, чтобы модель можно было напечатать, необходимо озаботиться наличием поддержек для частей модели, которые не имеют под собой достаточной опоры. На рисунке 21 изображены поддержки и кайма (голубые элементы), внутреннее заполнение модели (желтая решетка) и внешняя поверхность модели (красная поверхность).

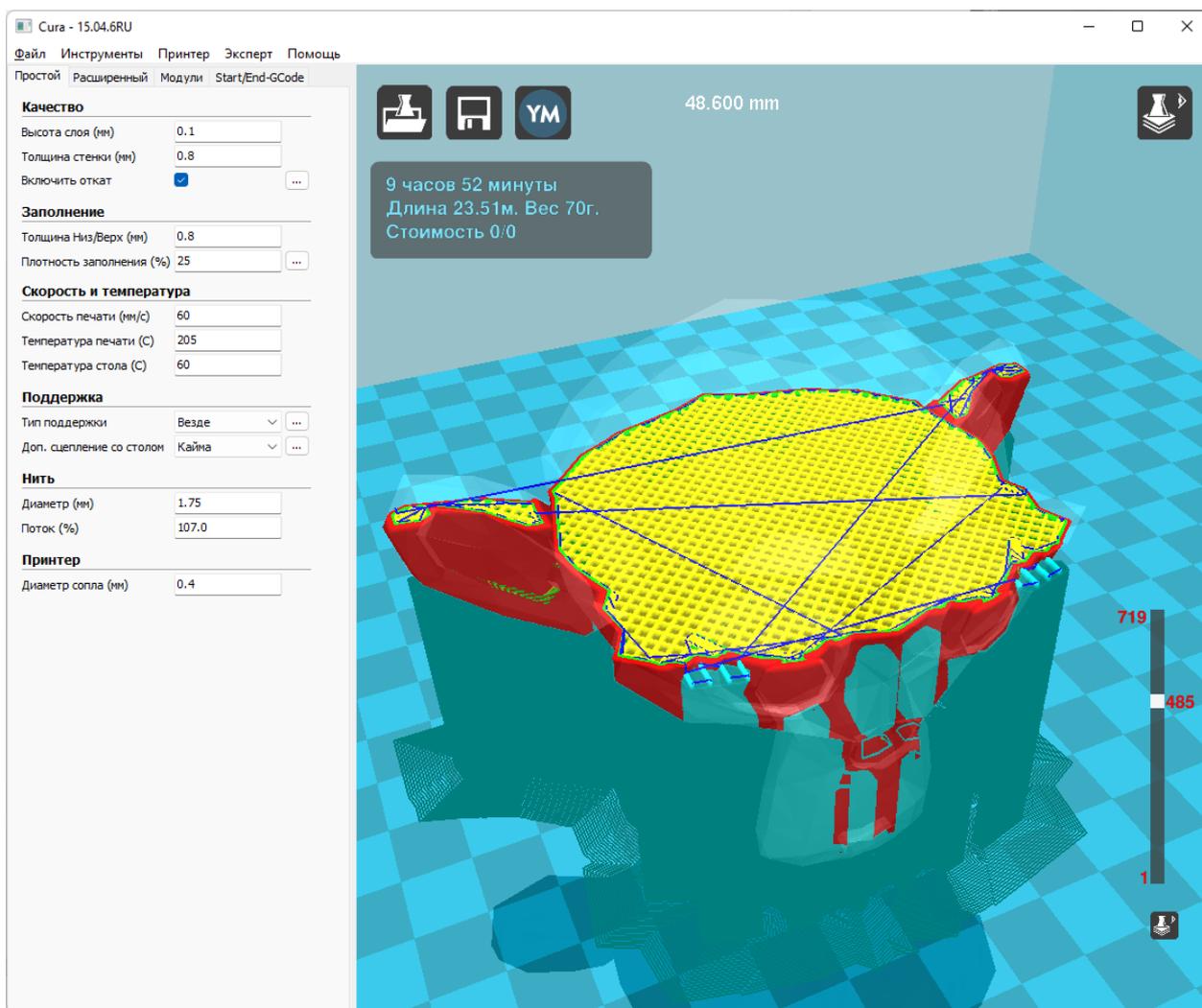


Рисунок 21 – Модель по слоям

### 2.3 Используемое техническое обеспечение

Используемым техническим обеспечением является 3D-принтер Pramaan 300 Dual Nozzle. Это принтер с двумя печатающими головами, произведенный компанией Additive Manufacturing India Private Limited. В его воз-

возможности входит как печать стандартными материалами ABS и PLA, так и более специализированными вроде PVA и Nylon. Печатающим материалом был выбран полилактид (PLA).

### 2.2.1 Характеристики используемого 3D-принтера

Характеристики используемого 3D-принтера приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики 3D-принтера

Характеристика	Описание
Модель	PRAMAAN 300 Dual Nozzle FDM Desktop 3D Printer
Область печати	250 мм * 300 мм * 400 мм
Поддерживаемый материал	PLA, ABS, HIPS, PET-G, PVA, Nylon, другое
Минимальная толщина слоя	0.1 мм
Тип сопла	Латунное
Максимальная температура сопла	260 °С
Максимальная температура стола	100 °С
Количество головок	2
Интерфейс печати	SD-карта/USB/WiFi
Пользовательский интерфейс	LCD Дисплей с прошивкой MKS tft версии 3.0.1
Питание	Входное напряжение: 220 В, 50 Гц, входной ток: 5-6 А
Мощность	450 Вт
Поддерживаемое ПО	Cura, Simplify3D

Фотографии принтера и печатающих головок представлены на рисунках 22 и 23 соответственно.



Рисунок 22 – 3D-Принтер

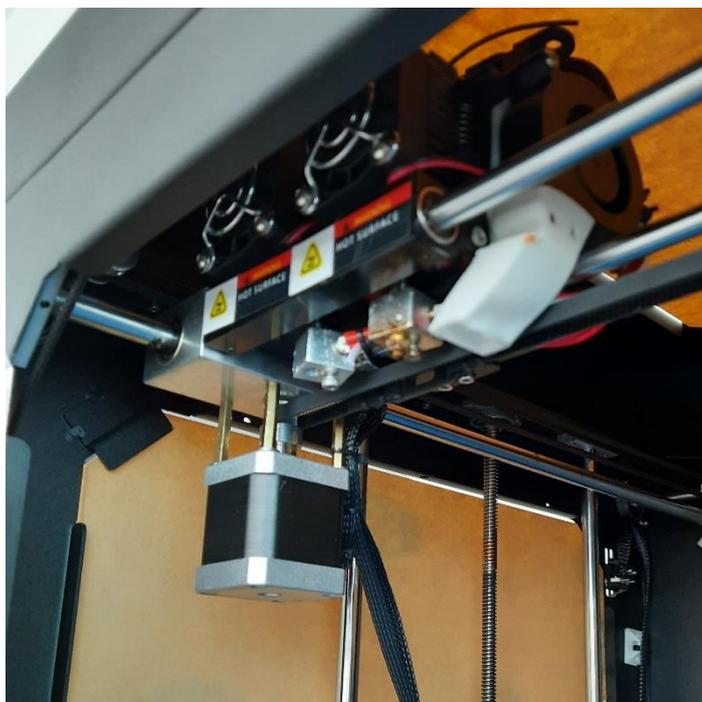


Рисунок 23 – Печатающие головы

## 2.2.2 Характеристики расходных материалов

Полилактид, больше известный как PLA, является одним из самых популярных материалов для печати. Многие принтеры используют этот материал, так как им можно печатать на относительно низких температурах, и он не требует подогрева стола. Материал отлично подходит для начинающих пользователей 3D-принтеров из-за своей легкости освоения и дешевизны печати. Немаловажными факторами выбора в пользу этого материала являются большая степень безопасности для окружающей среды и возобновляемость ресурсов, из которых производится этот пластик. PLA обладает следующими техническими характеристиками:

- Температура плавления – 173-178 °С;
- Температура размягчения – 50 °С;
- Относительное удлинение при разрыве – 3.8 %;
- Прочность на изгиб – 55.3 МПа;
- Прочность на разрыв – 57.8 МПа;
- Модуль упругости при растяжении – 3.3 ГПа;
- Модуль упругости при изгибе – 2.3 ГПа;
- Температура стеклования – 60-65 °С;
- Плотность – 1.23-1.25 г/см<sup>3</sup>.

Свойства каждого конкретного экземпляра пластика могут варьироваться в зависимости от производителя. В работе используется только одна катушка PLA пластика для печати на одной голове.

## 3 РЕАЛИЗАЦИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ КОРЕННЫХ ЖИТЕЛЕЙ ПРИАМУРЬЯ

### 3.1 Систематизация процесса разработки

Реализация трехмерных моделей пар представителей коренных народностей Приамурья представляет собой последовательный процесс выполнения четко определенных этапов. Эти этапы, в свою очередь, также включают в себя подчиненные этапы. Такая организация процесса работы обеспечивает системность подхода к разработке моделей, что положительно сказывается на скорости исполнения действий и качестве конечного продукта. Диаграммы потоков данных для процесса создания фигурки и декомпозиция этого процесса представлены на рисунках А.1 и Б.1 соответственно.

На основе собранных в процессе исследования доступных материалов в виде изображений (художественные иллюстрации, фотографии, видеоматериалы) и текстовых описаний культуры и быта были синтезированы дизайн-документы по каждому из представителей коренных народностей Приамурья. Опираясь на полученный документ, реализовывались трехмерные модели с применением выбранных программных средств. Готовые 3D-модели выводились на печать с применением выбранного технического обеспечения (3D-принтер и материал печати PLA).

#### 3.1.1 Описание процесса моделирования

Процесс моделирования так же, как и родительский процесс создания фигурки, был разбит на несколько ключевых этапов (рисунок В.1). Первым шагом в этой декомпозиции является создание 3D-модели человека, который закладывается в основу будущей фигурки. Первичная поза полученной модели (поза отдыха) сохраняется вместе с моделью в файл. Затем цифровая модель привязывается к скелету, ей задается целевая поза. 3D-модель в этой позе также сохраняется в отдельный файл. Обе полученные позы используются при создании одежды для человека.

Закончив с созданием человека и его позированием, создается одежда. Полученная одетая модель затем соединяется с предметами быта и окружения, а также проходит дополнительную обработку: устраняются ошибки модели, проводится закрытие открытых частей модели, добавляются детали, компонуются отдельные части будущей фигурки. В результате получается модель, готовая для 3D-печати.

### **3.1.2 Описание процесса вывода на 3D-печать**

Процесс вывода на 3D-печать представлен на рисунке Г.1. Получившаяся на этапе моделирования композиция для вывода на 3D-печать должна быть проверена на наличие отвесных частей. В случае наличия таковых к ним подводятся поддержки-столбики, которые обеспечивают им опору при печати на 3D-принтере.

Модель с поддержками конвертируется в команды, понятные принтеру – файл g-code. Этот файл переносится в принтер посредством SD-карты. Далее выбирается пункт меню управления 3D-принтером «Печать», выбирается нужный файл, после чего принтер приступает к исполнению команд.

На выходе получается напечатанная модель, требующая небольшой механической обработки.

## **3.2 Производственный процесс**

Описанный процесс разработки был применен для производства 3 пар коренных народностей Приамурья: нивхов, нанайцев и эвенков. Рассмотрим этот процесс подробнее на примере эвенков.

### **3.2.1 Синтез образа представителей народностей**

Для начала работы необходимо иметь исходные данные, по которым можно создавать модели. У работы с материалами по коренным народностям Приамурья есть свои особенности, в частности, в зависимости от народа визуальной информации в открытых источниках может быть мало. В случае эвенков информации достаточно, хоть и не в избытке.

Еще одной особенностью является то, что редко удается получить хорошую фотографию в полный рост. Чаще всего в полный рост встречаются художественные изображения. На фотографиях обычно представлены отдельные элементы одежды, редко – целые костюмы. Собранные по эвенкам материалы имеют как фотографии в полный рост, так и практически целые костюмы. Скорее всего, это связано с тем, что эвенки – довольно многочисленный народ относительно других народностей Приамурья.

Еще на этапе сбора материалы сравниваются и фильтруются на принадлежность к народу, чтобы составить наиболее правдоподобный образ. Среди отсеянных изображений выбираются ключевые, на основе которых будет выполняться дальнейшая работа. Так как фигурка состоит из пары людей, то необходимо отобрать ключевые изображения как для мужчины, так и для женщины.

Например, для мужчины-эвенка были отобраны изображения, представленные на рисунках 24-25.



Рисунок 24 – Основной костюм мужчины

На этих изображениях для работы представляют интерес три основные составляющие: костюм, предмет быта (копье – пальма), поза человека. Помимо работы с этими тремя компонентами, необходимо согласовывать эти образы с общей композицией будущей фигурки. Для эвенков композиция фигурки составляется на основе рисунка 26.



Рисунок 25 – Мужчина-эвенк



Рисунок 26 – Эвенки зимой

Весьма удачно наличие копы на рисунке 25 совпадает с композицией на рисунке 26, а у женщины на рисунке 26 в левой руке есть еще один предмет быта – снегоступы. Наличие таких элементов придаст будущей фигурке более внушительный вид.

Собрав изображения для мужчины и композиции фигурки, необходимо также отобрать ключевые изображения для женщины. Ключевой образ женского костюма представлен на рисунке 27.



Рисунок 27 – Костюм женщины

На текущем этапе есть практически все материалы, чтобы начать работать. Однако обоим костюмам не хватает головных уборов, что важно для зимнего сезона, а также украшения обуви мужчины являются слишком мелкими относительно всего костюма. Размер деталей обуви имеет значение по той причине, что вывод на печать слишком маленьких деталей невозможен. Таким образом, необходимо найти изображения недостающих головных уборов, а

также немного скорректировать узоры обуви мужчины, заменив их на более подходящие для печати, но при этом они также должны принадлежать эвенкийской культуре. Для создания головных уборов были выбраны два ключевых изображения, представленных на рисунках 28-29.



Рисунок 28 – Головной убор эвенка



Рисунок 29 – Головной убор спереди и сзади

Так как время года, выбранное для создания фигурки, – зима, то шапка с рисунка 28 с ее меховой каймой весьма хорошо подходит для моделируемых

представителей народа эвенков. Рисунок 29 представляет похожий головной убор, а также позволяет взглянуть на него с двух сторон.

В качестве более подходящей обуви для эвенка была выбрана обувь с рисунка 30. Она обладает более простыми формами, что очень хорошо для вывода на 3D-печать.



Рисунок 30 – Обувь эвенка

Собрав костюмы и элементы окружения эвенков, необходимо также озаботиться сбором лиц моделируемых людей. Для этого собираются различные фотографии эвенков, чтобы на их основе составить портрет цифрового эвенка. Собираемые лица вместе с уже собранными материалами помещаются в один общий дизайн-документ (рисунок 31), в котором помимо ключевых изображений представлены еще и вспомогательные.

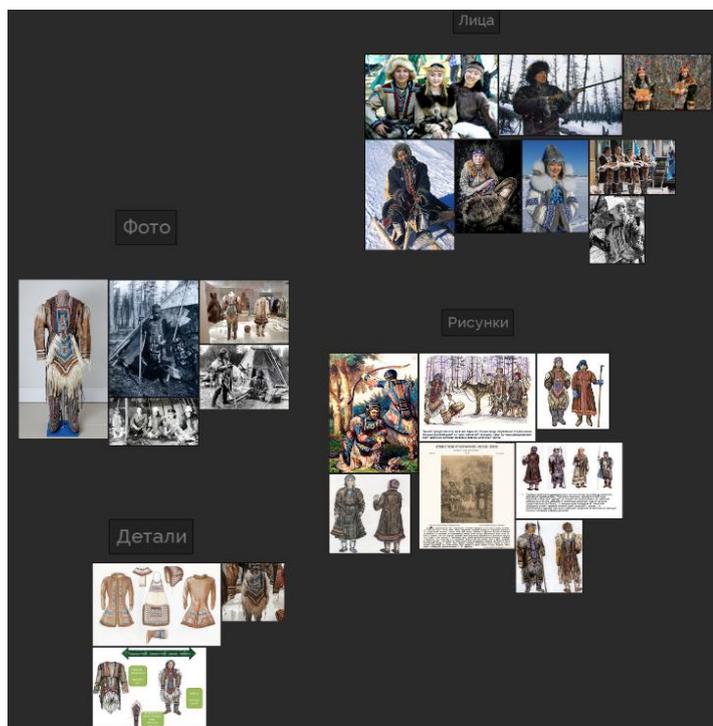


Рисунок 31 – Дизайн-документ для создания модели эвенков

### 3.2.2 Создание модели

Собрав общий документ материалов, становится возможным приступить к созданию пары эвенков. Первым создавался мужчина-эвенк. Для этого в программе MakeHuman были настроены основные параметры модели в виде пропорций и размеров, а также были указаны черты лица, в результате чего была получена модель, представленная на рисунке 32.



Рисунок 32 – Модель мужчины

Аналогичным образом была получена модель для женщины-эвенка. Она представлена на рисунке 33.



Рисунок 33 – Модель женщины

### 3.2.3 Скелетирование и позирование

Полученные на этапе моделирования людей модели экспортируются в Blender. Для скелетирования подходят стандартные позы, в которых были созданы 3D-модели, поэтому никаких дополнительных изменений не требуется. Для создания используется плагин Rigify, который позволяет добавить скелет, по которому затем будет осуществляться риггинг.

Импортировав на сцену модель и добавив скелет, кости скелета были подогнаны под модель. Используя функционал плагина, модель была привязана к скелету. В результате каждая виртуальная кость получила возможность управлять положением части модели так же, как кости реального человека управляют положением тканей, которые обволакивают кости. В итоге получился риг, представленный на рисунке 34. Риг выделен оранжевым цветом. Его основная задача – облегчить работу позирования и анимирования 3D-модели. Для этого реализуются контроллеры, двигая которые, становится возможным управлять позой человека без движения отдельных костей.

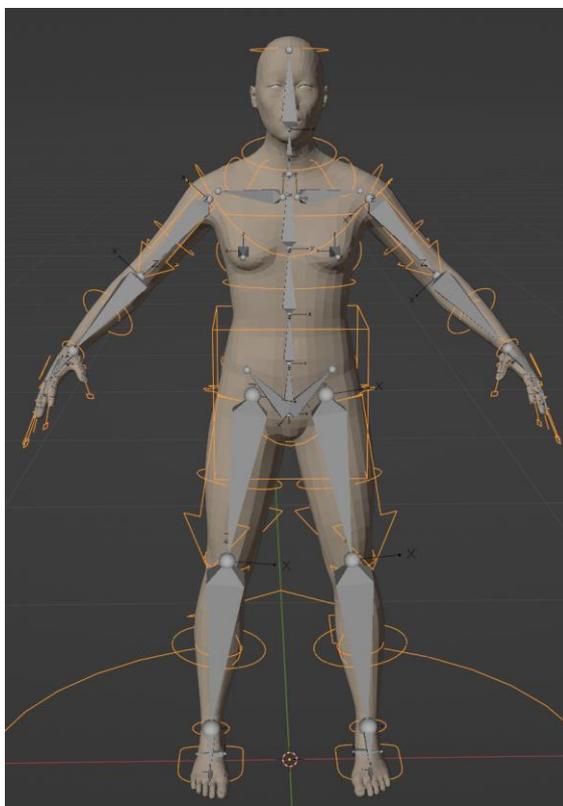


Рисунок 34 – Модель и скелет

На рисунке выделение контроллеров совпадает с ригом, хотя в риге имеются скрытые элементы, которые не являются контроллерами.

Такие же манипуляции осуществляются для женской модели эвенка. С помощью контроллеров рига модели ставятся в позу, образуя композиционную пару, представленную на рисунке 35.

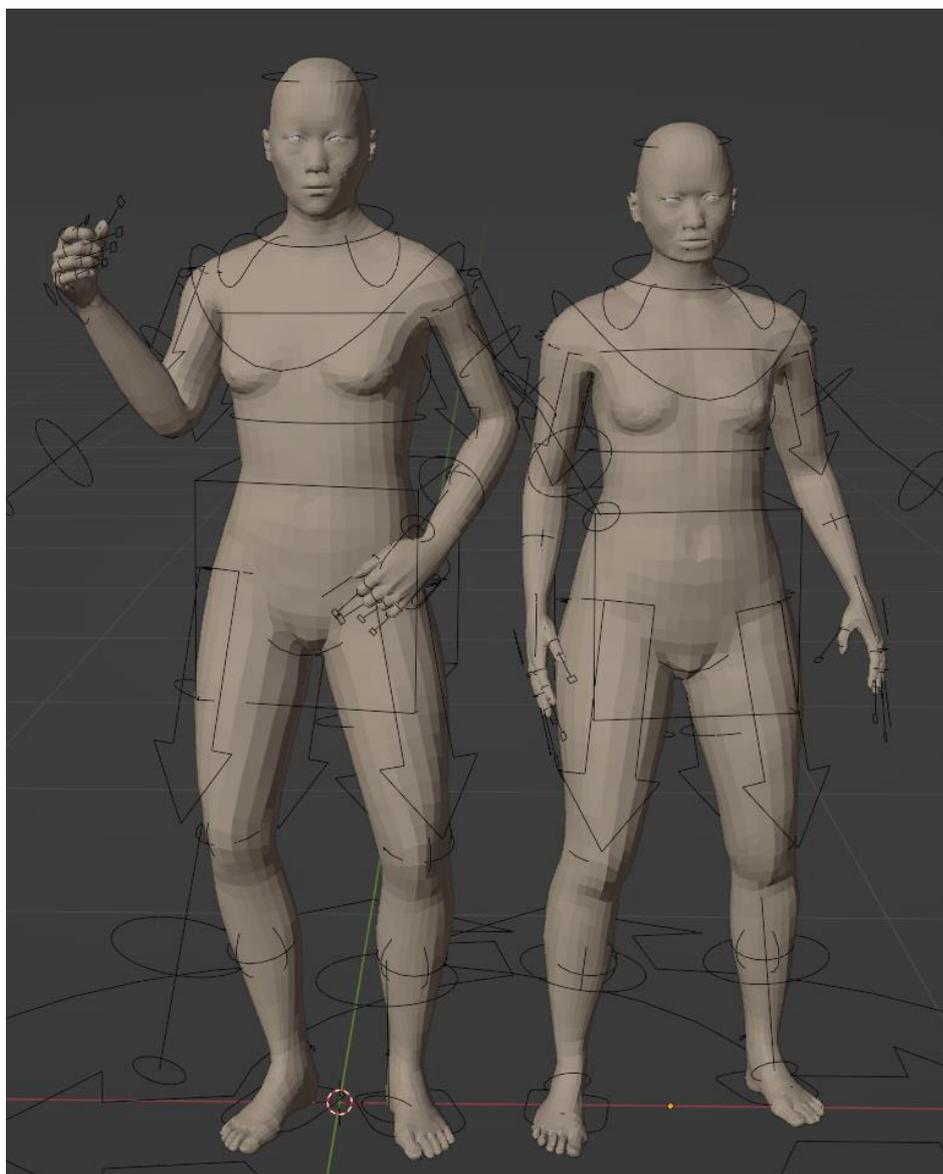


Рисунок 35 – Позированная пара

Получившиеся позы обеих моделей отталкиваются от мужской позы, которая была представлена на рисунке 25. Для соответствия мужской позе была создана женская поза с учетом того, что по задумке женщина держит снегоступ, как на рисунке 26.

### 3.2.4 Создание одежды

Полученные трехмерные позированные модели были экспортированы в Marvelous Designer. Для этого для каждой модели из пары были сохранены по две позы: начальная поза, которая была экспортирована из MakeHuman, и конечная поза, которая была составлена для позированной пары с рисунка 35.

Следуя процессу, представленному на рисунке Д.1, создание одежды происходит путем одевания трехмерной модели в начальной позе. Для этого в Marvelous Designer существуют все необходимые инструменты, основным из которых является группа инструментов создания и редактирования паттернов. В программе под паттернами подразумеваются двумерные представления одежды, которые рисуются в выделенном для них окне, которое можно увидеть на рисунке 36.

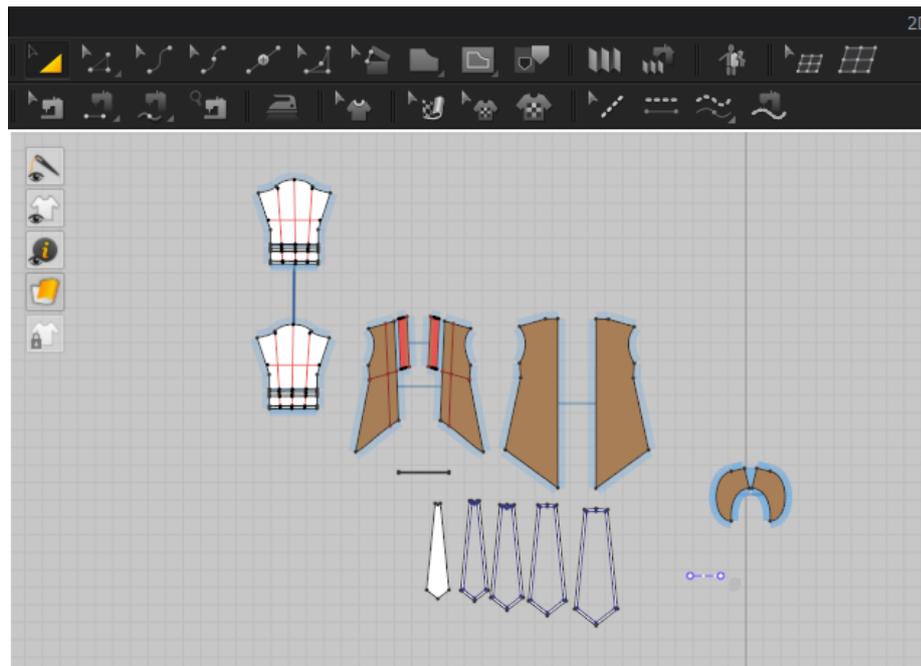


Рисунок 36 – Паттерны и панель инструментов

В данном случае на рисунке созданы паттерны, которые сшиваются между собой и образуют одежду эвенка-мужчины от шеи до пояса. Стоит отметить, что созданные паттерны специально обработаны для того, чтобы в дальнейшем с ними было удобно работать в программе ZBrush. В противном случае не было бы необходимости добавлять разрезания цельных кусков ткани,

что снизило бы общее количество паттернов в области работы с двумерными объектами.

Данные паттерны располагаются в области трехмерного представления, где они подгоняются под модель и симулируются. На рисунке 37 желтым выделены те паттерны, что были представлены на рисунке 36. Рисунок 37 представляет собой финальный результат работы в Marvelous Designer. Отметим, что эта одежда является лишь основой для финального варианта одежды эвенка, который будет создан в ZBrush.

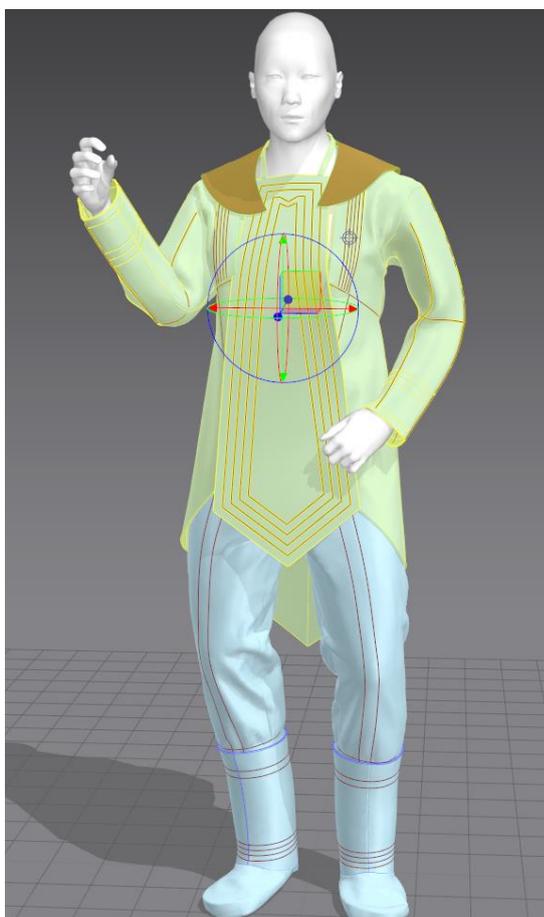


Рисунок 37 – Одета модель эвенка

Также, на рисунке модель уже поставлена в конечную позу с помощью функции морфинга одного объекта из одной позы в другую, что очень удобно, так как начальная поза является симметричной, что облегчает подгонку одежды, а конечная поза – ассиметричной, что затруднило бы пошив одежды для трехмерной модели мужчины.

Для дальнейшей работы параметры симуляции настраиваются так, чтобы обеспечить лучшую точность симуляции. Это делается тогда, когда результат удовлетворителен, так как точность симуляции напрямую влияет на производительность системы, снижая ее.

Проведя симуляцию с точными настройками, выполняется функция ретопологии, что позволяет преобразовать полигоны-треугольники в полигоны-прямоугольники. С прямоугольными полигонами удобнее работать при трехмерном моделировании, однако точность симуляции с треугольными полигонами выше, поэтому по умолчанию Marvelous Designer использует треугольные полигоны.

Финальным этапом работы в программе является составление UV-карт. Они необходимы для того, чтобы применять некоторые инструменты ZBrush без создания таких карт вручную.

Аналогичные действия были проделаны и для женской модели, в результате чего получилась одежда, представленная на рисунке 38.



Рисунок 38 – Женская одежда

### 3.2.5 Создание предметов быта и окружения

Создаваемые объекты можно разделить на три категории: предметы для мужчины, предметы для женщины и подставка для фигурки. Для мужчины было создано копье, называемое пальмой, а для женщины создавались снегоступы. Подставка для фигурки создавалась на основе выбора зимнего окружения.

Для создания указанных выше объектов, одетые модели были экспортированы в ZBrush. Используя инструменты программы в сочетании с кистями, были созданы модели, приведенные на рисунках 39-41. Модели создавались из примитивов, которые доступны в программе: цилиндры, плоскости, кубы.

Снежная подставка была создана из плоскости, на которую с помощью кистей был нанесен рельеф. Для того, чтобы рельефная поверхность напоминала снег, использовались альфа-маски кистей, которые позволили нанести детали, имитирующие снег, как по трафарету.

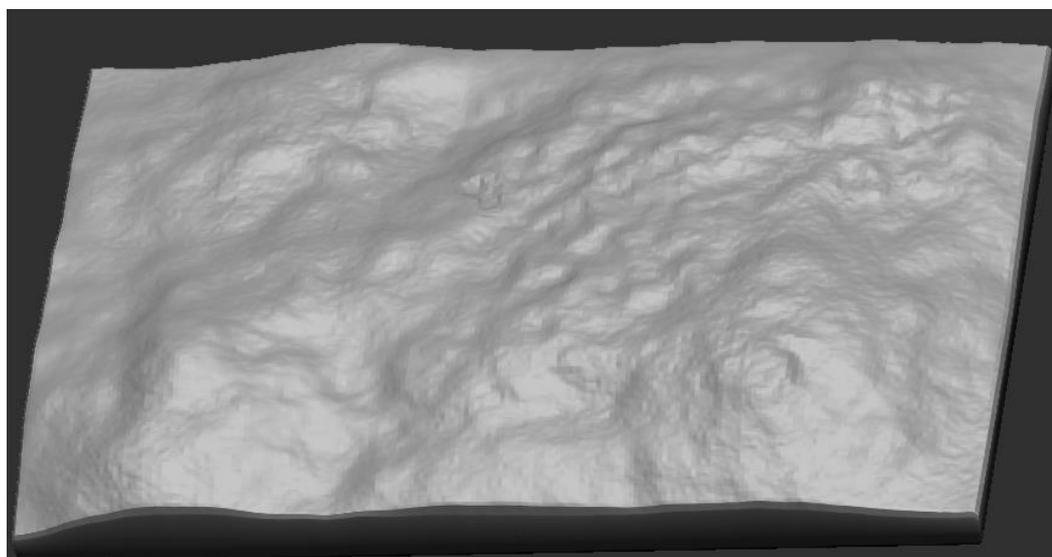


Рисунок 39 – Снежная подставка

Копье было создано на основе цилиндров, а также кисти, которая позволяет наносить на поверхность объекта элементы, имитирующие оборачивание древка копья полосками кожи. Лезвие было «выточено» с помощью кистей, имитирующих полировки, а также создающих плоские поверхности.

Для снегоступов была создана плоскость, которая с помощью инструмента ZModeler была преобразована в объект, напоминающий по форме снегоступ. Далее, с помощью кистей были нанесены штрихи, напоминающие меховые пряди. Для получения пары снегоступов созданный снегоступ был продублирован, а затем соединен с дубликатом.

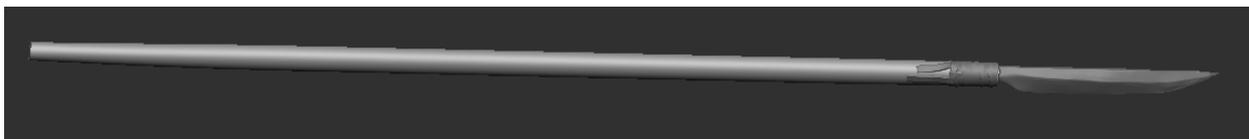


Рисунок 40 – Копье

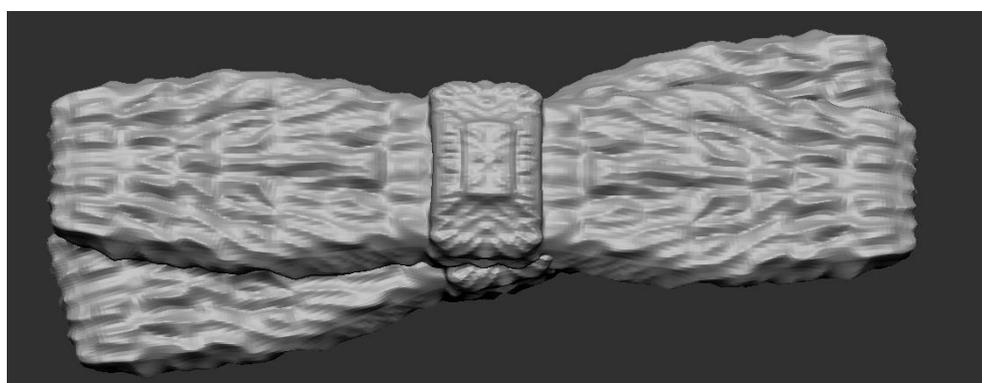


Рисунок 41 – Снегоступы

Полученные модели далее подвергаются дополнительной обработке, когда компонуются с моделями пары эвенков.

### **3.2.6 Обработка модели и подготовка под 3D-печать**

На этом этапе модели мужчины и женщины дорабатываются до финального состояния, пригодного к печати. Процесс этого этапа описан на рисунке Е.1. Из всех этапов этот можно назвать самым трудоемким, так как требуется детализировать костюмы пары людей, а также создать недостающие элементы одежды. В случае эвенков головные уборы создавались в ZBrush с помощью извлечения полигонов с голов моделей, чтобы получить формы, повторяющие головы, которые затем с помощью кистей приобретали законченный вид.

Помимо головных уборов, отдельно создавались детали передника мужчины и мех на костюмах. Детали передника представляют собой простые ци-

линдры, расположенные на поверхности передника, а мех создавался на основе примитивов, которые с помощью скульптинга становились похожими на пряди меха.

На обувь также с помощью скульптинга был нанесен узор, чтобы она соответствовала собранным изображениям в общих чертах. Так как при выводе на печать достижима лишь определенная степень точности, не имеет смысла наносить мельчайшие узоры, что уже было упомянуто при обосновании решения по смене обуви для мужчины.

Выполнив все описанные работы, все детали мужской модели были объединены в единую модель, которая затем прошла через процесс дополнительной доработки для устранения неточностей и доведения до вида, который наиболее пригоден для печати (рисунок 42).



Рисунок 42 – Мужчина

Аналогичные работы были проделаны для женского представителя эвенков. Результат работы представлен на рисунке 43.



Рисунок 43 – Женщина

После создания всех компонентов фигурки, все части были собраны на единой сцене. Далее, с помощью дубликата ботинка мужчины были выдавлены следы на снегу, чтобы добавить фигурке деталей. С помощью кистей был придавлен снег вокруг ног эвенков, снегоступов и копыя. В процессе работы подставка была немного подкорректирована.

Финальным этапом моделирования стало слияние всех моделей на сцене булевыми операциями, что позволило получить цельный объект, пригодный к печати. Для ускорения процесса печати количество полигонов модели было снижено с помощью Decimation Master.

В результате получилась трехмерная фигурка, представленная на рисунке 44.



Рисунок 44 – Конечная модель

Таким же образом были получены фигурки пар представителей нивхов и нанайцев, которые представлены на рисунках 45-46. Из особенностей работы над этими двумя фигурками можно выделить работу над рыбой, сетью, подставками, а также процесс детализации одежды нивхов.

Для создания чешуи рыбы была вручную создана кисть, которая была добавлена в библиотеку программы, что позволило нанести ряды чешуи. Сеть для нивха создавалась с помощью Marvelous Designer и Blender. В Blender были созданы палки для сети, а в Marvelous Designer была создана ткань, которая с помощью анимации палок из Blender была накручена на палки. Затем результат был импортирован в Blender, где на ткань был применен модификатор, который превратил ее в сетчатый объект – такой, каким он представлен на рисунке 45.



Рисунок 45 – Нивхи

Детализация тканей для нивхов осуществлялась не в ZBrush, а в Marvelous Designer, так как это первая фигурка в работе. Данный процесс, хоть и дает весьма неплохие результаты, является очень трудозатратным. Нанесение еще большего количества деталей, чем присутствует на рисунке, будет затруднено не только необходимостью выделять этому процессу много времени, но и производительностью вычислительной машины. Чем больше деталей добавляется в Marvelous Designer, тем сложнее становится симуляция. Этот факт стал одной из причин переработки процесса разработки фигурок, который представлен в приложениях А-Е в качестве финального варианта.

Подставка нивхов делалась с помощью инструмента Blender под названием узлы геометрии. С их помощью по поверхности была раскидана галька на песке. Для нанайцев подставка создавалась с помощью альфа-карт на кистях для создания веток, а также с помощью дублирования заготовки камня, чтобы расположить дубликаты разного размера на поверхности подставки.



Рисунок 46 – Нанайцы

Таким образом, были разработаны три пары представителей коренных народностей Приамурья, практически готовые для вывода на 3D-печать на принтере.

### 3.2.7 Физическая 3D-печать

Готовую к печати модель проходит проверку на ошибки, в случае выявления которых она повторно проходит процесс их устранения. Далее ищутся отвесные части, например, правая рука мужчины на рисунке 44. Так как печать фигурки планируется во весь рост, что займет фигурка на 15 сантиметрах, то копьё должно быть напечатано отдельно: либо полностью, либо по частям. Также, печать копья отдельно улучшит его качество. В результате имеется модель с поддержками, представленная на рисунке 47. Поддержки выделены оранжевой подсветкой.

В левой части рисунка можно заметить верхний фрагмент копья, который был отрезан в ZBrush. Над этим фрагментом расположено кольцо. Это кольцо помогает при печати, обеспечивая ее стабильность, давая печатаемым слоям остыть и затвердеть.



Рисунок 47 – Фигурка с поддержками

Полученная модель с поддержками экспортируется в программу Cura. Для большей надежности верхняя часть копья и фигурка печатаются отдельно. На рисунке 48 представлена фигурка, импортированная в Cura. Салатовым цветом на нем обозначены поддержки, сгенерированные программой для печати свисающих частей. Заметим, что вручную были выставлены только подставки под свисающие части, а также под копье для его стабильности. Под самих трехмерных эвенков поддержки не были подведены по той причине, что сгенерированные программой поддержки являются удовлетворительными. Где эти поддержки не являются удовлетворительными, так это на правом локте мужчины эвенка. Этим поддерживается может быть недостаточно для обеспечения стабильности рукава в пространстве, из-за чего рукав может быть распечатан некорректно. Желтым на рисунке обозначено заполнение фигурки, которое не является сплошным, так как это было бы слишком долго, а также очень затратно. Вместо этого указывается процент заполнения, который определяет, сколько материала будет израсходовано на внутреннее заполнение печатаемой фигурки.



Рисунок 48 – Фигурка в слайсере

Аналогичный результат имеется для верхней части копья (рисунок 49).  
Рисуемые вокруг поддержки дают время модели на затвердевание.

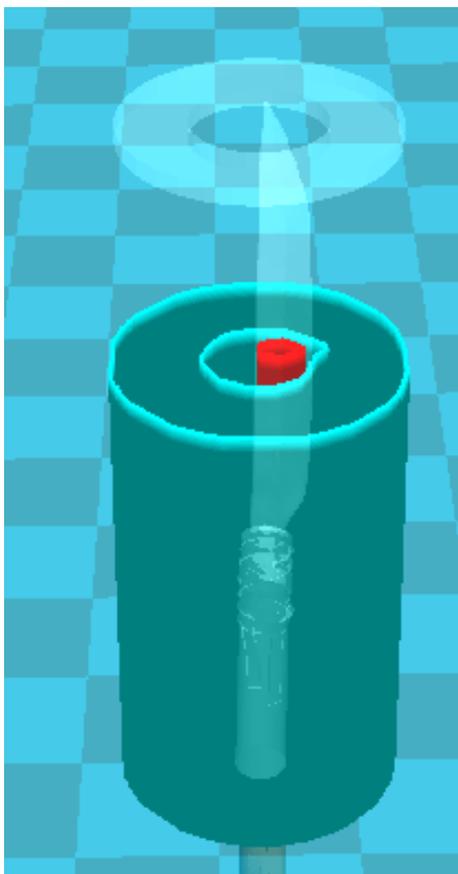


Рисунок 49 – Часть копья

Полученные модели экспортируются из Cura в формате файлов g-code, которые через SD-карту переносятся на 3D-принтер. Далее, этот файл открывается в интерфейсе принтера и запускается на печать. Принтер проводит прогрев подложки и сопла для начала печати, приступая затем к самой печати модели. Печать одной фигурки в среднем занимает сутки (24 часа).

### **3.2.8 Результаты**

В результате реализации поставленной цели были получены трехмерные модели нивхов, нанайцев и эвенков, которые были выведены на печать.

Полученные распечатанные модели были приведены в соответствие с образами, которые были синтезированы для разработки каждой фигурки, через художественную покраску.

Реализованные модели и фигурки представлены на рисунках 51-53 для каждой из вышеобозначенных народностей.



Рисунок 51 – Модели и фигурка нивхов



Рисунок 52 – Модели и фигурка нанайцев



Рисунок 53 – Модели и фигурка эвенков

## 4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 4.1 Безопасность

#### 4.1.1 Анализ потенциальных опасностей

В работу включены такие виды деятельности как: компьютерное моделирование на ПЭВМ, печать на 3D-принтере с применением в качестве печатного материала пластика PLA, механическая обработка напечатанной модели с использованием различных инструментов. Наличие такого списка разнообразных видов деятельности предполагает также разнообразный список опасностей.

Прежде всего, необходимо рассмотреть опасные и вредные факторы, воздействующие на пользователя ПЭВМ. Таковыми являются: несоответствие норме эмиссионных параметров от «мыши», клавиатуры, дисплея, системного блока; несоответствие норме визуальных параметров дисплеев при сертификации и испытаниях; нерациональная организация рабочего места; недостаточное освещение; высокие уровни шума; повышенные значения напряжения электрического и магнитного полей токов промышленной частоты 50 Гц (отсутствие заземления и т. п.). Данные факторы способны привести к следующим последствиям: проблемы со здоровьем (туннельный синдром кистевых суставов, нарушение осанки, ожирение, проблемы со зрением, гиподинамия, сердечно-сосудистые заболевания и др.), нарушения сна, повышенная утомляемость, депрессии и стрессы, возможно появление различных аллергических реакций.

Следующая группа опасных факторов относится к работе 3D-принтера:

- повышенная загазованность и запыленность воздушной среды: при печати пластиком в воздух могут выбрасываться ультрадисперсные частицы (наночастицы), которые могут проникать в легкие и эпидермис, вызывая непредсказуемые реакции;

- риск получения термических ожогов: работа с 3D-принтером сопряжена с высокими температурами (выше допустимой температуры в 45 °С). Температура поверхности печатающего стола во время печати может достигать температуры 100 °С, а экструдера (печатающей головы) — 250 °С. Этого достаточно, чтобы получить ожоги разной степени тяжести при соприкосновении как с материалом печати, так и с элементами принтера: столом и соплом экструдера;

- риск получить травмы от подвижных механизмов: 3D-принтеры имеют различные движущиеся части. Это двигатели, резьбовые стержни, шкивы, каретка и вентиляторы. Эти элементы могут способны нанести вред всему, что в них попадет. Скорость перемещения печатающей головки может достигать 150 мм/с.

- риск получить электротравмы: как и любой прибор, работающий от электрической сети, 3D-принтер способен причинить человеку электротравму. Для минимизации риска получения электротравмы необходимо правильно эксплуатировать устройство печати. Даже в случае нарушения заземления напряжение на открытых элементах принтера не должно превышать 12-24 В, что считается безопасным и не должно причинить серьезного вреда. Однако, при разборе корпуса устройства для ремонта, замены деталей или очистки элементов от пластика риск удара током напряжением 220 В значительно возрастает;

- риск возникновения пожара: высокие температуры нагревающих поверхностей могут привести к возгоранию материалов (горючих жидкостей и бумажных изделий, имеющих невысокую температуру воспламенения, и т.п.), находящихся в непосредственной близости от принтера, что и может послужить причиной пожара.

Завершающим этапом разработки трехмерной фигурки является механическая обработка напечатанной модели. При механической обработке посред-

ством абразивных инструментов есть риск получения травм различного характера. При работе может понадобиться использование клеев, созданных на основе токсичных веществ (ацетона), поэтому необходимо руководствоваться СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» при определении допустимых концентраций подобных веществ. При применении клея на основе токсичных веществ к модели следует соблюдать все предосторожности, рекомендуемые при работе с такими веществами, чтобы не пострадать от его воздействия.

#### **4.1.2 Мероприятия по обеспечению безопасности**

Системный блок, клавиатура, монитор, мышь и другие возможные периферийные устройства должны располагаться таким образом, чтобы пользователь ПЭВМ был способен поворачиваться в пространстве, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. При фиксации своего положения пользователю должно быть удобно фронтальное наблюдение экрана монитора. Внешняя окраска обозначенных периферийных устройств и блоков ПЭВМ обязана быть спокойной, рассеивающей свет и в целом не раздражающей. Поверхность используемых устройств должна быть матовой, с коэффициентом отражения 0,4 – 0,6, а также не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. Конструкция используемого монитора обязана предусматривать регулирование контрастности и яркости. Подробные указания по эргономике могут быть найдены в таких документах, как ГОСТ Р ИСО 1503-2014 «Эргономика. Требования к пространственной ориентации и направлениям движения органов управления», а также ГОСТ Р 50948-2001 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности».

Помещения, в которых размещаются ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии со всеми техническими

требованиями по эксплуатации. Рабочие места с ПЭВМ должны быть размещены таким образом, чтобы расстояние от экрана одного монитора до задней стороны другого составляло не менее 2 м, а расстояние между боковыми поверхностями мониторов составляло не менее 1,2 м.

Свет из любого окна не должен падать прямо на экран или на лицо пользователя. Крайне предпочтительно, чтобы источники освещения располагались слева от пользователя. Для регулирования уровня естественного освещения окна должны комплектоваться таким средством регулирования, как жалюзи.

В зависимости от особенностей работы, выполняемой пользователем ПЭВМ, искусственное освещение может быть общим равномерным или комбинированным – общее верхнее освещение должно дополняться местными осветительными элементами. Освещение дополнительными местными светильниками используется, если пользователь, помимо компьютера, работает с бумажными носителями информации. Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. Экран монитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии около 600 – 700 мм, но не менее чем 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Рабочая мебель, предназначенная для пользователей компьютерными устройствами, должна отвечать требованиям:

- высота рабочей поверхности стола должна быть способна к регулированию в пределах 680 – 800 мм; при отсутствии подобной возможности высота рабочей поверхности должна быть равна 725 мм;

- рабочий стол должен иметь пространство для ног пользователя высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм;

- рабочий стул (кресло) должно иметь подъемно-поворотные механизмы, быть регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также регулироваться по расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка любого параметра должна быть независимой от другого параметра, легко осуществляемой пользователем, а также иметь надежную фиксацию положения;

- рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног пользователя, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и регулировку по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°; поверхность подставки должна быть рифленой, иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм;

- клавиатуру нужно располагать на поверхности рабочего стола на расстоянии 100 – 300 мм от края поверхности, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от столешницы.

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, должна проводиться ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ПЭВМ.

В соответствии с нормативами, площадь на одно рабочее место пользователя ПЭВМ с монитором на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>, с монитором на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) – не менее 4,5 м<sup>2</sup>. При эксплуатации ПЭВМ с монитором на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств – принтер, сканер и др.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4-х часов в день допускается минимальная площадь 4,5 м<sup>2</sup> на одно рабочее место на каждого пользователя.

В связи с тем, что 3D-принтеры находятся под управлением ПЭВМ, то все обозначенные требования перекладываются на взаимодействие с 3D-принтером. Однако, помимо соблюдения всех вышеобозначенных требований необходимо выполнение ряда дополнительных рекомендаций к работе с печатающим устройством.

Для предотвращения повышенной запыленности и загазованности воздушной среды настоятельно рекомендуется, чтобы помещение для проведения работ на 3D-принтере было оборудовано системой механической вентиляции. При ее отсутствии крайне рекомендуется использовать респиратор с угольным фильтром, периодически заменяя отработавшие фильтры.

В целях снижения риска поражения электрическим током 3D-принтер следует использовать в сетях переменного тока 220 В; розетки должны быть заземлены (класс защиты прибора 01 – евровилка); нельзя использовать принтеры с поврежденным или не заводским кабелем подачи питания. При включенном питании ни в коем случае нельзя извлекать кабель из принтера или розетки. Если таковое действие окажется необходимым, то следует предварительно отключить подачу питания переключателем на боковой панели устройства. Запрещается извлекать любые датчики и провода принтера неквалифицированному для подобной деятельности работнику. Если требуется использовать удлинитель, то необходимо убедиться, что его розетка двухполюсная, рассчитанная на ток до 10 А, а также оснащена заземляющим проводом. Подключать ПЭВМ и принтеры одновременно к сети переменного тока можно только через качественный сетевой фильтр с функцией стабилизации напряжения, а еще лучше – через блок бесперебойного питания, так как при скачках напряжения процесс 3D-печати может быть прерван без возможности возобновления. Не исключен при этом и сбой в работе всех управляющих программ, что не является допустимым.

Перед тем, как приступить к печати, необходимо убедиться в исправности 3D-принтера и концевых датчиков. Тогда, при возникновении сбоя принтер сам остановит процесс печати. Подключать ПЭВМ к принтеру рекомендуется только качественным USB-кабелем с ферритовым фильтром.

В помещении, где предполагается размещение принтера, не должно быть высоких уровней напряженности электрического и магнитного полей, так как это может привести к сбоям в работе систем управления и датчиков контроля из-за возникающих помех. Помимо технического назначения, это также снижает риски для здоровья сотрудников в помещении.

Для предотвращения ожогов не следует прикасаться к принтеру и его частям во время процесса печати, а также при нагретом экструдере и печатающей платформе в простое во избежание ожогов и повреждений кожи. Запрещается также нагревать экструдер свыше 300 °С, а платформу – выше 150 °С. Проверка нагрева принтера осуществляется только на основе показаний термодатчика самого устройства, которые отражаются на дисплее или в программе печати. Перед извлечением напечатанной трехмерной модели необходимо дождаться остывания стола. При частой работе с принтером рекомендуется использовать защитные перчатки во избежание различных травм.

Воспрещается контакт с движущимися частями 3D-принтера во время процесса печати. Запрещается самостоятельно пытаться изменить положение печатаемой модели или каретки принтера в процессе его работы. При эксплуатации 3D-принтера в открытом режиме (открыв все возможные дверцы, если таковые имеются) необходимо работать в плотно прилегающей одежде, а также следить за растительностью на лице и голове, чтобы минимизировать риск попадания ткани и волос в подвижные детали принтера. Также стоит заранее озаботиться размещением расходного материала на предназначенное для него место, чтобы не приближаться лишним раз к устройству. Если же принтер тем или иным образом зацепит одежду или волосы, требуется немед-

ленно выключить принтер и вручную переместить каретку до полного освобождения зажатых волос, одежды или частей тела. На принтере во включенном режиме запрещено перемещать стол или экструдер; прикасаться к шестеренкам и ремням. Необходимо отслеживать состояние движущихся частей принтера, чтобы в них не находилось посторонних предметов или грязи.

Принтер должен быть водружен на ровную и устойчивую поверхность, поодаль от легковоспламеняющихся веществ, емкостей с водой, увлажнителей воздуха и пр.

Большинство 3D-принтеров, как правило, поставляются с завода с заранее откалиброванной платформой. Однако в инструкциях, прилагаемых к этим устройствам, настоятельно рекомендуется перед началом печати проверить калибровку самостоятельно. Калибровку для принтеров с пластиком рекомендуется осуществлять с холодным соплом, так как из нагретого сопла может вытекать пластик, что может помешать процессу, а стол должен быть горячим, т.е. нагрет до температуры, которая близка к 100 °С. Такие условия позволят провести процесс калибровки наиболее корректно, так как полученные условия являются приближенными к реальным условиям работы устройства. Затем необходимо провести проверку состояния загрузки пластика. После нагрева экструдера требуется вставить пластиковую нить в отверстие для подачи материала печати. При необходимости можно использовать специальные регулировочные винты. При подобных операциях проверки рабочего состояния принтера и проверки качества печати требуется быть особенно внимательным, так как требуется помнить о том, что при непосредственном взаимодействии с принтером риски получения травм и ожогов возрастают.

#### **4.2 Экологичность**

Влияние созданного процесса разработки фигурок на основе трехмерных моделей на состояние окружающей среды значительно в двух аспектах: первый связан с производством, эксплуатацией и утилизацией эксплуатируемого

оборудования (компьютерной вычислительной техники); второй – с производством PLA-пластика и утилизацией отходов от изготовления моделей, не удовлетворяющих требованиям заданного качества: бракованных изделий, а также стружки, которая образуется в процессе механической обработки полученного изделия.

Для производства одного ПЭВМ (системный блок, монитор, принтер) с общим весом 24 кг требуется на технологические расходы 240 кг ископаемого невозобновляемого топлива для необходимых энергоносителей, 22 кг химических веществ и 1500 кг воды.

После окончания срока эксплуатации компьютерной техники, образуется лом, одна тонна которого содержит 480 кг черных металлов, 200 кг меди, 32 кг алюминия, 32 кг серебра, 1 кг золота, остальное – 33 элемента таблицы Менделеева Д.И. По данным Microelectronic and Computer Technology Corporation при изготовлении компьютерной техники используют бериллий, алюминий, титан, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, галлий, германий, мышьяк, селен, ниобий, рутений, родий, палладий, серебро, кадмий, индий, олово, барий, европий, тантал, платина, золото, ртуть, свинец, висмут, актиний.

Энергообеспечение стремительного роста компьютеризации мирового сообщества требует использования топлива для получения энергии, что приводит к следующим негативным явлениям: постоянно расходуются запасы невозобновляемых источников энергии или тех источников, которые возобновляются достаточно медленно, чтобы признать их невозобновляемыми на фоне темпов их потребления; получение энергии сопровождается ростом количества углекислого газа (CO<sub>2</sub>); образуется огромное количество загрязняющих веществ.

Для замедления разрушительных для экологии процессов компьютеризации необходимо использовать все возможные способы. В частности, стоит

рассмотреть возможности создания «экологически чистых» вычислительных устройств.

Разработка и производство «экологически чистых» компьютеров могут быть обеспечены развитием нескольких направлений:

- разработка новых конструкторских решений и технологий в сфере программного обеспечения

- снижение эмиссионных факторов (электромагнитные поля, рентгеновские и ионизирующие излучения);

- сокращение номенклатуры элементов таблицы Д.И. Менделеева, используемых в процессе изготовления компьютерной техники;

- улучшения в сфере переработки отходов, что должно упростить переработку компьютерного лома, корректно утилизируя различные вредные вещества: бромосодержащие вещества и хлористо-фтористые соединения (кадмий, свинец, ртуть и т.д);

- разработка комбинаций различных материалов, которые позволят создавать дешевые электронные устройства памяти, которые совместят в себе органические материалы, электропроводящий полимерный материал и неорганические компоненты.

Согласно стандарту (EPA Energy Star VESA DPMS), монитор должен поддерживать три энергосберегающих режима – ожидание (Standby), приостановку (Suspend), и «сон» (off). Такие мониторы при простое вычислительного устройства переводятся в соответствующий режим с энергопотреблением, которое значительно ниже штатного при работе.

По оценке Агентства по защите окружающей среды США только соблюдение сертификации энергосбережения изделий программы Energy Star для офисного электрооборудования, купленного в мире до 2010 г. предотвращает ежегодное загрязнение, равное загрязнению 6,5 млн. автомобилей.

Наличие в составе материалов электронных вычислительных устройств фтористо-хлористых соединений углеводорода, бромосодержащих средств защиты от возгорания, а также наличие пластмасс отрицательно сказываются на состоянии экологии. Из пластмасс только 20% может быть переработано, остальное требует захоронения, что не является оптимальным сценарием работы с подобными веществами.

В процессе разборки ПЭВМ образуется медьсодержащий лом (в частности, используемые в устройствах провода), алюминий и его сплавы, оловянно-свинцовые припой. Металлический лом может быть переработан и переиспользован.

Стекла люминесцентных экранов электронно-лучевых трубок могут использоваться в качестве сырья для производства новых трубок и керамики.

В процессе разборки компьютерной техники пластмассы сортируют по видам термопласт (полистирол, поливинилхлорид, полиэтилен) и направляют на следующие виды переработок:

- прямая переработка отходов пластмасс ПЭВМ во вторичное сырье, материалы, изделия;
- термическое разложение;
- термическое обезвреживание;
- разработка биоразрушаемых пластмасс.

Важнейшей характеристикой отходов пластмасс является их энергетическая ценность. По химическому составу и теплоте сгорания пластмассы подобны основным ископаемым топливным элементам: природному газу, нефти, углям. Но перевод пластика в топливо не всегда возможен в связи с присутствием в них примесей, приводящих к образованию токсичных соединений при их сжигании в топливных системах.

Одной из перспективных технологий переработки отходов пластмасс является их использование в металлургическом производстве в качестве источника энергии и восстановителей.

Пластик PLA, являясь одним из самых распространенных пластиков в сфере печати, является частично биоразлагаемым, что делает его одним из лучших выборов, когда дело касается заботы об окружающей среде. При работе с ним является возможным использовать его в печати повторно, если имеется возможность перевести полученное изделие обратно в пластик путем различных процедур, что может быть недоступно обычному человеку.

Так как пластик считается частично биоразлагаемым, к нему считается применимым компостирование. Данный процесс может быть применен и в домашних условиях, однако он может занять значительное время (до шести месяцев). Специализированные центры способны работать с большими объемами пластика, проводя процедуру компостирования в пределах от одного до трех месяцев. Работа специализированных центров переработки является значительно более надежным вариантом, так как минимизируются риски недобросовестного или невнимательного проведения компостирования пластика PLA.

Еще одним вариантом является переработка отработанного PLA обратно в материал для печати. На рынке существуют компании и решения, которые обеспечивают реализацию этого процесса. Например, компания Filabot. Она специализируется на предоставлении решений, которые позволяют работать с переработкой пластика, делая упор на экологичности процессов. Так, используя их решения, можно перевести распечатанную фигурку на основе PLA-пластика обратно в пруток пластика, из которого можно распечатать другую деталь или модель. Однако стоит учитывать, что произведенный таким способом пластик не будет обладать изначальными свойствами, поэтому необходимо внимательно подходить к этому процессу, контролируя процесс печати из полученного через переработку пластика.

Более полные сведения об утилизации пластика содержатся в ГОСТ Р 54533-2011 (ИСО 15270:2008) «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководящие принципы и методы утилизации полимерных отходов».

### **4.3 Чрезвычайные ситуации**

Одна из наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе создания фигурки по трехмерной модели – пожар. Для предотвращения опасности возникновения пожара необходимо следить за исправностью технического оборудования и немедленно устранять возникающие дефекты, которые способны привести к возгоранию; после окончания работы должна проводиться обязательная уборка всех рабочих мест и помещений, отключаться электропитание оборудования, за исключением дежурного освещения; должно контролироваться состояние средств пожаротушения, связи, сигнализации, обеспечиваться их доступность использования при возникновении чрезвычайной ситуации.

При возникновении возгорания необходимо сообщить о чрезвычайной ситуации по телефону: 01; 112, обесточить все электрическое оборудование, обеспечить незамедлительную эвакуацию людей, принять меры по ликвидации возгорания.

Для тушения пожара на начальной стадии применяются огнетушители. Так как в помещениях с ПЭВМ наиболее вероятные классы пожаров – «А» и «Е» (т.е. могут гореть в основном твердые вещества, горение которых сопровождается тлением – класс А; или возможны пожары, вызванные возгоранием электроустановок – класс Е), то использовать нужно порошковый и углекислотный огнетушители. Огнетушитель углекислотный ОУ-5 предназначен для тушения любых материалов, предметов и веществ, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1 кВ, применяется для тушения ПЭВМ и оргтехники. При пожаре поднести огнетушитель как можно ближе к огню, направить раструб в очаг пожара, сорвать пломбу (выдернуть чеку), открыть вентиль, нажать на пусковой рычаг, направить струю выходящего газа на огонь. Во время работы раструб нельзя держать рукой, т. к. он имеет очень низкую температуру. Огнетушитель порошковый ОП-5 предназначен для ту-

шения твердых, жидких, газообразных веществ и электроустановок, находящихся под напряжением до 1 кВ, применяется для тушения ПЭВМ и оргтехники. При пожаре поднести огнетушитель к очагу загорания, выдернуть чеку, нажать на рычаг, направить шланг с распылителем на огонь.

Расстояние от возможного очага возгорания до места размещения огнетушителя не должно превышать 20 м, если ПЭВМ установлены в общественных зданиях и сооружениях.

Для исключения паники и быстрой и безопасной эвакуации людей (при возможном задымлении помещений и коридоров), у дверных проемов, выключателей, рубильников, по пути возможной эвакуации для быстрого обнаружения шкафов с первичными средствами пожаротушения и т.п. следует размещать фотолюминесцентные эвакуационные знаки. Комплекс помещений вычислительных центров должен иметь не менее двух самостоятельных эвакуационных выходов.

Для автоматического обнаружения пожаров могут быть использованы любые извещатели. Основные требования к ним состоят в том, чтобы они реагировали на определенный параметр среды. Ручные извещатели предназначены для передачи информации о пожаре с помощью человека и должны размещаться на высоте 1,5 м от уровня пола. Автоматические пожарные извещатели о пожаре, за исключением световых, устанавливаются в помещении на потолке.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение анализа предметной области дало общее представление о текущем состоянии направлений компьютерного моделирования. Это знание было успешно применено в выборе путей достижения поставленной цели.

Синтез внешнего вида представителей коренных народностей Приамурья стал основой проведения работ по моделированию: от создания моделей трехмерных людей до финальных версий фигурок. Собранные материалы помогли не только начать процесс работы над моделями, но и на протяжении всей работы использовались для проверки соответствия выполняемой работы и исходных образов.

Трехмерное моделирование обеспечило получение фигурок заданного качества, которые впоследствии стали объектами 3D-печати. Полученные после печати фигурки позволяют говорить о том, что при необходимости их можно тиражировать как сувенирную продукцию, что может быть использовано в различных целях, например, для повышения популярности культур многих народов.

Процесс создания фигурки от синтеза внешнего вида представителей коренных народностей Приамурья до вывода на печать был систематизирован и отработан на практике. Благодаря этому процесс решения задач синтеза образов, разработки трехмерных моделей и вывода на 3D-печать имел последовательный и определенный характер. Разработанный рабочий процесс можно применять для производства фигурок любых народов: как Приамурья, так и других.

В итоге все поставленные в выпускной работе задачи были решены, что, в свою очередь, обеспечило достижение обозначенной цели.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 3D-печать. Технологии 3D-печати. Применение [Электронный ресурс] //3D-today. – Режим доступа: [https://3dtoday.ru/wiki/3D\\_print\\_technology/](https://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology/) – 25.04.2022.
- 2 Безопасность жизнедеятельности в химической промышленности [Электронный ресурс]: учебник / Н. И. Акинин [и др.]. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/116363>. – 25.04.2022.
- 3 Горлач, С. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн [Электронный ресурс]: материалы конф. / С. Горлач [и др.]; под ред. В. А. Немтинов; Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2015. – 375 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63844.html>. – 25.04.2022.
- 4 Информационный портал Ohranatruda [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/instructions/index.php?sort\\_order=date\\_up&search\\_text](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/index.php?sort_order=date_up&search_text) – 25.04.2022.
- 5 Информационный портал Rcycle [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rcycle.net/plastmassy/pererabotka-abs-plastika-tehnologiya-mestapriema>. – 25.04.2022.
- 6 История Амурской области с древнейших времен до начала XX века [Текст] / Амурский гос. ун-т, Благовещ. гос. пед. ун-т ; под ред. А. П. Дервянко, А. П. Забияко. - Благовещенск : Изд-во Центра по сохранению историко-культурного наследия Амурской области, 2008. - 424 с.
- 7 История культуры Дальнего Востока России XVII-XX веков [Текст] : учеб. пособие / сост., отв. ред. И. Г. Стрюченко. - Владивосток : Изд-во Дальневост. гос. ун-та, 1998. - 300 с.

8 Кизиллов, Е. Е. Применение 3D-моделирования в кино и видео-индустрии [Электронный ресурс] /Е. Е. Кизиллов // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 1. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2017/01/77658>. – 25.04.2022.

9 Коренные малочисленные народы Севера Амурской области [Текст] : итоги Всероссийской переписи населения 2002 года: [№ по каталогу 3.24: стат. сб.] / Амурстат. - Офиц. изд. - Благовещенск : [б. и.], 2005. - 88 с.

10 Лабораторный практикум по курсу «3D-моделирование и прототипирование изделий»: учеб.-метод. пособие / А. Н. Сергеев [и др.]. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. – 162 с.

11 Медведев, М. П., Фомина, М.А. 3D-печать как новая эпоха в медицине // Новая наука: От идеи к результату. – 2016. – № 11-4. – С. 16 – 19.

12 Поташева, А. Н., Задраускайте, Н. О. Анализ эффективности производства сувенирной продукции // European Scientific Conference. 2018. – С. 257 - 259.

13 Праздники коренных народов Северо-Востока России. [Текст] : Описание попул. в древности праздников с методикой их проведения / А.Н. Фролова ; Сев. междунар. ун-т. - Магадан : Кордис, 2002. - 144 с. : рис. - Библиогр.: с.137.

14 Стальная, В. А. Индустрия развлечений в мировой экономике: современные тенденции и перспективы развития // Российский внешнеэкономический вестник. – 2009. – № 2. – С. 17 - 24.

15 Сулейманов, Н. Т. Управление качеством / Н.Т. Сулейманов. – М.: ФЛИНТА, 2016. – 261 с.

16 Турлапов, В. Е. Задачи и решения компьютерной графики и геометрического моделирования в цифровой биомедицине // Труды Юбилейной 25-й Междунар. науч. конф. «GRAPHICON2015». – Протвино: Институт физико-технической информатики. – 2015. – С. 1 - 6

17 Ухова, Л. В. Сувенирная продукция как инструмент позиционирования имиджа города // В сборнике: Актуальные процессы современной социальной и массовой коммуникации: Ярославль, 2009. – С. 152 - 160.

18 Шумилин, В. К. Охрана труда и охрана окружающей среды в технологиях художественного литья [Электронный ресурс]: учеб. пособие для академического бакалавриата / В. К. Шумилин, В. Б. Лившиц, Е. С. Бобкова. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 404 с. – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/439057>. – 25.04.2022.

19 Шумилин, В. К. ПЭВМ. Защита пользователя. – М.: Ред. журнала «Охрана труда и социальное страхование», 2001. – 213 с.

20 Экология компьютерной техники [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. Г. Гетия, В. К. Шумилин [и др.]. – Москва: Московский государственный университет приборостроения и информатики, 2007. – 25 с. – Режим доступа: [https://studopedia.ru/14\\_131205\\_ekologiya-kompyuternoy-tehniki.html](https://studopedia.ru/14_131205_ekologiya-kompyuternoy-tehniki.html). – 25.04.2022.

21 3D Printing [Электронный ресурс] // ICTP Science Dissemination Unit. – Режим доступа: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>. – 25.04.2022.

22 Blender Documentation [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://docs.blender.org>. – 25.04.2022.

23 Low cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development [Электронный ресурс] // ICTP Science Dissemination Unit. – Режим доступа: <http://sdu.ictp.it/3D/book.html>. – 25.04.2022.

24 MakeHuman Community [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <http://www.makehumancommunity.org>. – 25.04.2022.

25 ZBrush Documentation [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <http://docs.pixologic.com/>. – 25.04.2022.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

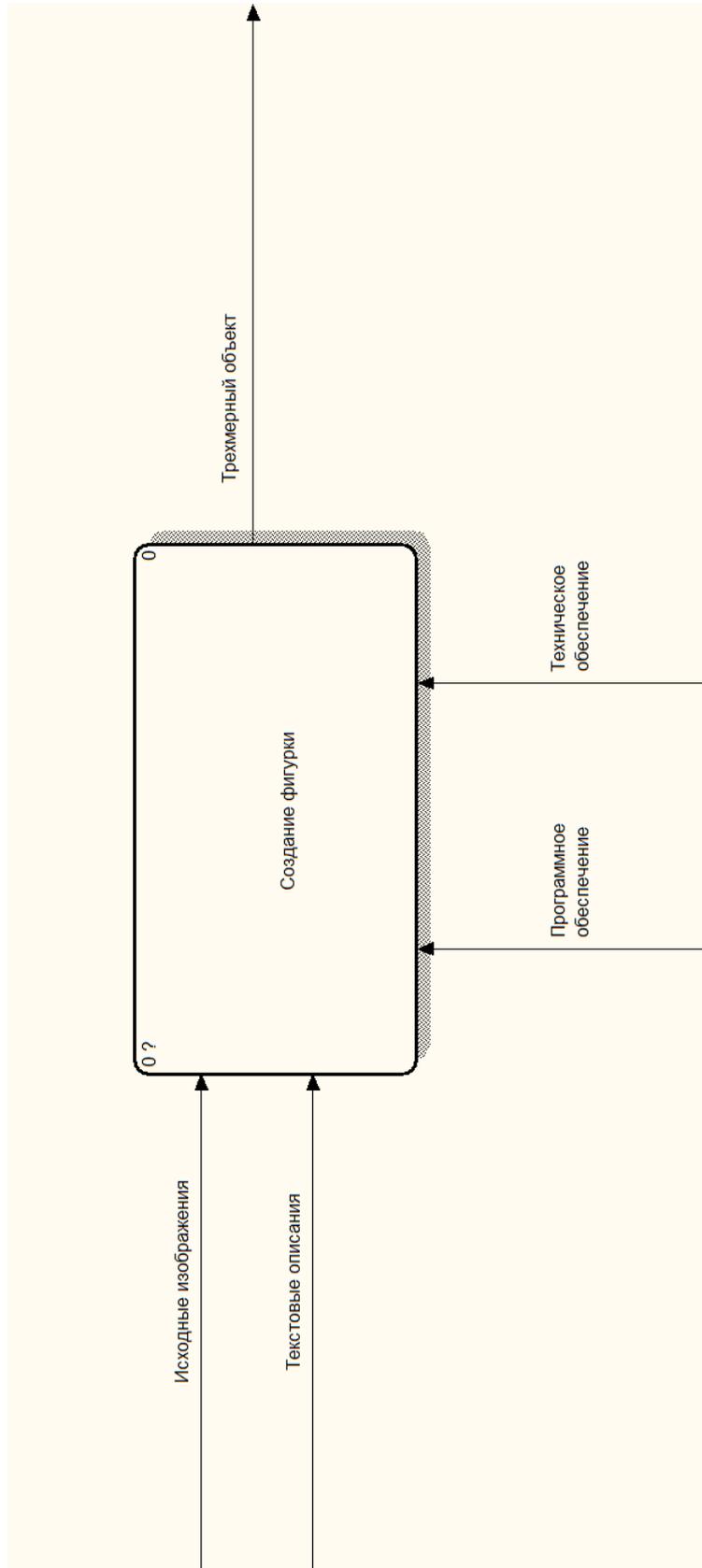


Рисунок А.1 – Создание фигурки

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

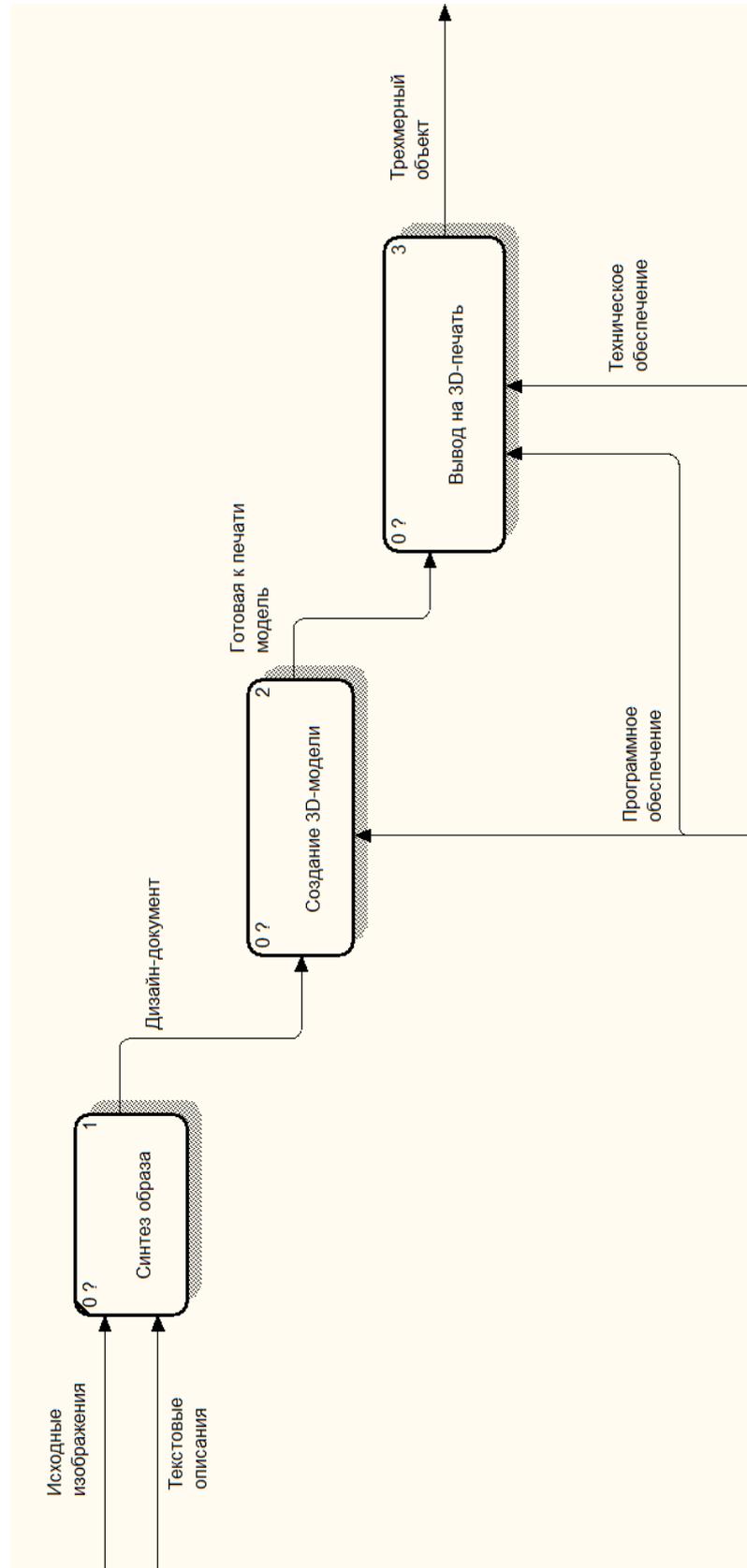


Рисунок Б.1 – Декомпозиция процесса создания фигурки

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

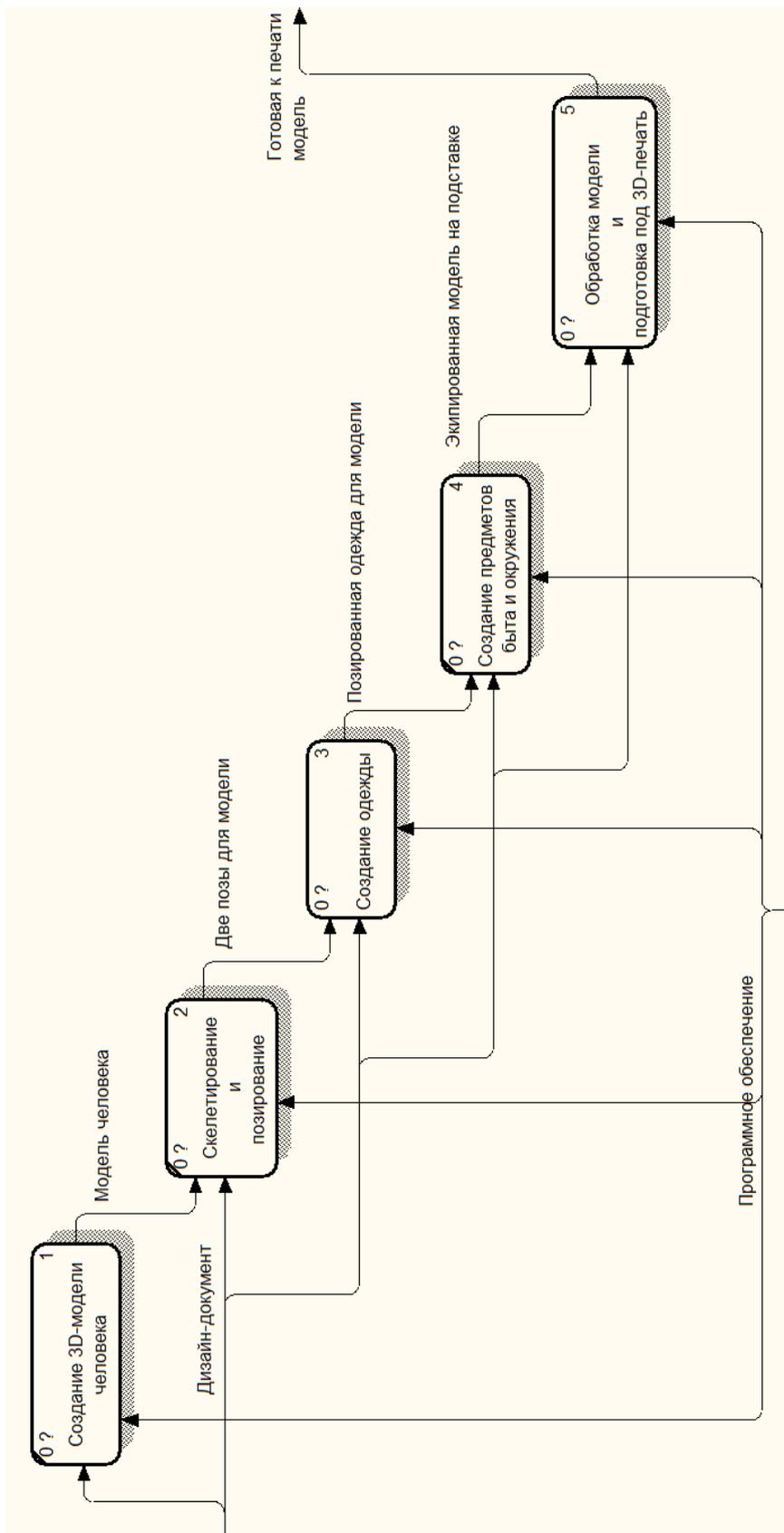


Рисунок В.1 –Процесс создания 3D-модели

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

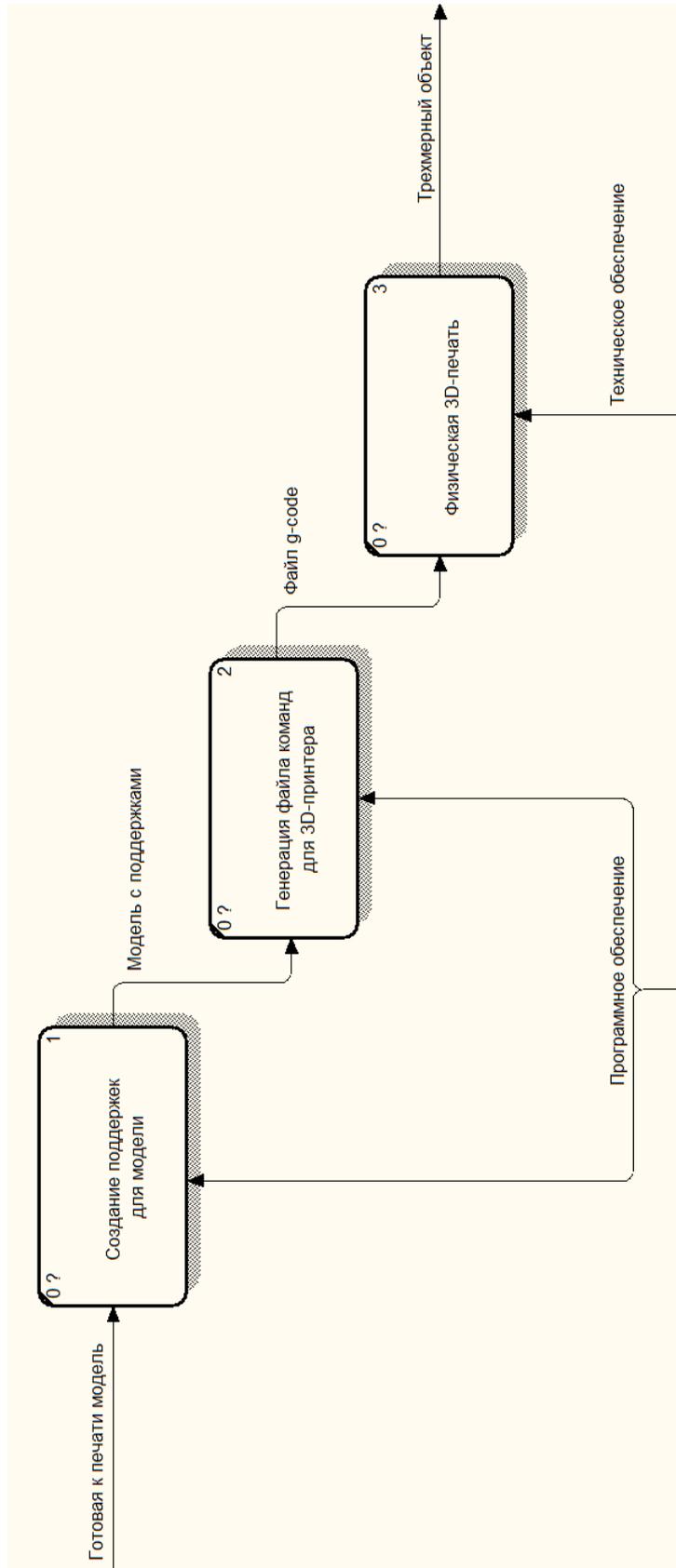


Рисунок Г.1 – Процесс вывода на 3D-печать

# ПРИЛОЖЕНИЕ Д

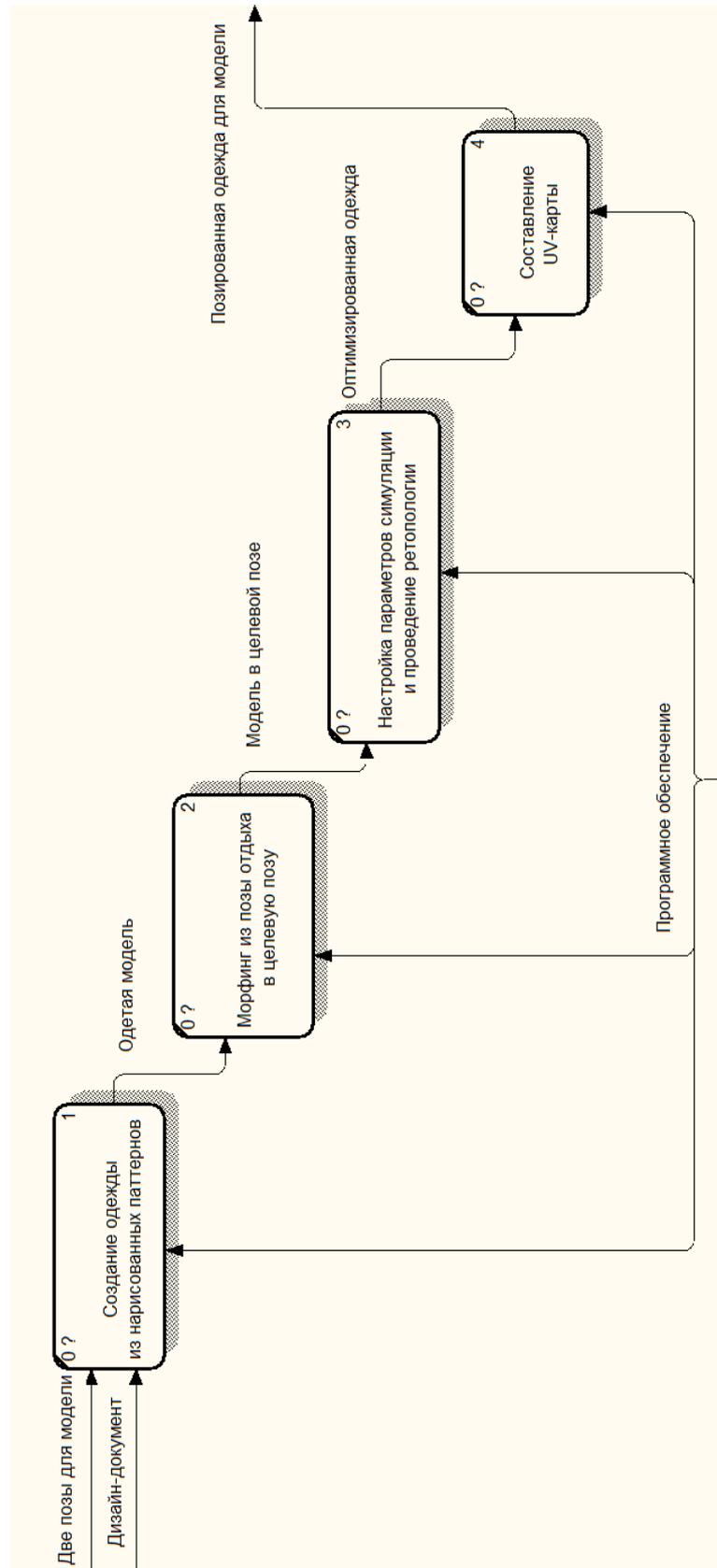


Рисунок Д.1 – Процесс создания одежды

# ПРИЛОЖЕНИЕ Е

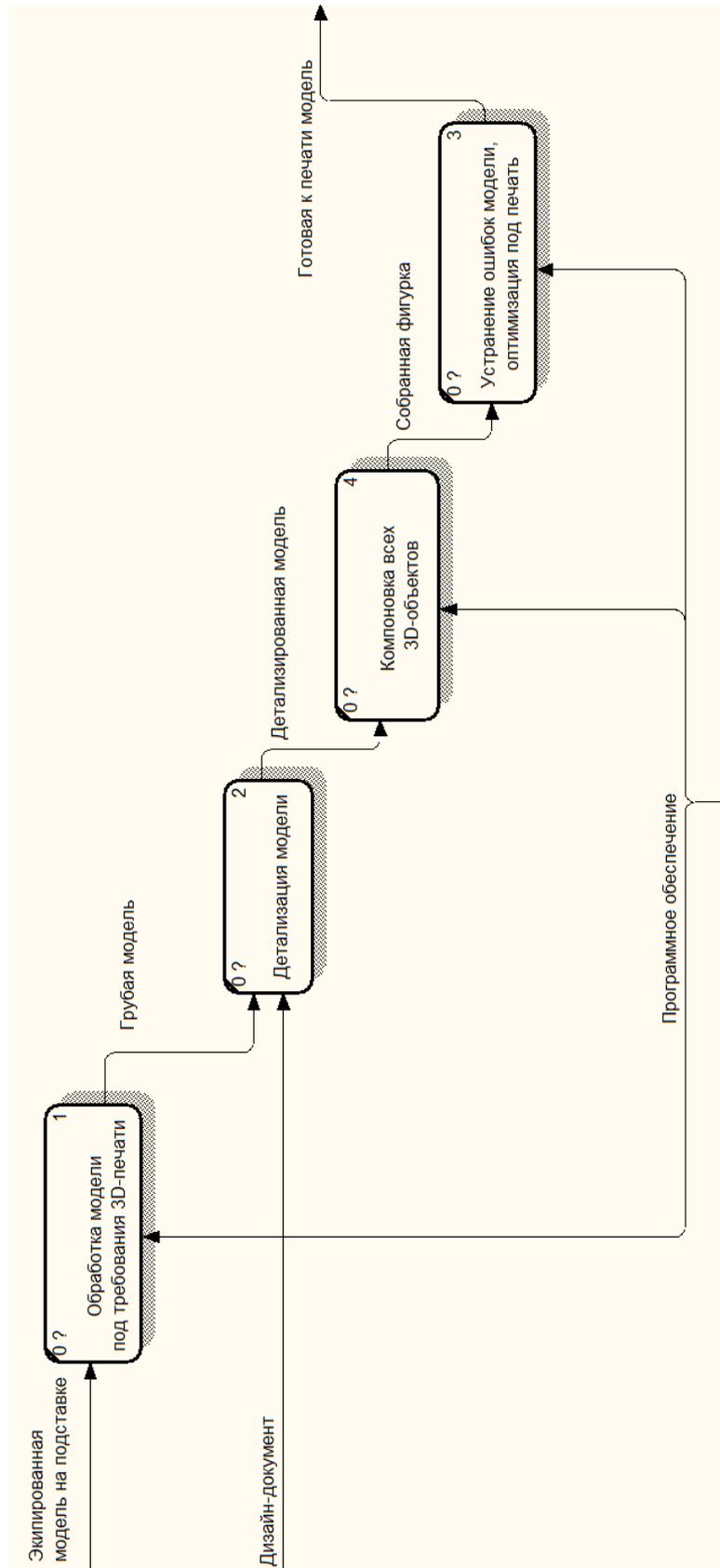


Рисунок Е.1 – Процесс обработки и подготовки модели 3D-печать