

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 /специальность 09.04.04 – Программная инженерия
Направленность (профиль) образовательной программы Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ А.В. Бушманов
«_____» _____ 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Компьютерная реконструкция внешнего облика коренных народностей Приамурья

Исполнитель студент группы 057-ом	_____	Р. А. Алексанов
	(подпись, дата)	
Руководитель профессор, доктор техн. наук	_____	И. Е. Еремин
	(подпись, дата)	
Руководитель научного содержания программы магистратуры профессор, доктор техн. наук	_____	И. Е. Еремин
	(подпись, дата)	
Нормоконтроль инженер кафедры	_____	В. Н. Адаменко
	(подпись, дата)	
Рецензент	_____	
	(подпись, дата)	

Благовещенск 2022

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

Утверждаю
Зав. кафедрой
_____ А.В. Бушманов
«_____» _____ 2022 г.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Алексанова Романа Андреевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Компьютерная реконструкция внешнего облика коренных народностей Приамурья

(Утверждено приказом № 228-уч от 07.02.2022)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 23.06.2022 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: предметная область, отчёты по практической подготовке, результаты выступления на научной конференции

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): анализ предметной области проводимого исследования, работа по реконструкции облика человека по его черепу

5. Дата выдачи задания: 31.01.2022 г.

6. Руководитель выпускной квалификационной работы: Еремин Илья Евгеньевич, профессор, доктор техн. наук

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

Задание принял к исполнению (31.01.2022) Алексанов Роман Андреевич

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 71 с., 35 рисунка, 4 таблицы, 53 источник

РЕТОПОЛОГИЯ, 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ, СКУЛЬПТИНГ, ТЕКСТУРИРОВАНИЕ, РЕНДЕРИНГ, ИСТОРИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ, АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Целью работы является компьютерная реконструкция внешнего облика коренных народов Приамурья. Разработана 3D-модель облика коренного жителя Приамурья эвенкийского происхождения по костным останкам (черепу).

В данной работе подробно описывается методика компьютерной реконструкции внешнего облика по останкам с помощью современных методов реконструкции, 3D-моделирования, фотограмметрии и скульптинга.

Задачи выпускной работы:

- Анализ предметной области объекта;
- Исследование существующих методик реконструкции;
- Разработка методики реконструкции;
- Реконструкция объекта по авторской методике.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Общая характеристика исследуемой задачи	6
1.1 Предметная область и объект проводимого исследования	6
1.1.1 Краткие сведения о предметной области	6
1.1.2 Сведения о методах исследования	8
1.2 Обзор существующих методов решения аналогичных задач	11
1.2.1 Фактическое разделение этапов работы над проектом	11
1.2.2 Сведения о существующих способах решения задачи	14
2 Алгоритмическое и программное обеспечение решения задачи	17
2.1 Предлагаемый алгоритм компьютеризированного решения задачи	17
2.2 Обзор возможностей профильного программного обеспечения	18
2.2.1 Рассмотрение аппаратных технологий для решения задачи	18
2.2.2 Рассмотрение программных решений	24
2.3 Характеристика выбранного программно-аппаратного обеспечения	32
3 Программная реализация предлагаемого алгоритма решения задачи	38
3.1 Основные этапы практической разработки	38
3.1.1 Этап получение модели	39
3.1.2 Этап исследования полученной модели	48
3.1.3 Реконструкция модели черепа	53
3.1.4 Просчёт модели по различным методикам	55
3.1.5 Реконструкция модели с помощью программных продуктов	58
3.2 Анализ достоверности и практической значимости результатов	63
Заключение	65
Библиографический список	67

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, история – занимает большую часть отрасли культуры каждой страны. Без знания истории, человек не может полностью оценить важность вклада в развитие цивилизации – того или иного народа. Большинство научных фактов – по сей день мало изучены и не могут в полной мере описать достоверную картину происходящего.

События последнего десятилетия заставили учёных и публицистов говорить о новом «великом переселении народов». Миграции народов и сопутствующие им видоизменения этнического состава стран, регионов и даже континентов приобрели небывалый масштаб. Эти процессы затрагивают не только такие утратившие стабильность регионы, как Ближний Восток и Северная Африка, но и Европу, значительную часть Азии. Порой некоторым людям кажется, что если бы они жили в совершенно однородной этнической, культурной и религиозной среде, то такая жизнь соответствовала бы исторической норме и заключала бы в себе совершенное благо.

Культурой нашего края занимается большое количество различных специалистов: историки, антропологи, археологи и т.д. Используя различные методы исследования, специальные устройства – так же подключают сферу деятельности информационных технологий для просчёта, анализа, сбора и хранения информации о том или ином факте – собирая информацию по крупицам. Исходя из последних исследований, можно предположить, что идеальных методов исследований – пока ещё нет, которые приближали методы исследования к большему проценту достоверности картины. В обобщение - скрываются детали, которые остаются не раскрытыми.

В данной работе будут рассмотрены и исследованы антропологические методы исследования, которые в совокупности с информационными технологиями – отражают приближённую картину достоверности реконструкции по останкам человека.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМОЙ ЗАДАЧИ

1.1 Предметная область и объект проводимого исследования

1.1.1 Краткие сведения о предметной области

Предметной областью исследования – является компьютерная реконструкция коренных народов Приамурья.

Подходя комплексно к вопросу изучения предметной области, сфера делится на историко-культурные факты и методы исследования фактов.

Говоря о историко-культурных фактах, предметом изучения становится история народов Приамурья.

Население Дальнего востока с самого начала относилось к коренным малочисленным народам севера.

Коренные малочисленные народы Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации – народы численностью менее 60 тысяч человек, проживающие преимущественно в северных районах России, в Сибири и Дальнем Востоке на территориях традиционного заселения земли своими предками, сохраняющими традиционный образ жизни, хозяйствование и промыслы и осознающими себя самостоятельными этническими общинами.

С глубокой древности по просторам Приамурья и прилегающих территорий перемещались группы людей, представлявшие разные племена и народы. Они были носителями разных культур и верований. Этнический, культурный и религиозный состав населения области никогда, по крайней мере, со времён неолита не был однородным. Разные группы населения сосуществовали рядом, на смену некоторым в ходе новых волн миграции приходили другие. В таком взаимодействии и взаимообмене этнокультурных сообществ формировалась в своём многообразии насыщенная событиями история края. С далеких времени считалось, что коренные народы Приамурья — это преимущественно маньчжуры, нанайцы, ульчи, нивхи, негидальцы, эвенки, а также орочи и удэгейцы, обосновавшие свои семьи в Амурской области.

Природа была и остаётся неотделимой частью жизни этих народов. Тайга и река не только давали им пищу и кров, но и одежду и предметы быта. Огромную роль в судьбе населения играла переработка природных материалов как растительного, так и животного происхождения. Ежегодно производилась заготовка природных материалов, необходимых в быту: коры деревьев, которая шла на покрытие летних жилищ, шкур, кож, мехов для шитья одежды, обуви, головных уборов.

Как правило, коренные народности Приамурья жили оседло, но в их расселении не было никаких резких границ. Много нанайских, ульчйских, нигедальских, эвенкийских семей жило на Амуре в нивхских селениях, нивхи — в ульчских и так далее. Заключалось много смешанных в этническом отношении браков.

Взаимосвязь между общинами и влияние друг на друга способствовали некоторой унификации элементов их культуры. Особенным диалогом были связаны между собой народы, жившими по течению самого Амура: между нанайцами, ульчами, нивхами, эвенками.

В истории сохранилось не так много фактов о жизни и быте народов севера, поскольку в силу условий их жизни, факторах и условий местности проживания, основным родом деятельности народов было и остаётся выживание в условиях дикой природы. Большинство захоронений и исторических памятников, представляющих историческую и культурную ценность, отсылающих нас к истории возникновения и традиционной культуре народов дальнего востока остаются не тронутыми заповедниками, и по сей день находятся в состоянии глубокого исследования. Большинство останков, находясь в условиях кислой почвы Дальнего востока, практически уничтожены и не поддаются исследованию и дальнейшей реконструкции.

Но по состоянию на 2010 год в большинстве субъектах Российской Федерации компактно проживают 40 малочисленных народов Севера. Согласно данным Всероссийской переписи населения 2016 года, общая численность ма-

лочисленных народов Севера составила 245 тысяч человек, причём численность отдельных народов колебалась от 42 тысячи человек (ненцы) до 250 человек (энцы).

Около 55 процентов граждан из числа малочисленных народов Севера проживают в сельской местности. Во многих национальных посёлках и сёлах общины этих народов стали единственными хозяйствующими субъектами, выполняющими ряд социальных функций.

В соответствии с законодательством Российской Федерации, общины как некоммерческие организации пользуются рядом льгот и используют упрощённую систему налогообложения.

1.1.2 Сведения о методах исследования

Если говорить о методах исследования исторических фактов – идёт классификация методов исследования на классические методы исследования (историко-генетический метод, ретроспективный метод, статистический метод и т.д), прикладные методы (антропологический метод, метод контент-анализа, палеонтологический метод и т.д.), альтернативные методы (лингвистический анализ, метод исторической информатики, метод реконструкции). Интересующие нас классификации методов исследования – прикладные методы, для поиска исторических фактов и методов антропологического исследования, и альтернативные методы исследования для изучения методов реконструкции, связанные с информационными технологиями. Для исследования предметной области – был выбран метод компьютерной реконструкции.

Актуальность темы исследования состоит в том, что сегодня в молодёжной культуре российской федерации усиливается влияние движения исторической реконструкции, в России существует несколько крупных военно-патриотических ассоциаций, практически в каждом городе есть свой клуб по военной реконструкции. Основу исторической реконструкции подчёркивает быстро растущая популярность рассматриваемого нами движения в рядах молодёжи, о чем свидетельствуют многочисленные фестивали, проводимые во

многих регионах Российской Федерации, странах дальнего и ближнего зарубежья. Большой диапазон объединяющих аспектов привлекательности реконструкции позволяет людям наиболее полно реализовать духовные и моральные потребности в культурной трансформации и самоидентификации, реализовав с помощью методов реконструкции реальность прошлого и соприкасаясь с живой историей.

Существует большое количество методов по реконструкции: антропометрический метод (измерения размеров человеческого тела), краниологический метод (восстановление облика по костным останкам) и т.д. Но не всегда эти методы корректно отражают действительность, поскольку влияет большое количество факторов самого объекта реконструкции и человеческий фактор. Самым приближенным к действительности и менее ресурсозатратным – до сих пор остаётся компьютерная реконструкция. Компьютерная реконструкция (3D-реконструкция) – процесс получения конечной формы и облика объектов из реального мира в виртуальном. Процесс может быть выполнен разными методами – пассивными и активными методами. В случае, если форма модели может меняться во времени, говорят о нежёсткой или пространственно-временной реконструкции.

Помимо данного метода разработки будущего прототипа облика, будет необходим метод расчёта и вычисления исходного облика человека. Таким методом является – метод Михаила Герасимова. Учёный разработал важные этапы лицевой реконструкции относительно портрета объекта: графическая реконструкция, анализ черепа, работа над портретом с учётом исторических сведений, скульптурное воспроизведение головы. Анализ черепа выявляет имеющиеся на нем повреждения и устанавливает, когда они появились, при жизни человека или уже после его смерти. Посмертные разрушения перед реконструкцией самого объекта обычно восстанавливают, прижизненные дефекты – в основном оставляют в неизменном виде и делают реконструкцию, относительно этих особенностей.

Восстановление лица по черепу (метод Герасимова) – это процесс воссоздания лица человека (личность которого часто неизвестна) из его скелетных останков посредством объединения артистизма, антропологии, остеологии и анатомии. Чаще всего реконструкция лица оказывается вполне успешной, поэтому исследования и методологические разработки продолжают развиваться.

Одним из особенностей восстановления по методу Герасимова является углублённое изучение и анализ генотипа и фенотипа исследуемого объекта, исходя из которых, можно искать уже определённые закономерные черты исследуемого объекта. Благодаря генотипу объекта, т.е. его предположительное происхождение, большинство признаков фенотипа происходит именно оттуда. А именно форма носа, ушей, характерные черты лица, разрез глаз, размер верхней и нижней челюсти и т.д. По заданным характеристикам уже возможна дальнейшая реконструкция объекта исследования.

Методика Герасимова является спорным явлением, поскольку в основу самого метода исследования и реконструкции входит графическое представление, основанное сугубо на мнение автора об объекте, придавая объекту действительную форму, всего на 70 процентов. Остаются основные черты лица, верно утверждённый пол и возраст объекта исследования. Однако под руководством Галины Вячеславовны Лебединской, кандидата биологических и химических наук и автора более 70 скульптурных и более 200 графических реконструкций, а так же по совместительству – работав помощником анатомом ученого антрополога Герасимова, уже после смерти учёного в 1970 году, алгоритм реконструкции был усовершенствован и опробован на большинстве последующих реконструкция в лаборатории.

Для дальнейшего изучения отношений между мягкими тканями лица и черепной коробкой впервые стали применять метод ультразвуковой эхолокации. Это дало огромную возможность перейти на исследования более детальных аспектов объекта, а именно толщины мягких тканей на живых людях, что позволила улучшить исследования и прийти к выводу, что основная работа по

реконструкции заключается именно в этих данных. Перспективным проектом стал и разработанный вместе с профессором из МГУ метод применения близкой стереофотограмметрии как практически бесконтактного способа исследования в антропологической реконструкции. На основе данного, усовершенствованного метода и был произведён самый первый опыт реконструирования объёмного образа с помощью компьютера.

На сегодня, исследования по улучшению метода пластической реконструкции продолжают студенты ученики Лебединской, среди них –Никитин С.А. и Балужева Т.С., которая в данный момент заведует лабораторией исследований по антропологической реконструкции. Школа профессора М.М. Герасимова продолжает развиваться и по сей день.

За годы работы в лаборатории Галины Вячеславовны, её студенты создали целую галерею графических и скульптурных реконструкций. Опыт XX и XXI века показал, что неправильное отношение к достижениям прошлой многовековой истории приводит к духовному голоданию и обнищанию. В любой момент общественного возрождения и обновления в широких слоях народа всегда возрастает огромный интерес к изучению истории своего народа, желание понять и узнать, откуда взялся тот или иной род или раса и куда идёт в развитие. Творчество Лебединской помогает нам в этом, в сочетании с археологическими материалами её реконструкции позволяют получить более полное и яркое представление о разных исторических эпохах.

1.2 Обзор существующих методов решения аналогичных задач

1.2.1 Фактическое разделение этапов работы над проектом

Предметом исследования является методы и процессы реконструкции по человеческим останкам. Сам процесс создания виртуальной скульптурной реконструкции на краниологической основе делится на следующие этапы работы, как заверял нас Герасимов: графическая реконструкция, анализ черепа, работа над портретом с учётом исторических сведений, скульптурное воспроизведение головы.

Первым этапом для рассмотрения является анализ черепа. В него входит большое количество этапов работы для точного исследования и на нем, как на основе, составляется примерный облик человека. Чем больше приведено исследований на данном этапе работы, тем достовернее получается реконструкция объекта.

В нашем случае, объект является не виртуальным. Прежде чем начать работу по анализу объекта следует провести промежуточные этапы работы с объектом. А именно: этап сборки черепа, подготовки к сканированию и сканирование объекта.

После промежуточных этапов исследования мы имеем виртуальный объект, который послужит нам для основы дальнейшей реконструкции.

Главной особенностью этого этапа работы, является точность собранных данных. Если данные на данном этапе будут искажены, потеряны или недостоверны - результат исследования будет неверным и может вовсе остановиться на промежуточных этапах работы.

Выбирая метод сканирования – выбор сделан в пользу фотограмметрии. Фотограмметрия и программное обеспечение, для реконструкции облака объектов, изначально могут дать более достоверные данные нежели другие методы сканирование.

В конечном счёте получается виртуальный объект с сеткой и готовой текстурой объекта.

Следующим этапом работы идёт графическая реконструкция исследуемого объекта. На данном этапе работы - большая часть действий происходит по тому же принципу что и краниологический метод, происходит отрисовка в любом графическом редакторе примерный образ человека по показателям из метода - восстановление лица по черепу с использованием компьютерных технологий (Коровянский О.П., Хоркин А.Р.).

После получения виртуального объекта, происходит процесс анализа. Для того чтобы достоверно прогнозировать дальнейшее конструирование черт

лица - используются узловые точки по всей лицевой части черепа, включая и нижнюю челюсть тоже. Узловые точки представляют из себя столбики маяки соответствующей высоты, толщиной около 5-6 мм, которые расставляются в главных, соответствующих замерам Герасимова, точках [10].

Когда маячки выставлены по всем основным краниометрическим точкам, они соединяются гребнями по профилю и проектной горизонтали. Высота гребня между разными по высоте маяками должна быть неравномерной, для того чтобы можно было внести ассиметрию в выражение лица объекта. Маяки должны быть одинаковы по размеру, но утоплены на разную высоту. В конечном итоге должна быть сформирована относительная часть лица по двум линиям - фронтальной линией, которая является срединным экватором черепной коробки и проходит практически по всей всему нижнему краю глазницы, линия портретного сечения, которая представляет из себя портретный экватор, составляющий членение обеих половин черепа. Относительно последней линии и задаётся симметрия объекта реконструкции.[1] В связи с анатомическими особенностями исследуемого объекта, подбираются размеры глазных яблок, визуализируется изначально художественный образ объекта.

Рассчитывается индивидуальный разрез глаз и ширина век[2]. Ушное отверстие выполняется от длины прямой, проведённой от глабеллы до точки, лежащей посередине между бровями. Косая носового шипа, равна длине уха [9]. Относительно шва височной кости, к которому присоединена височная мышца, проходит верхний контур уха, и он будет равен по форме и положению относительно мышцы и положению височной кости. Так же для более детальной обработки, иногда становится необходимым, воссоздание прикуса, имитация зубов и имплантов. Особенно это нужно и важно для достижения необходимого требования по методике Герасимова, наличия и положения нижней челюсти. По такой незамысловатой формуле и рассчитывается весь спектр особенностей человека.[7].

1.2.2 Сведения о существующих способах решения задачи

На сегодняшний день, направление культурной исторической реконструкции является самым интересным и интенсивно развивающимся для большинства историков, регионоведов, антропологов и даже краниологов.

В основном, группы исследователей проектируют симуляции определённых жизненных условий и событий, которые происходили в периоды до нашего столетия, для изучения происхождения личности, культуры и традиций народа, быта, вплоть до военных действий.

Большой популярностью обрастает метод исторической реконструкции по останкам. Большинство историков, приходя к этой сфере исследований, имеют огромные трудности, поскольку идёт большое влияние факторов на достоверность проведённых исследований, включая в себя объект исследования, метод исследования и методику реконструкции. Тратится огромное количество времени и сил на изобретение новых методов исторической реконструкции, вследствие необходимости возникает множество программных продуктов и модулей для автоматизации процессов исследования и реконструкции, но по сей день не было выявлено универсального метода реконструкции по костным останкам.

Этим и обуславливается новизна предложенного метода исследования в данной работе. Все методы, описанные в статьях и в любых источниках, не имеют ничего общего кроме основных методик по реконструкции, и зависят сугубо от функционала программного обеспечения, используемого при реконструкции.

К примеру, одна из работ по реконструкции образа личности на основе останков.

Антрополог из шотландии Кэролайн Уилкинсон реконструировала лицо немецкого композитора Иоганна Себастьяна Баха XVIII века на основе его черепа. Реконструкция профессора университета Южной Каролины, не слишком напоминает известные изображения композитора, чем и показывает нам точ-

ность самой реконструкции. Впрочем, на его картинах обычно его изображали в парике. По версии ученого голова массивна, высокий и широкий лоб, большие уши, черты лица большие, основательный подбородок и выдающаяся нижняя губа. Останки композитора были эксгумированы в 1897 году.

По результатам исследования сделано 3D-сканирование черепа. Результат был направлен в университет Южной Каролины, где в дальнейшем мышцы и кожа были смоделированы, профессором и группой ученых из Университета (рис.1).

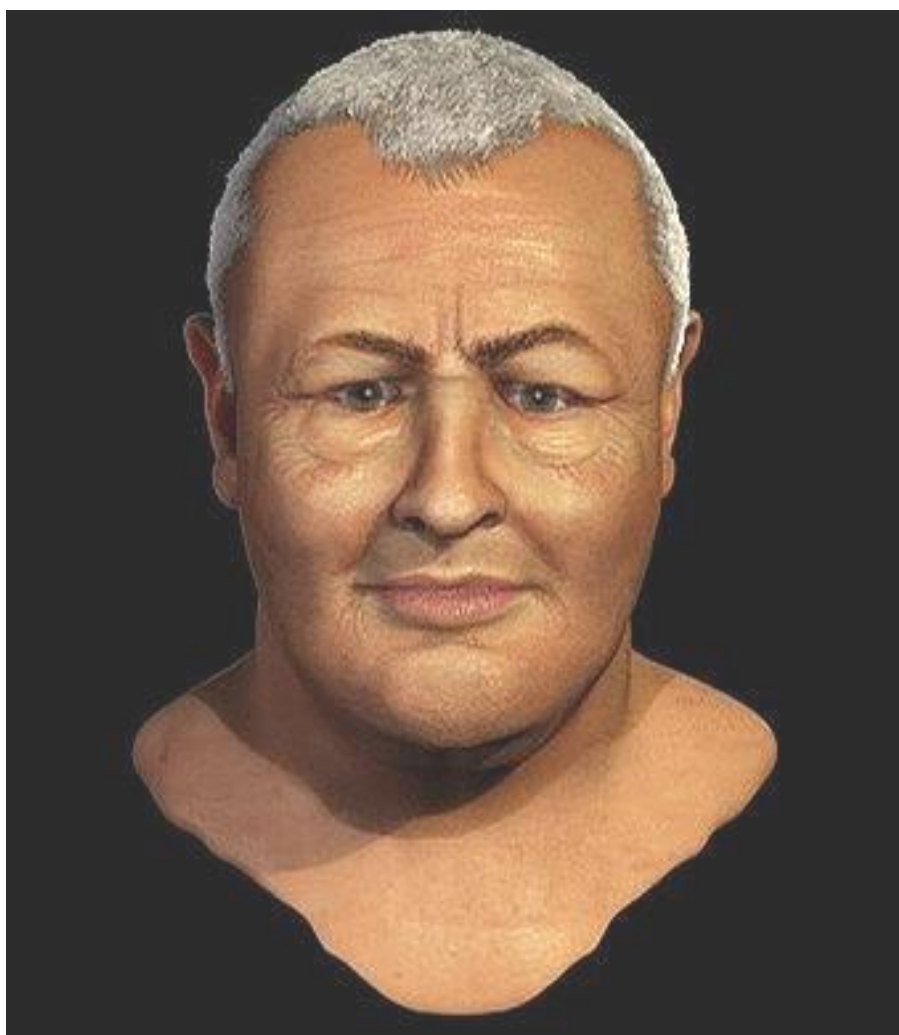


Рисунок 1 – пример реконструкции объекта (Иоганна Себастьяна Баха)
Или, например Генриха IV – реконструкция лица, сделанная на основе найденного черепа (рис.2).

Генрих IV Великий, (1553- 1610) – французский король с 1598 года, основатель французской королевской Бурбонской династии.

Сын герцога Вандомского и королевы Неварской, был крещен как католик, но воспитан в протестантской вере. Он унаследовал трон в 1593 году после смерти матери. Генрих участвовал во французских религиозных войнах, избежав убийства во время резни в день Варфоломея. Позже он возглавил протестантские силы против королевской армии.

Генрих и его предшественник Генрих III были прямыми потомками короля Людовика IX.

Генрих III принадлежал к дому Валуа, происходившему от Филиппа III, старшего сына Людовика Святого.

Генрих IV принадлежал к дому Бурбонов, происходившему от Роберта, графа Клермонского, младшего сына Людовика Святого.

После смерти дальнего родственника Генриха III в 1597 году Генрих был призван к французскому престолонаследию по салическому закону.



Рисунок 2 – пример реконструкции объекта (Генрих IV Великий)

2 АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

2.1 Предлагаемый алгоритм компьютеризированного решения задачи

Основной задачей данной работы, является компьютерная реконструкция внешнего облика коренных народов Приамурья.

Для программного решения существующих задач, было выяснено несколько этапов работы:

- Этап получения модели. На начальном этапе работы, нам необходимо исследовать способы получения исходных данных, для выявления наилучшего. Является основным этапом работы, поскольку результат конечного исследования напрямую зависит от качества исходных данных. Отвечает на вопросы: каким образом получить модель; какой способ лучше;

- Этап исследования модели. Пользуясь методами антропологического исследования останков на местности, можно выяснить некоторые подробные особенности и свойства объекта исследования, для упрощения дальнейшей работы. Этап отвечает на такие вопросы как: как определить пол по останкам; какой возраст объекта исследования на момент гибели; принадлежность объекта исследования к той или иной этнической расе;

- Реконструкция модели черепа. В данном этапе работы, рассматриваются методы реконструкции объекта исследования относительно исходных данных. Дорабатывается образ исходного объекта относительно эталонных значений. Получается качественная отправная точка для начала работы с объектом. Происходит восстановление образа эталонного состояния до деформации черепа, отчистка модели от различного мусора в следствие проведения предыдущих этапов работы, а также происходит частичная процедура восстановление поверхности черепа и зубов;

- Просчёт модели по различным методикам. Данный этап раскрыва-

ет нам суть нескольких методов просчёта финального образа реконструкции. Происходит сравнение методов и корректировка относительно текущей ситуации получившихся исходных данных;

– Реконструкция модели с помощью программных продуктов. Финальным этапом работы происходит реконструкция модели по признакам из предыдущих этапов работы. Рассматривается конечный результат и методы его представления для последующих сущностей.

Входными данными исследования является объект реконструкции - череп жителя коренного населения Приамурья, предположительно Эвенкийской национальности принадлежащей тунгусо-маньчжурской группе национальностей.

После проведения реконструкции, выходными данными является образ человека в виде 3D-модели и его виртуальное представление для конечного пользователя данными.

2.2 Обзор возможностей профильного программного обеспечения

2.2.1 Рассмотрение аппаратных технологий для решения задачи

Для использования метода компьютерной реконструкции нужны исходные данные в качестве объекта реконструкции, способы переноса объекта в 3D-модель и методы реконструкции по 3D-модели.

Рассмотрим способы переноса объектов из реального мира в виртуальный. Алгоритмическое и программное обеспечение решения задачи

Есть несколько способов для переноса объекта в 3x-мерное отображение:

- Сканирование объекта с помощью 3D-сканера;
- Фотограмметрия.

У каждого из этих способов есть свои плюсы и недостатки, отражающиеся на достоверности самого объекта. Изучим вопрос и сравним каждый элемент, начиная с фотограмметрии объекта.

Фотограмметрия – это способ определения формы, размеров, положения и других свойств объекта по из покадровой съемке вокруг [16]. Фотограмметрия взаимодействует с различными способами расчёта положения объекта и алгоритмами из оптики проектной геометрии [17].

Исходя из снятых покадрово фотографий определяются координаты точек вершин объекта, выставляется относительное положения облака точек в пространстве, при этом алгоритм ищет похожие узловые точки, создает между ними пересечения и увеличивает их количество относительно этих пересечений, так и появляется сетка объекта. Существуют и более сложные алгоритмы построение подобных цифровых двойников, такие алгоритмы реконструируют положения точек по двум проекциям, горизонтальной и вертикальной (рис. 3).



Рисунок 3 – пример фотограмметрии объекта скульптуры (фотограмметрия)

Целью фотограмметрических алгоритмов является минимизация суммы ошибок, возникающих при построении объекта. С подобной ошибкой принято справляется при помощи алгоритма, основанного на решении нелинейных уравнений методом наименьших квадратов Левенберга-Марквардта [20].

В основном наблюдения помогают точнее определять расстояния и координаты точек объекта, уточняя масштаб и саму систему координат [22].

Главными достоинствами фотограмметрии являются:

- Демократичная стоимость оборудования для работы;
- Автоматизация процесса измерений;
- Точность в алгоритмах измерений объекта;
- Высокая производительность;
- Возможность дистанционных измерений в условиях, повышенной опасности.

В качестве недостатков у фотограмметрии есть:

- Огромные затраты по времени обработки и вычислений;
- Большие по объёмам объекты проектов, хранящиеся на устройстве;
- Нехватка программных продуктов (преобладающее число любительских продуктов над профессиональными).

В общем итоге, метод фотограмметрии объекта вполне доступен и подходит для низкобюджетных проектов, неограниченных по времени и попыткам съёмки. Качество зависит сугубо от принимающего устройства, фотоаппарата, на который ведётся покадровая съёмка объекта. Метод доступен в случае, когда качество получившегося результата не важно и может сниматься на любое доступное пользователю устройство с камерой. Постройка объекта в данном случае зависит от частоты съёмки и качества склеивания изображения между собой, для получения полного 3D-объекта.

Теперь рассмотрим способ сканирования с помощью телеметрии и 3D-сканеров.

На рынке 3D-сканеров вы можете встретить устройства, позволяющие сканировать самые различные предметы – от маленьких ювелирных изделий до массивных скал.

Возможность создания цифровых образов объёмных объектов возник довольно недавно, по мере развития индустрии информационных технологий, однако существовавшая на тот момент потребность не оправдывала массовое производство таких устройств. 3D-сканеры выпускались в единичных экземплярах и стоили баснословно дорого.

Областью, в которой трёхмерные сканеры совершили революцию, стала аппаратная графика. Раньше художникам нужно было тратить много часов на моделирование реалистичных людей для фильмов и игр. Теперь все стало возможным, просто найти подходящего человека и оцифровать его с помощью 3D-сканера.

Сегодня, данная технология стала сравнительно доступна, теперь крупные и малые компании, с помощью небольших вложений могут автоматизировать сбор данных для дальнейшей оцифровки модели гораздо быстрее и проще, чем большинство других способов сбора данных. Рассмотрим несколько типов инструментов для 3D-сканирования.

Лазерно-дальномерное (лидарное) сканирование строится на определении расстояния от устройства до точки на объекте путём вычисления времени прохождения луча лазера до неё и обратно (рис. 4). Иногда этот метод применяется в геологии.

Современные технологии в области электротехники и радиоэлектроники позволяют рассчитать это время с высочайшей точностью. Но есть и обратная сторона медали: само сканирование происходит в одной узловой точке, поэтому построение модели этим способом занимает достаточно продолжительный промежуток времени.

Сейчас, лазерно-дальномерный сканер способен считывать до 10000000 точек/секунду. Полученный массив из точек аппроксимируется многочисленными числовыми методами на поверхности объекта. А программные алгоритмы в основном помогают воссоздать теоретическую поверхность объекта, устранив абсолютно все шероховатости и неточности.

Могут представлять из себя телеметрические датчики, которые работают в эхолокационной системе, иногда представляют из себя отдельный инструмент с креплением, для размещения на движущихся объектах, для масштабной съёмки с дальнейшим сканированием местности.

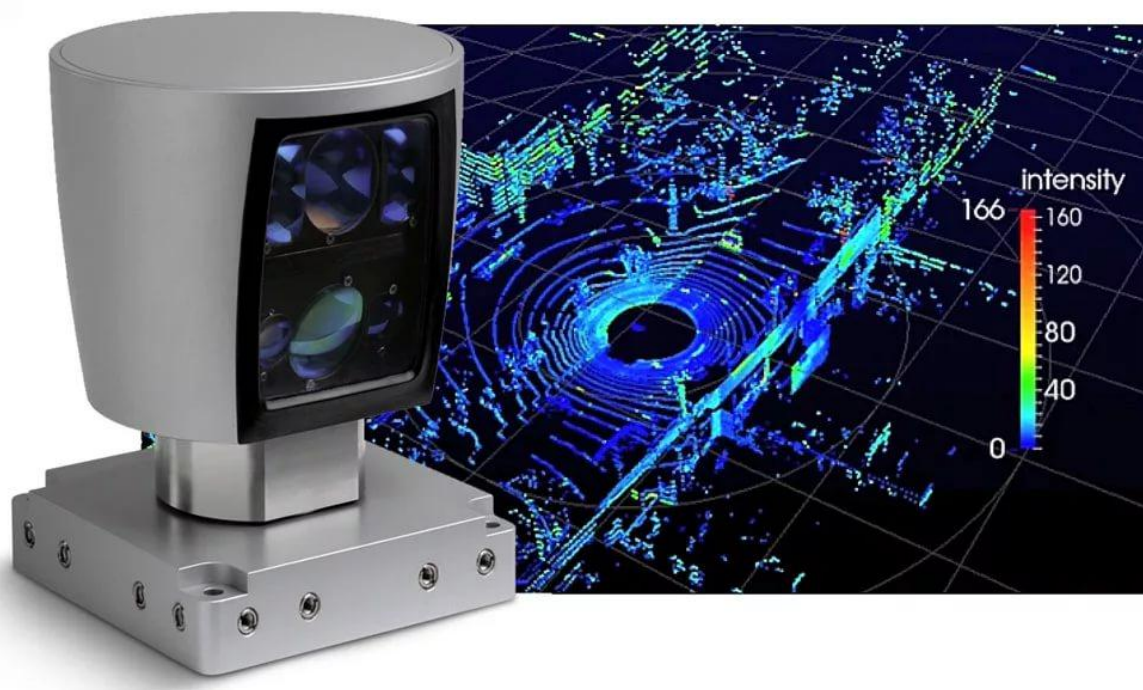


Рисунок 4 – пример лидарного сканирования

Лазерные триангуляционные сканеры – это лазерные установки, которые в системе из трех или 5 головок проецируют точки объекта в систему. Микроконтроллер обрабатывает входящее излучение, отражённое от объекта, и, используя тригонометрическую триангуляцию [14].

В триангуляционном лазерном сканере происходит изменение положения луча относительно оптической линзы [26]. Преимуществом такого способа считывания информации является возможность сканирования по средствам плоского луча и при помощи матрицы считывания показаний луча.

Но есть и свои недостаток у данного метода, теневые точки объекта имеют свойство засоления и затемнения областей, что сказывается на результатах работы алгоритма съёмки. (рис. 5). В основном выглядят как большие док-станции для сканирования объёмных объектов, иногда используется в си-

стеме с другими видами сканирования для увеличения скорости и точности работы над сканированием. Представление может менять в зависимости от портативности объекта, поскольку существуют и портативные триангуляционные сканеры, которые уступают по качеству сканирования системным док-станциям, но намного эффективнее работают с неподготовленными деталями (без предварительной обработки), и менее чувствительны к окружающей среде объекта.

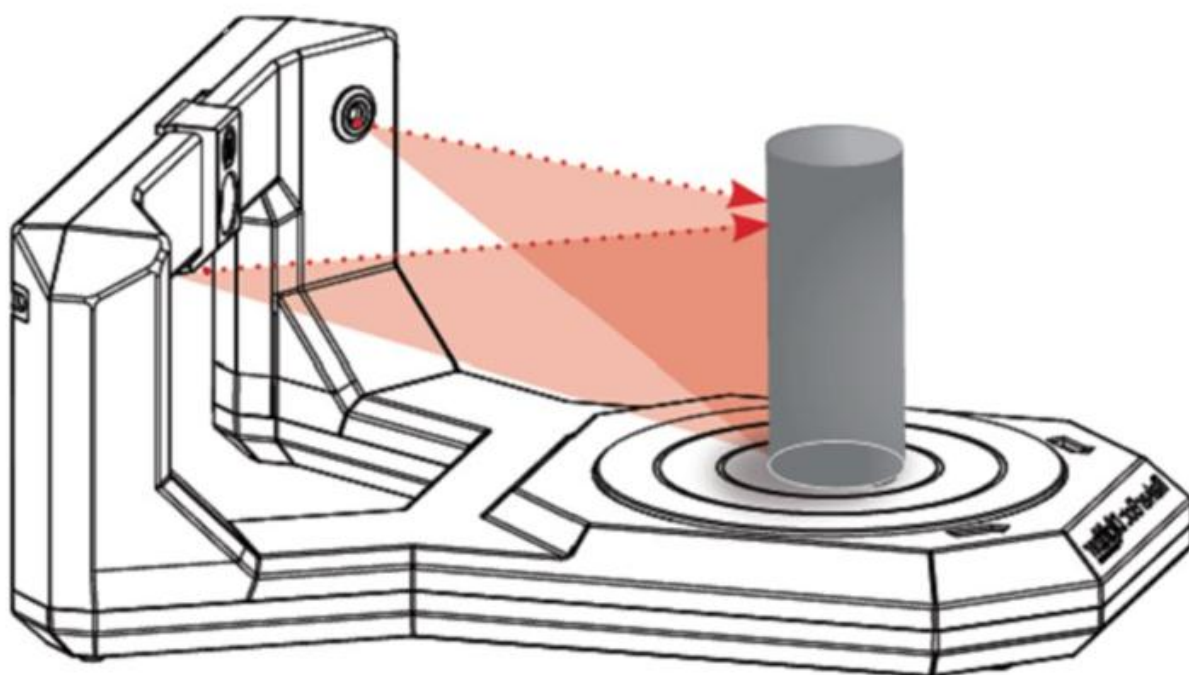


Рисунок 5 – пример триангуляционного лазерного сканера

Оптические сканеры – состоят из оптической линзы, которая передает множество изображений в алгоритм сбора и склейки (рис. 6). Своё программное обеспечение сканер использует для анализа искривления сетки и составления на её основе карты глубины. Этот метод не уступает в точности лазерным сканерам, и значительно превосходит их по скорости сканирования и дешевизне изготовления.

Подобные ручные сканеры нашли своё применение в любительской съёмке. Методика построения объекта аналогична фотограмметрии, но имеет ряд ограничений по качеству накладываемой текстуре, сшивка объекта проис-

ходит непосредственно при сканировании, что значительно сокращает время работы над сбором данных.



Рисунок 6 – пример оптического 3D-сканера

Каждый из типов 3D-сканеров перечисленных выше подходит к той или иной ситуации и используется в основном для разных типов работ. Если рассматривать работу с местностью и крупными сценами, идеальным вариантом станет лазерно-дальномерное сканирование, если объект крупный и должен быть максимально качественно проработан и сохранен в сжатом виде, универсальным способом будет лазерные триангуляционные сканеры, а для маленьких объектов, для быстрого сканирования и без усиленной обработки, достаточно будет иметь в своём арсенале любой из оптических сканеров.

2.2.2 Рассмотрение программных решений

После сбора материала любым из методов сканирования, становится вопрос о сборке конечного объекта для реконструкции. Если рассматривать в качестве основного метода 3D-сканирование объектов, у каждого комплекса в комплекте идёт профильное программное обеспечение, без которого не будет

работать аппаратная система устройства, с помощью которой будет удобнее всего взаимодействовать с устройством. В подобных программных комплексах нет большого количества функций, которые нужны для детальной обработки объекта, но есть самые необходимые функции, способные в конечном итоге передать на выход готовый 3D-объект с конечной структурой и бесшовной текстурой.

С методом фотограмметрии куда сложнее, поскольку эта методика является универсальной. Обилие профессионального и любительского программного обеспечения свидетельствует о том, что технология используется как на профессиональном уровне сбора данных, так и на примитивно пользовательском.

После сбора данных, следующим этапом работы является сборка объекта в формате .stl для дальнейшей работы с объектом.

В качестве программного обеспечения для работы с изображениями, для сборки – были выявлены несколько программных продуктов: MeshLab, Autodesk Recap, Zephyr 3D, Agisoft MetaShape, Reality Capture и Meshrooms.

Эти программные продукты являются лидерами в своей области, поэтому их признано считать лучшими за их функциональную особенность и качество обработки изображения. Каждая из этих программ выполняя свою функциональную роль в проектах добиваются высоких результатов за счёт алгоритмов работы. С этим считается публика, что говорит нам о том, что в большинстве подобных программ есть некоторые нюансы, которые отталкивают конечного потребителя. Художники и антропологи, считают необходимым использование подобных программ в своей работе, поскольку это автоматизирует их работу и упрощает процесс считывания показателей модели.

Представленная таблица спецификаций, показывает проведённый анализ-сравнение между программами лидерами сферы 3D-моделирования и данных продуктов, что говорит нам о лидере для дальнейшего использования в исследовании множества проектов по компьютерной реконструкции моделей:

Таблица №1 – Анализ сред для фотограмметрии (сбор данных)

Название	Стоимость	Описание	Скорость	Качество результата
MeshLab	\$120/год	Прикладное программное обеспечение. Профессиональное ПО.	Быстрая	Среднее качество обработки. Множество пробелов.
Autodesk Recap	\$340/год	Облачная обработка изображений. Профессиональное ПО.	Быстрая	Среднее качество обработки. Множество пробелов.
Zephyr 3D	Условно бесплатно	Прикладное программное обеспечение. Любительское ПО.	Средняя	Низкое качество. Большое количество пробелов
Agisoft MetaShape	\$ 179	Прикладное программное обеспечение Профессиональное ПО.	Средняя	Высокое качество. Минимальное количество пробелов.
Meshrooms	Условно бесплатно	Прикладное программное обеспечение. Любительское ПО.	Медленная	Низкое качество. Большое количество пробелов
Reality Capture	Условно бесплатно	Прикладное программное обеспечение. Любительское ПО.	Медленная	Низкое качество. Большое количество пробелов

Исходя из данной спецификации, мы приходим к выводу что лучшее программное обеспечение для выполнение нашей задачи, является Agisoft MetaShape, поскольку из всех заявленных решений считается универсальным

инструментом, имеет компромиссную цену и достаточно богатые функциональные возможности.

Помимо программного обеспечения для сбора данных для выполнения поставленной задачи нам понадобится программы для обработки и представления данных.

В качестве программ для обработки данных 3D-объекта имеется ввиду профессиональное программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации и визуализации. В том числе возможно использование систем автоматизированного проектирования. Отличительной чертой выбираемого обеспечения, является наличие функции виртуального скульптора из комплекта поставляемых модулей, поскольку предполагается что представленный объект обязательно должен проходить этап восстановления для дальнейшей реконструкции.

При поиске программ обработки были выявлены и представлены несколько претендентов на роль основной: Blender, Cinema 4D, Autodesk Maya, Autodesk 3DsMax, Tinker CAD.

В таблице №2, представлена сравнительная характеристика между перечисленными программными продуктами, в качестве плюсов и минусов сервисов.

Таблица №2 – Анализ сред 3D-моделирования и скульптинга (обработка)

Название	Плюсы	Минусы
1	2	3
Tinker CAD	Не нужно скачивать отдельными программами; Бесплатное пользование; Поддерживает 3D-принтер; Поддержка основных геометрических групп объектов; Проста в освоение.	Небольшой функционал. Нет работает в оффлайн-режиме; Слабая палитра и рендер.

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Blender	<p>Бесплатная программа;</p> <p>Рендеринг реалистичен;</p> <p>Большой функционал;</p> <p>Простой интерфейс;</p> <p>Возможность создания спецэффектов VFX;</p> <p>Возможность добавления плагинов.</p>	<p>Недостаточная проработка деталей кожного покрова или одежды персонажей;</p> <p>Частые обновления, не успеваешь выработать паттерн привыкания к интерфейсу и системе.</p>
ZBrush	<p>Наличие детализированного скульптинга;</p> <p>Создание собственных кистей;</p> <p>Большое количество кистей, что позволяет прорабатывать самые мелкие участки кожного покрова.</p>	<p>Завышенная стоимость;</p> <p>Не подходит для новичков.</p>
Autodesk Maya; Autodesk 3Ds Max	<p>Профессиональный функционал анимации;</p> <p>Повышенная скорость работы;</p> <p>Повышенный функционал в скульптинге;</p> <p>Возможность поддерживать самые популярные мультимедийные форматы.</p>	<p>30-ти дневная пробная версия программы;</p> <p>Высокий уровень системных требований.</p>
Torogun	<p>Простота использования;</p> <p>Большое количество обучающего материала;</p> <p>Общие инструменты анимации;</p> <p>Отличный инструмент для построения ретопологии объектов;</p> <p>Настраиваемые рабочие пространства;</p> <p>3D моделирование, текстурирование, скульптинг и эффекты.</p>	<p>Высокая цена на профессиональный пакет.</p>

Из перечисленного программного обеспечения для визуализации и скульптинга можно выделить несколько программ, которые понадобятся в качестве основных для работы. Если говорить конкретно про виртуальную скульптуру и лепку, которая нам понадобится конкретно на этапе реконструкции модели, нельзя не брать во внимание специализированный программный пакет Zbrush от компании Pixologic. Процесс моделирования сведен к лепке виртуальной глиной, позволяя пользователю максимально уделить внимание деталям и проработке отдельных элементов, что как никогда кстати потребуются в моменте реконструкции модели относительно её исходных данных.

Помимо реконструкции модели, нужно проработать с сеткой, выровнять и разгладить, убрать лишние детали и оптимизировать количество точек, для дальнейшей работы. В данном случае отличными инструментами у нас выступают Maya или её бесплатный аналог Blender, или более профессиональный инструмент для моделирования 3Ds Max от компании Autodesk и уже его аналог для ретопологии Torogun. Если рассматривать их в отдельном сравнении, 3Ds Max является лидером с небольшим отрывом, поскольку из коробки в него встроены полезные модификаторы, автоматизирующие и упрощающие работы с ретопологией и сеткой модели.

Torogun является аналогом 3Ds Max, но с более низкой ценой, касающейся только его основных модулей. За дополнительные модули следует заплатить хорошую цену.

Основными инструментами на этапе обработки данных у нас становятся Zbrush и Torogun.

На этапе представления модели, в качестве конечного результата, для работы с человекоподобными моделями, а также финального рендеринга, шаблонизации, пост-обработки и возможно анимации, в работе выделены несколько инструментов, а именно: MakeHuman, Daz 3D, Poser, IClone7, Unity, Unreal Engine 4 (MetaHuman creator).

Инструменты попавшие в этот список являются абсолютно разными, даже в качестве категорий инструментов, одни представляют из себя самостоятельное крупное приложение работы с гуманоидными персонажами, с своей структурой, модификаторами и анимацией (MakeHuman, Daz 3D, Poser, IClone7), в свою очередь так же делящиеся на шаблонные модели или детальную работу с ретопологией, другие представляют из себя инструменты для работы с окружением в целом, но имеют на своём борту очень мощные и интересные инструменты для автоматизации построения шаблонов персонажей и подгонки под определённые условия внешности (Unity, Unreal Engine 4 (MetaHuman)).

В таблице 3 показана сравнительная характеристика похожих свойств инструментов, для выявления наиболее подходящего для нашего случая.

Таблица №3 – Анализ сред для представления объекта (визуализация объекта)

Название	Плюсы	Минусы
1	2	3
MakeHuman	Самостоятельное приложение шаблонизатор; Простая в освоение и интуитивно понятная;	Шаблонные модели получаются не естественными; Работа идёт по заготовленным шаблонам;
Daz 3D	Самостоятельное приложение для создания и редактирования 3D-моделей; Существует пользовательский редактор моделей;	Сложный в освоение редактор; Каждый модуль покупается отдельно от основного состава системы;
Poser	Самостоятельное приложение шаблонизатор; Имеет большую базу готовых объектов; Простая в освоение и интуитивно понятная; Бесплатная программа.	Шаблонные модели получаются не естественными; Нет пользовательской кастомизации.

Продолжение таблицы 3

1	2	3
IClone7	<p>Самостоятельное приложение для создания и редактирования 3D-моделей;</p> <p>Имеет большую базу готовых объектов;</p> <p>Присутствует функционал анимации;</p> <p>Существует пользовательский редактор моделей;</p>	Сложный в освоение редактор;
Unity	<p>Игровой движок, в состав которого входят модули для создания и редактирования персонажей;</p> <p>Имеет большую базу готовых объектов в Unity Asset Store;</p> <p>Простая в освоение и интуитивно понятная;</p> <p>Имеет множество обучающих уроков.</p>	<p>Нет пользовательской кастомизации из коробки, работа идёт по заготовленным шаблонам;</p> <p>Не является полноценной программой для редактирования объектов;</p>
Unreal Engine 4 (MetaHuman)	<p>Игровой движок, в состав которого входят модули для создания и редактирования персонажей (MetaHuman – это веб-сервис для создания и редактирования игровых объектов на сцене, отличный шаблонизатор);</p> <p>Имеет большую базу готовых объектов в Unreal Engine Marketplace;</p> <p>Имеет множество обучающих уроков;</p> <p>Полноценный модуль разработки;</p>	Нет пользовательской кастомизации из коробки, работа идёт по заготовленным шаблонам;

В целом, каждый из этих модулей может в той или иной степени справиться с поставленной задачей, но важнейшими критериями для выполнения является возможность пользовательского редактирования моделей, шаблонизация под уже готовые черты лица, интуитивно понятный интерфейс и автоматическая сборка объектов в проект для дальнейшего экспорта. В большинстве случаев, самостоятельные программы, имеющие весь необходимый функционал, с полного нуля, воссоздать геометрически верную модель головы с последующим текстурированием – одержали бы безоговорочную победу над модулями в игровых движках. Но, поскольку важным аспектом является автоматизация и скорость выполнения работы, предпочтение выпало именно дополнительному сервису MetaHuman creator на базе игрового движка Unreal Engine 4.

2.3 Характеристика выбранного программно-аппаратного обеспечения

Для закрепления полученного вывода, переходим к созданию пробного объекта в Agisoft MetaShape, Zbrush и MetaHuman.

Начиная с Agisoft MetaShape, в описание к программе идёт подробная инструкция по эксплуатации, на английском языке. Большинство программных вкладок и функций интуитивно понятные, найти любую из представленных возможностей не составляет труда.

Agisoft Metashape Professional — это передовое программное обеспечение для создания геопривязанных ортофотопланов, цифровых моделей рельефа/местности и текстурированных 3D-моделей. Для анализа и обработки исходных изображений ПО использует технологии компьютерного зрения и машинного обучения, что обеспечивает высокое качество получаемых материалов.

С помощью Agisoft Metashape можно преобразовать данные, получаемые с помощью RGB- или мультиспектральных камер, а также мультикамерных систем. Программа включает в себя широкий набор инструментов, который

позволяет удалять тени и искажения текстур с поверхности моделей, рассчитывать вегетационные индексы и составлять файлы предписаний для агротехнических мероприятий, автоматически классифицировать плотные облака точек и т. д.

В программном обеспечении предусмотрена возможность хранения и обработки проектов в облаке.

С помощью Agisoft реализован самый масштабный в мире проект по сохранению исторического памятника. Геоскан провёл съёмку 20км Пальмиры, и на основе 55 тыс. снимков с точностью 3 см создал 3D-модель с 55 млн граней. Такая детализация позволит в будущем восстановить объект всемирного наследия.

В самом начале работы с программным продуктом, мы загружаем библиотеку исходных изображений. После, нам нужно сделать и обработать промежуточное облако опорных точек, оно позволяет нам собрать изображение в конкретный объект. После чего наше изображение переходит в вид конечного объёмного предмета. Не стоит забывать, что в качестве входных данных идут фотографии объекта, поэтому полученную сетку с объектом необходимо сравнить с бесшовно склеенной картой текстуры. Если полученные промежуточные данные схожи с начальными, алгоритм обработки через облако точек отработал верно, иначе стоит перезапустить расчёт и нахождение точек в пространстве. Основным алгоритмом работы программы является нейронная сеть, которая со временем уменьшает погрешности в расчётах, тем самым убирая лишние точки на сцене и оставляя нужные на своих местах. Есть ручной режим промежуточной чистки точек, до сбора их в общий массив. Взаимодействовать возможно с каждой точкой в отдельности, что упрощает работу с построением самостоятельного облака точек объекта. Если в конечном счёте результат работы удовлетворяет потребностям пользователя, происходит увеличение количества точек и переход к следующему этапу работы.

Следующим этапом работы идёт сборка информации о текущем положении текстуры объекта. Если для пользователя принципиально важно, чтобы каждый миллиметр текстуры лежал в определённой точке на карте развёртки, возможна функция ручного перемещения собранной текстуры, для дальнейшего перемещения объекта в архив (рис. 7).

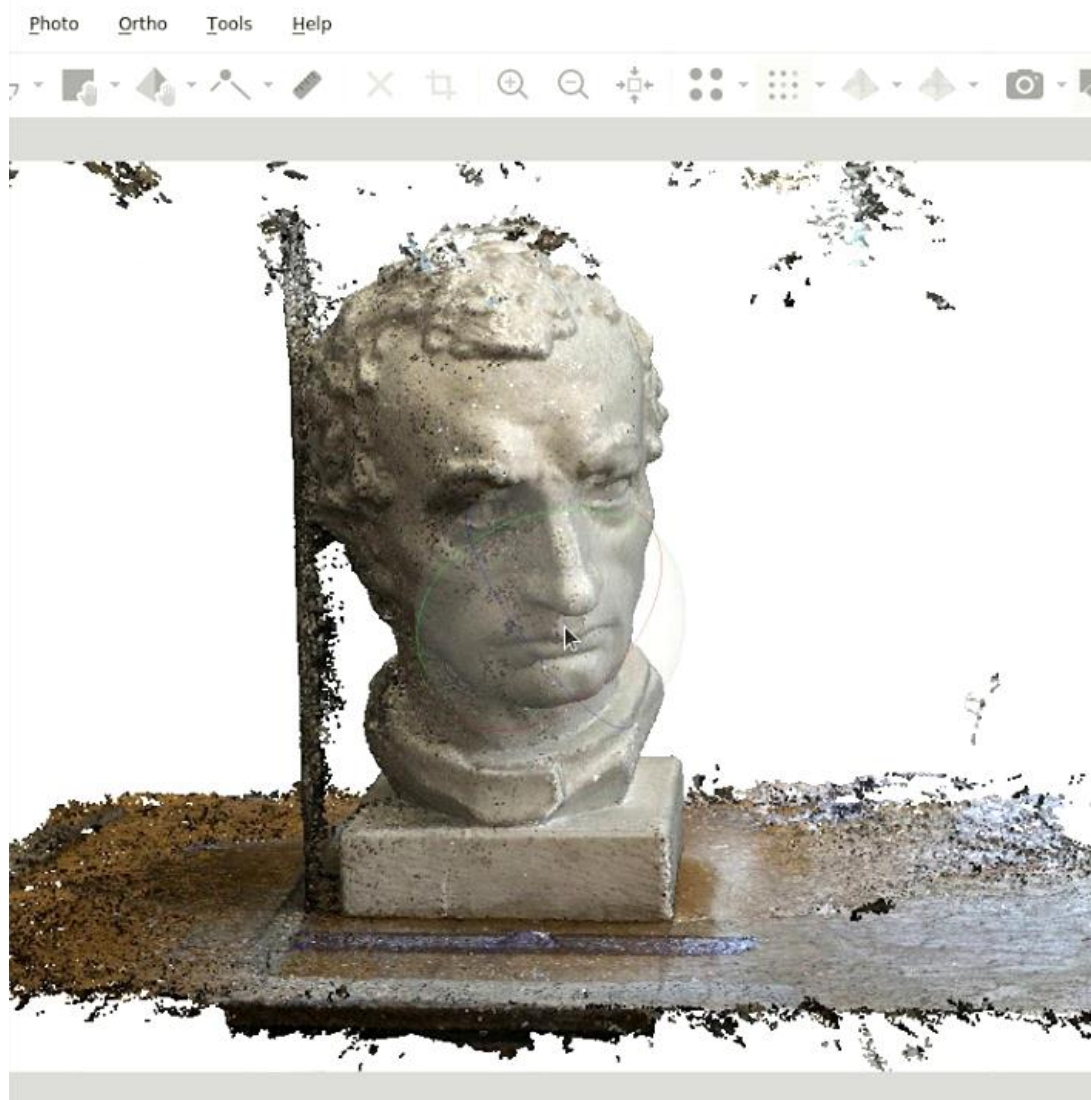


Рисунок 7 – промежуточный результат работы с объектом

Перед финальным этапом работы происходит удаление пробелов с изображения. Эти пробелы мешают алгоритму для конечного продукта произвести сшивку по текстуре.

Итогом работы программного обеспечения в данном случае будет файл с объектом и текстурой в формате .STL, этот формат универсально подходит

для импорта в большинство из программных продуктов для дальнейшей обработки модели.

После получения изображение проходим финальный этап обработки мелких деталей с помощью любого Mesh-редактора и получаем финальный объект для скульптинга (рис. 8). Промежуточный этап подготовки модели – окончен.



Рисунок 8 – конечная модель реконструкции

После получения начального объекта, необходимо произвести обработку с помощью программы Zbrush.

В разработке этой программы участвовали лучшие специалисты запада компании Pixologic. Главной отличительной особенностью Zbrush является возможность симуляции лепки 3D-объектов.

Скульптуры можно не только лепить и придавать им нужный оттенок, но и придавать им желаемую сетку. Практически в каждой точке содержится та или иная информация о координатах осей X–Y–Z, а также материала персонажа.

ZBrush является одним из мощнейших инструментом для скульпторов, с помощью которого можно не только создать объект персонажа, но и отредак-

тировать объекты сцены и вообще 3D-графику. Для скульптинга цифровой глиной важно смотреть на объекты относительно цифровой глины.

Текстуры и материала, нанесение сетки осуществляется с помощью кисти. Присутствует большое количество преимуществ:

- Моментальной интеграции с профессиональным пакетом модульной графики;
- Широкий выбор кистей;
- Возможность создания собственных альф на основе рисунка;
- Работа с текстурой;
- Клонирование создаваемых объектов.
- Включить силуэт либо показать текстуру модели;
- Оживлять готовую скульптуру с помощью;

Кадр интерфейса с примером модели в Zbrush показан на рисунке 9.

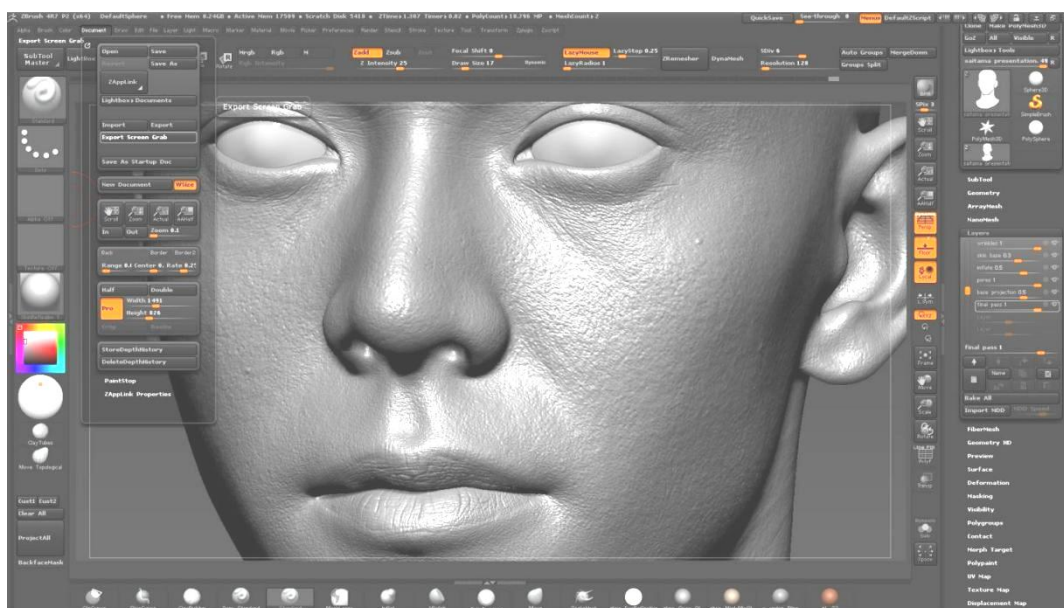


Рисунок 9 – пример работы модели в Zbrush

Заключительным этапом работы будет разработка представления объекта с помощью MetaHuman Creator.

Компания EpicGamesStudio выпустила готовый инструмент MetaHuman, с помощью которого можно создавать реалистичных персонажей с поддерж-

кой лицевой анимацией и функциями face-tracker (поддержка симуляции лицевой анимации с видеопотока в реальном времени).

Работать в нем могут все – от профессиональных художников, до обычные рядовые пользователи. С MetaHuman можно проще и быстрее получить такой же результат, как после работы в сложных 3D системах автоматизированного проектирования.

Инструмент возможно использовать в сочетании с современными технологиями захвата движения и анимации для создания реалистичных сцен в играх, фильмах, на телевидении и прочих подобных форматах, при помощи всесторонних шин с подключением к функционалу веб-сервиса. MetaHuman даёт возможность сделать персонажам уникальные черты лица и мимику, одеть своего персонажа в любое из доступных образов одежды. Посмотреть на объекты в режиме реального времени можно также в обычном браузере, поскольку MetaHuman Creator выполнен в качестве веб-сервиса, что удобно сказывается на портативности модели (рис. 10).



Рисунок 10 – пример работы в MetaHuman Creator

3 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

3.1 Основные этапы практической разработки

Для программного решения существующих задач, было выявлено несколько этапов работы:

- Этап получения модели;
- Этап исследования полученной модели;
- Реконструкции модели черепа;
- Просчёт модели по различным методикам;
- Реконструкция модели с помощью программных продуктов.

Описание каждого этапа работы было описано выше, но говоря о каждом этапе работы отдельно, следует рассказать об последовательности алгоритмов действий.

На рисунке 11 показана универсальная схема алгоритма работы над проектом. Схема не привязана к определенным условиям поиска или к определённому объекту исследования, поэтому может быть использована в различных, подходящих по цели выполнения и задач, проектах.

В самом начале работы над проектом исследования, первостепенной задачей является сбор данных о предметной области исследования. Как было описано выше, коренные жители Приамурья были малыми народами севера: нанайцами, ульчами, нивхами, эвенками. Первый уровень является закономерно условным и предназначен для сбора информации.

Эвенки - единственный на данный момент коренной народ Приамурья, который продолжает жить в области и по сей день.

В Амурской области малые народы севера проживают на территории Селемджинского района: п.Улгэн или Ивановское; Зейского: п.Бомнак; Тындинского: п. Первомайское; Константиновского района: с. Константиновка.

Этапы поиска объекта для исследования и изучение объекта, представляют из себя работу по исследованию предметной области и поиску физического объекта для дальнейшей реконструкции.

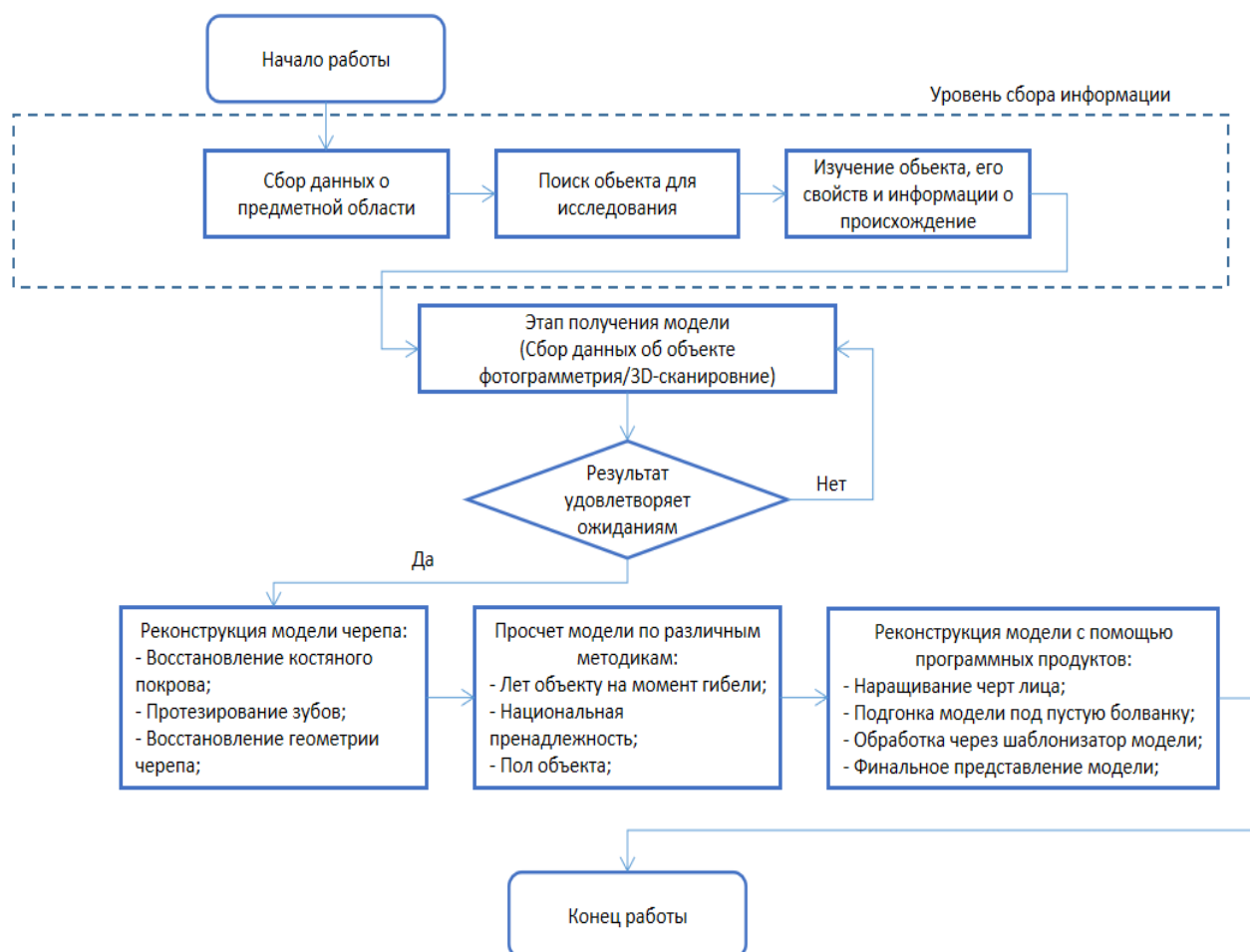


Рисунок 11 – алгоритм работы над проектом

3.1.1 Этап получения модели

На этапе получения моделей производится сбор и первоначальный анализ объектов реконструкции.

За основную модель реконструкции – были выделены некоторые аспекты, а именно:

- Реконструкция должна быть выполнена с помощью двух методов сбора данных (фотограмметрия и сканирование) для выявления лучшего метода, для дальнейшей работы с объектами;
- Реконструкция должна производиться в разном программном обес-

печение, для проверки методов моделирования и сравнения финального результата;

– Объектами реконструкции должны быть разные личности (по половой принадлежности), для сравнения признаков и выявления погрешностей в измерениях.

Объектами реконструкции были выбраны исходные данные одного человека (рис. 12). Останки объекта были предоставлены ГАУ Центром по сохранению историко-культурного наследия Амурской области.

В силу особенностей почвы дальнего востока, подобного рода объекты считаются редкими, в частности из-за наличия нижней челюсти. Изучив строение различных типов почв и их свойств, можно исключить множество ошибок на этапе раскопок. Реакция ощутимо сдвинута в кислую сторону. Поэтому большинство останков в следствие времени, проведённого в земле, успело разложиться, что значительно затрудняет их дальнейшую реконструкцию. В данном случае, раскопки проводились командой археологов и антропологов в начале 2000-х. Состав команды неизвестен, учёные археологи проводившие исследования конкретного экземпляра давно вышли на пенсию или сменили постоянное место жительства в пользу крупных городов. Но все же, некоторая информация об объекте была доступна из ссылочных документальных источников.

Раскопки проводились на территории Константиновского района, в историческом заповеднике.

По предварительным данным, объект пришёл на территорию в начала 20 века. Объект долгое время хранился в почве по условиям загрязнения и осадков, но достаточно хорошо сохранился, что свидетельствует о том, что на месте, где находился объект произошло раскисление участка почвы, не характерного свойства для почвы дальнего востока.

Объект является женского пола, женщина средних лет. Это будет доказано чуть ниже.



Рисунок 12– молодая женщина (Маньчжуры)

Поскольку, исходные данные, предоставленные центром – остались практически в том виде, как и попали в почву, данные считаются полными – для метода реконструкции по Михаилу Герасимову:

- Наличие хотя бы половины центральной части черепа;
- Наличие височной доли;
- Наличие нижней челюсти.

Изучив историю и место примерных раскопок подобных останков – следует предположить, что нахождение останков произошло в вредней полосе Константиновского района, поскольку именно на этой территории сохраняется большое скопление территорий туристических и исторических заповедников.

При проведении этапа сбора данных, было использовано два метода сбора: фотограмметрия и метод сканирования 3D-объектов с помощью оптического сканера.

Для проведения этапа сбора данных методом фотограмметрии потребовалось оборудование в виде:

Таблица №4 – Оборудование для предметной съёмки

№	Название	Количество (шт.)
1.	Стойка Manfrotto Mini Compact 1051BAC	3
2.	Фотоаппарат Nikon D5600 Kit AF-P 18-55mm f/3.5-5.6 VR, черный	3
3.	Sanoto, Фотобокс для предметной съёмки K40 LED	1

Съёмка проводилась в несколько этапов работы:

- Предметная съёмка в лицевой проекции;
- Предметная съёмка в боковой проекции;
- Предметная съёмка в осевой проекции (бока) (рис. 13);
- Предметная съёмка в оси перспективы;
- Предметная съёмка отдельных элементов (разборных частей – череп, челюсть (рис. 14)).

Количество кадров для получения объекта при фотограмметрии примерно 90 на одну проекцию. Размеры полученного черепа равны: 31 см длина черепа, ширина черепа 28 см, высота 45 см.

Размеры черепа говорят нам о том, что женщина была молодого возраста, между 25- 35 лет.

Основной результат, получившийся в ходе работы, представляет из себя изображения объектов для дальнейшей работы с ними.



Рисунок 13– боковая проекция черепа (женщина)



Рисунок 14 – нижняя челюсть (женщина)

В дальнейшем, изображения будут импортированы в системы автоматизированного сбора и проектирования объектов, и собраны в общую модель.

Рассмотрим сбор данных методом 3D-Сканирования.

Для сканирования объектов использовался ручной сканер Sense 2 фирмы 3D systems (рис. 15).



Рисунок 15 – 3D-сканер 3D systems Sense 2

По заявленным характеристикам, сканер делает 100 тыс. точек в секунду, что обеспечит хорошее качество картинки. У сканера есть собственное программное обеспечение, которое идёт вместе с продуктом. Это упростит сбор данных и обеспечит целостность собранного файла в формате .stl).

На рисунке 16 представлен экземпляр примера сканированного объекта. В случае с любительскими сканерами, подобно описанному в данной работе, объекты получаются с большим процентом погрешностей и ошибок, что говорит нам о несовершенности метода сбора данных. Текстура получается расплывчатой, а на выходе изображение теряет в качестве, но не теряет в весе из-за количества собранных точек. Оптическое сканирование – не является прагматичным методом сканирования 3D-объектов.



Рисунок 16 – пример использования ПО 3D Sense 2.

После сканирования объекта происходит сшивка текстуры с дальнейшим разбором карт нормалей, экспортируется изображение накладываемой текстуры, карта объекта и заполнение пустот.

Проводим сканирование исследуемого объекта (рис. 17)

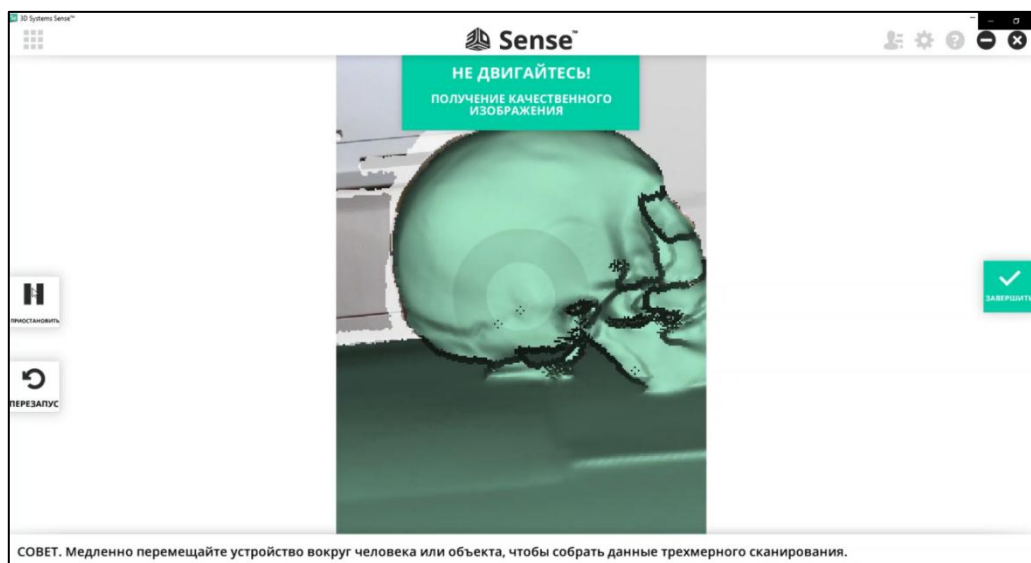


Рисунок 17 – сканирование черепа с использованием ПО 3D Sense 2.

За этапом сбора материала методом фотограмметрии, становится вопрос о сборке конечного объекта для реконструкции. Следующим этапом работы является сборка объекта в формате .stl для дальнейшей работы с объектом.

В качестве программного обеспечения для работы с изображениями, для сборки – были выявлены подходящий программный продукт: Agisoft MetaShape.

Этот программный продукт является лидером в своей области, поэтому его признано считать лучшим за его функциональную особенность и качество обработки изображения.

Переходим к созданию объекта в Agisoft MetaShape.

В самом начале работы с программным продуктом, мы загружаем библиотеку исходных изображений.

После чего, нам нужно сделать и обработать промежуточное облако опорных точек – оно позволяет нам собрать изображение в конкретный объект. После чего наше изображение переходит в вид конечного объёмного предмета.

Пред финальным этапом работы – является удаление пробелов с изображения. Эти пробелы мешают алгоритму для конечного продукта произвести сшивку по текстуре (рис.18).

Финальная обработка и текстурированные объекта. Исходным объектом в данном случае будет файл с объектом и текстурой в формате .stl .

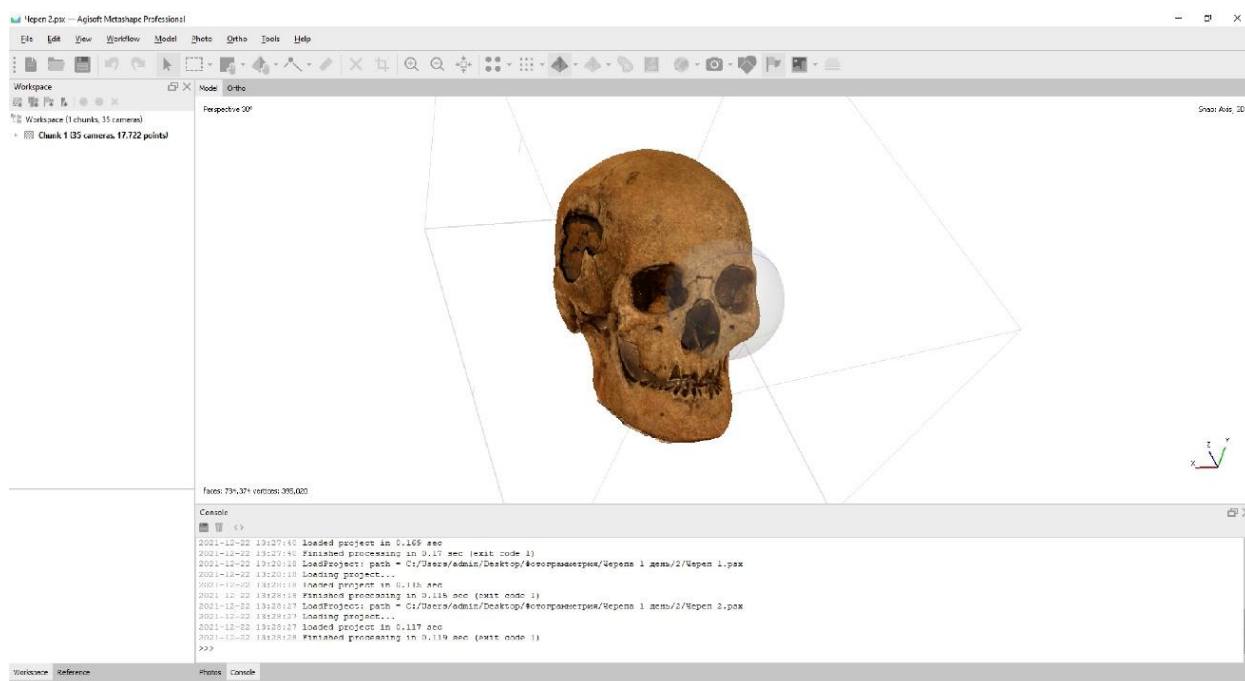


Рисунок 18 – промежуточный результат работы с объектом

После получения изображение проходим финальный этап обработки мелких деталей с помощью любого mesh-редактора и получаем финальный

объект для скульптинга (рис. 19). Промежуточный этап подготовки модели –
окончен.

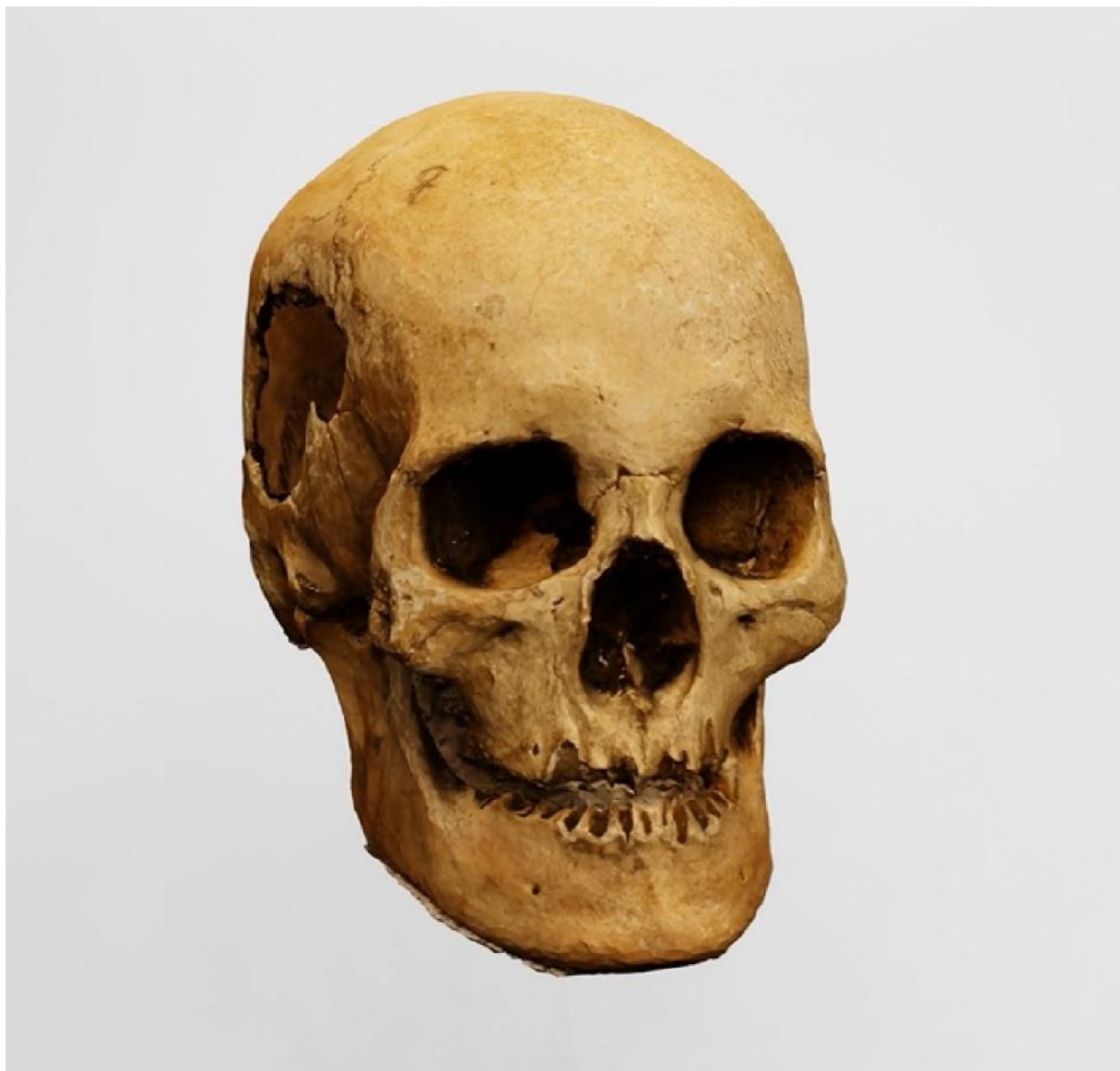


Рисунок 19 – конечная модель реконструкции черепа (женщина) методом фотограмметрии.

Для сравнения обоих методов сканирование было сделано несколько скриншотов промежуточных результатов, всего промежуточных результатов было в каждом из способов по 10 шт. Сравнения результатов работы обоих методов представлены на рисунке 20. Очевидно, что лучше всего справился метод фотограмметрии, поскольку сшивка текстуры произошла бесшовно,

объект получился комплексно законченным и подготовленным к дальнейшей обработке. Текстура потеряла в цвете, и качестве.



Рисунок 20 – конечная модель реконструкции черепа (женщина) методом фотограмметрии (слева) и методом оптического сканирования(справа).

В результате обоих процессов сбора данных, было установлено что в конкретно нашем случае, лучше всего справился метод фотограмметрии, поскольку объект получился комплексно законченным, с заявленными и практически не уступает оригиналу. В тот же момент, в силу особенностей конкретно нашего случая аппаратного обеспечения метода 3D-сканирования, метод показал существенное количество изъянов и проблем с правильным и точным расположением точек по всему Mesh-объекту, и построением UV-развёртки для дальнейшей работы с объектом.

3.1.2 Этап исследования полученной модели

Процесс исследования полученной модели на краниологической основе делится на следующие этапы работы: анализ черепа, графическая реконструкция, скульптурное воспроизведение схемы головы.

Первым этапом для рассмотрения является анализ черепа. В него входит большое количество этапов работы для точного исследования и на нем, как на основе, составляется примерный облик человека. Чем больше приведено ис-

следований на данном этапе работы, тем достовернее получается реконструкция объекта.

На данном этапе ставятся некоторые вопросы, а именно: как определить пол по останкам; какой возраст объекта исследования на момент гибели; принадлежность объекта исследования к той или иной этнической расе.

Для ответа на эти вопросы можно использовать методики Судебно-медицинская экспертиза костных останков.

У человека процесс окостенения черепа начинается с образования центра окостенения каждой кости, от которого постепенно в разные стороны разрастаются костные лучи [47].

Дополнительными признаками возраста служат: сроки срастания лобной и височной костей в 2–3 года, срастания частей затылочной кости к 4–6 годам, сращение шиловидного отростка с височной костью в 16 лет, зарастание основно-затылочного шва в 14–18 лет, срастание нижней челюсти, состоящей к моменту рождения из двух половинок, в 1–2 года [50].

Определение возраста на взрослых черепах осуществляется по степени стертости зубов и степени облитерации (зарастания) черепных швов (рис. 14).

Рост черепа заканчивается в 18–25 лет. После 20–30 лет, связи с большой индивидуальной вариабельностью процесса зарастания швов, зависимостью степени стертости зубов от многих внешних факторов точность определения возраста взрослых лежит в пределах десятилетия [53].

При определении возраста по степени стертости зубов следует, используя рис. 14, 2, установить стертости коронок всех сохранившихся моляров. Могут быть некоторые различия в степени стертости верхних и нижних моляров, что связано с более ранним прорезыванием зубов нижней челюсти. Предпочтение следует отдавать определению возраста по верхним молярам.

На рисунке 22 представлена схема облитерации черепных швов, на которой швы поделены на участки и обозначен возрастной интервал их зараста-

ния. Пользоваться схемой следует осторожно в связи со значительной индивидуальной вариативностью времени облитерации (рис. 21).

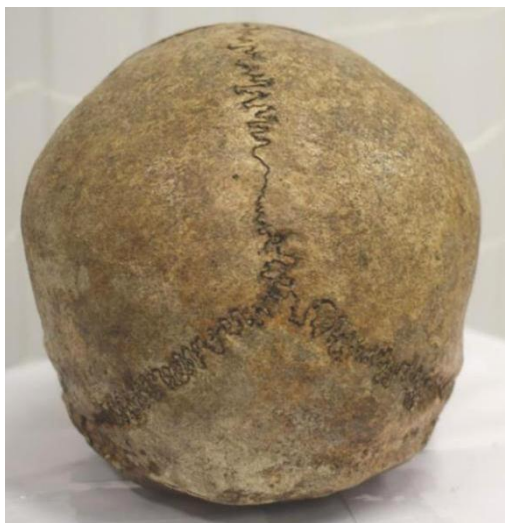
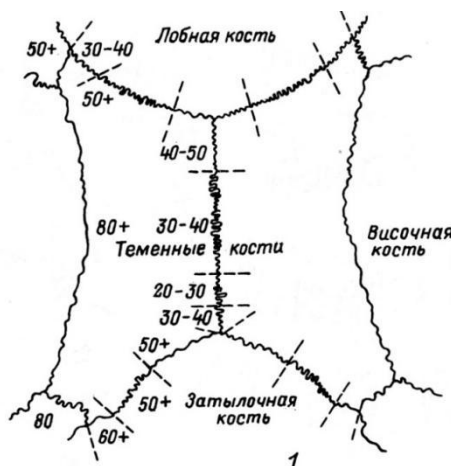


Рисунок 21 – затылочная часть объекта исследования



Возраст в годах	17-25			25-35			35-45			старше 45		
Номер моляра	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Степень стертости			Не прорезался							еще большая степень стертости		

2

Рисунок 22 – определение возраста по черепу. 1 — схема зарастания черепных швов с возрастом; 2 — схема для определения возраста по степени стертости зубов.

Определяя возраст объекта, необходимо учитывать и состояние костей посткраниального скелета, и его половую принадлежность.

Определение пола по черепу. Признаки половой принадлежности отчётливо выражены на зрелых, закончивших рост и развитие черепах, представлены в основном в возрасте от 18 до 50 лет (рис. 23-24).

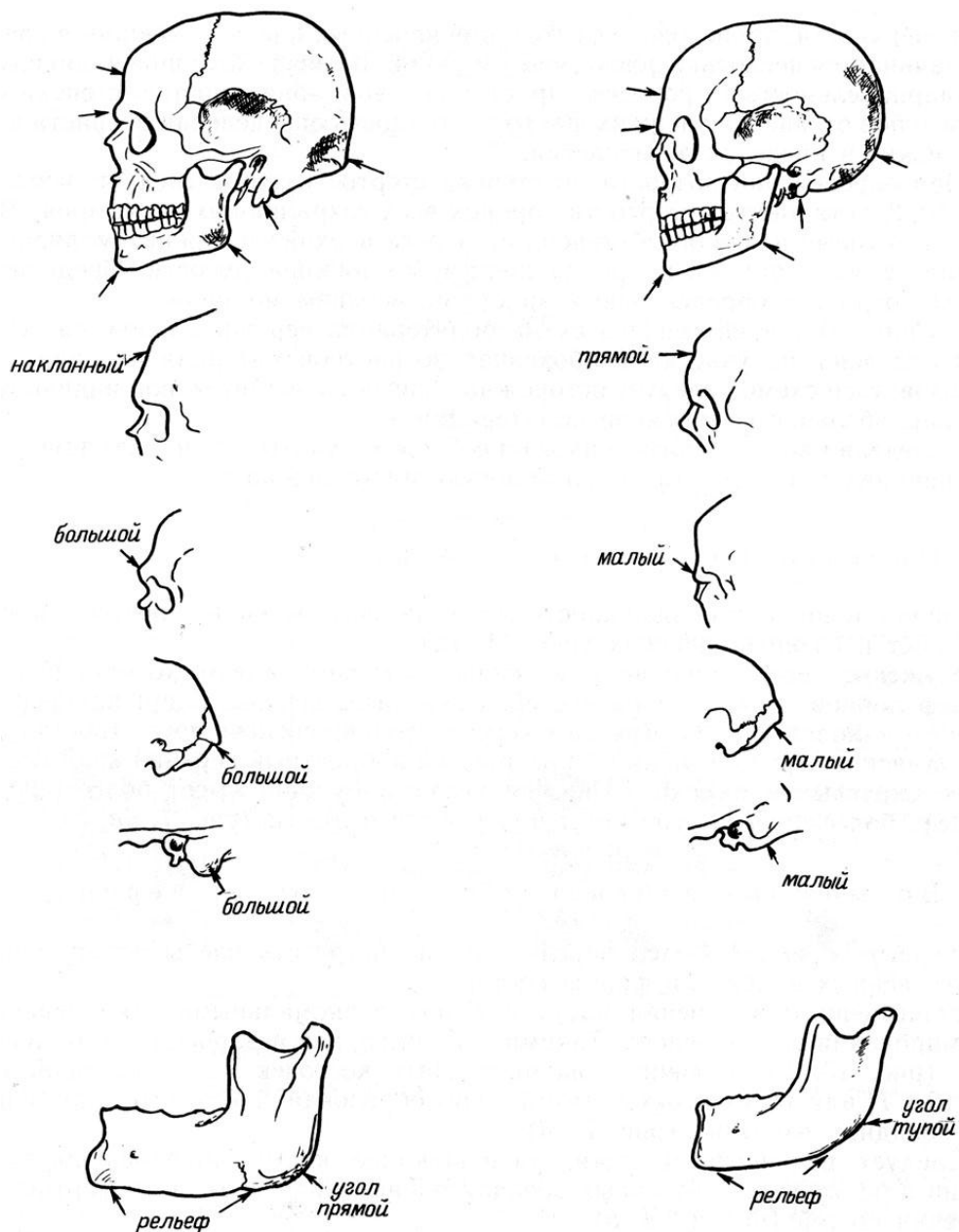


Рисунок 23 – признаки пола по черепу. Мужской череп слева, женский череп справа.

Большинство из представленных признаков говорят нам о том, что представленный череп, является черепом молодой женщины.

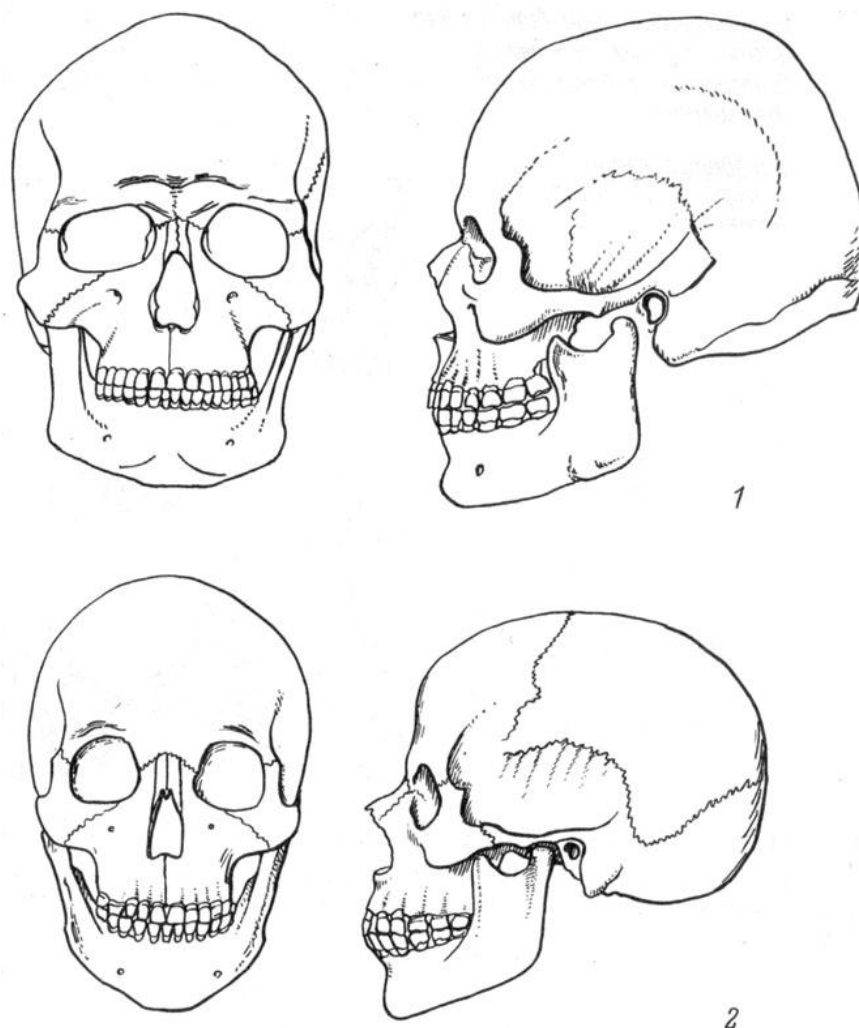


Рисунок 24 – Половые особенности мужского (1) и женского (2) черепов.

Скуловая дуга на мужских черепах толще, сосцевидные отростки крупнее. Женские черепа отличаются более прямым лбом, острым верхним краем глазниц, более округлых и высоких. Нижняя челюсть мужчин имеет более развитый рельеф, более прямой угол постановки ветви челюсти [55].

Монголоидный череп более мелкий в сравнении с другими видами расовой принадлежности, лицевая часть уплощена в сравнении с европейцами. Орбиты глаз высокие, а переносье неглубокое. Сильно развиты скуловые кости.

Монголоидный (тунгусский) носовой указатель небольшой. Малый и средний показатели равны 27-39, а большой – 31-43.

Исходя из исследования нашего объекта, было выяснено что объектом является девушка, монголоидной национальности, от 25 до 30 лет (рис. 25).



Рисунок 25 – перспектива(женщина)

3.1.3 Реконструкция модели черепа

На этапе реконструкции черепа, производится его частичное восстановление и подготовка к дальнейшему использованию.

Для восстановления черепа были выбраны несколько инструментов, Zbrush – для скульптинга модели и Topogun для ретопологии модели.

Главной отличительной особенностью Zbrush является возможность имитации процесса лепки 3D-объектов. Скульптуры можно не только лепить, но и придавать им желаемый оттенок. В каждой точке содержится информация о координатах XY, материале персонажа.

ZBrush является мощным инструментом для художников, с помощью которого можно не только создать персонаж, но и отредактировать трёхмерную графику. Для лепки объекта нужно воспользоваться цифровой глиной и специальными инструментами для моделирования скульптуры.

Модификация геометрии материала и текстуры осуществляется с помощью кисти. В программе присутствует большое количество подключаемых модулей по типу:

- Моментальной интеграции с профессиональным пакетом модульной графики;
- Широкий выбор кистей;
- Возможность создания собственных альф на основе рисунка;
- Работа с текстурой;
- Клонирование создаваемых объектов.

ZBrush функционирует аналогично программам рисования. Пользователи могут приближать изображения с целью близкого рассмотрения деталей, а также:

- Включить силуэт либо показать текстуру модели;
- Оживлять готовую скульптуру с помощью;
- Добавлять атмосферное окружение для персонажа;
- Экспортировать миниатюру в качестве изображения;
- Использовать альфа-канал текстуры для получения прозрачности.

Torogun – программа ретопологии, предназначена для построения низкополигональной модели по поверхности высокополигональной, отсканированной с помощью 3D сканера или созданной в среде Zbrush, Mudbox, и запекания текстур. Можно создавать новую сетку путем добавления вершин, либо рисуя топологию специальным инструментом прямо по hightpoly. Программа поддерживает формат .obj.

При помощи элементов скульптинга и ретопологии, была восстановлена в первоначальный вид внешности черепа. Результат восстановления черепа, восстановлена костная ткань, крепление нижней челюсти и прикус, можно увидеть на рисунке 26.



Рисунок 26 – результат восстановления костей черепа

Была восстановлена костная ткань черепа, так же была восстановлена структура нижней челюсти, добавлены капиллярные каналы и с протезированы зубы. К зубам добавлен эффект асимметрии, для более ярко выраженного эффекта живой картины объекта.

3.1.4 Просчёт модели по различным методикам

Следующим этапом работы идёт графическая реконструкция исследуемого объекта. На данном этапе работы - большая часть действий происходит по тому же принципу что и краниологический метод, происходит отрисовка в любом графическом редакторе примерный образ человека по показателям из метода - восстановление лица по черепу с использованием компьютерных технологий (Коровянский О.П., Хоркин А.Р.).

После получения виртуального объекта, происходит процесс анализа. Для того чтобы достоверно прогнозировать дальнейшее конструирование черт лица - используются узловые точки по всей лицевой части черепа, включая и

нижнюю челюсть тоже. Узловые точки представляют из себя столбики-маяки соответствующей высоты, толщиной около 5мм, которые расставляются в главных, соответствующих замерам М. М. Герасимова, точках.

В соответствии с индивидуальными анатомическими особенностями, моделируются глазные яблоки, рассчитывается разрез глаз, моделируются веки. Верхний контур уха равен по своей форме и своему положению, шву височной кости, к которому присоединяется височная мышца. Выставляется высота и контур, затем моделируется ухо[36].

Если необходимо, протезируются или имитируются зубы, для точного определения прикуса.

По данным графической реконструкции, выполненной в натуральном масштабе, моделируются губы. В дальнейшем идёт художественная обработка полученного образа, с учётом половых, возрастных, расовых и этнических особенностей. Схематический размер столбиков и расчет внешности изображен на рисунке 27.

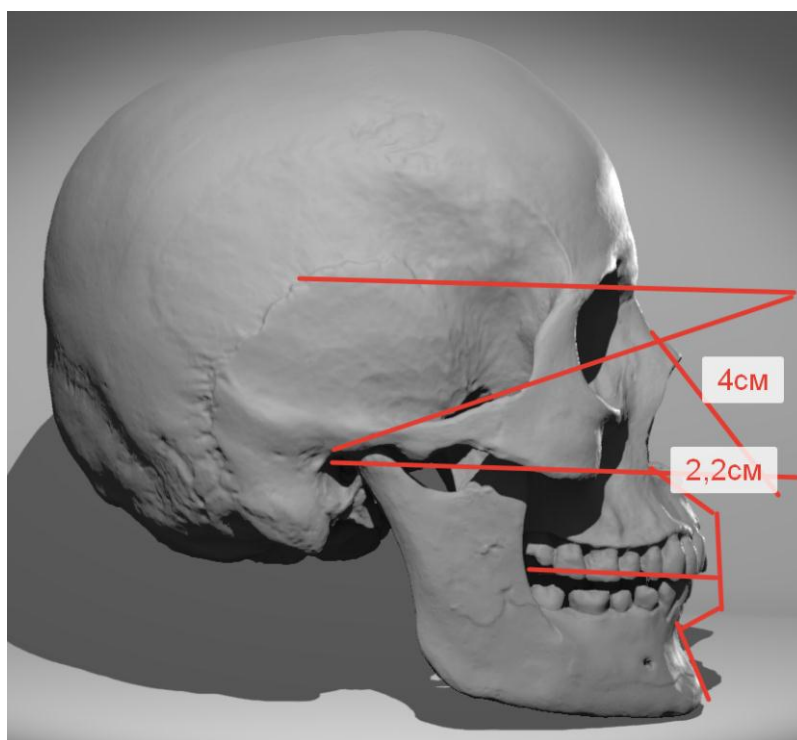


Рисунок 27 – схема для дальнейшей реконструкции по модифицированному методу М.М. Герасимова (Лебединская Г.В)

Подгонка под шаблон объекта для дальнейшей реконструкции происходит по двум осям, оси X и оси Y. Если контрольные точки объекта входят в заданный диапазон значений, происходит фиксация объекта на плоскости. Подгонка объекта происходит непосредственно в самом редакторе Zbrush. На рисунках 28 и 29 представлены скриншоты демонстрации результатов подгонки шаблонов.

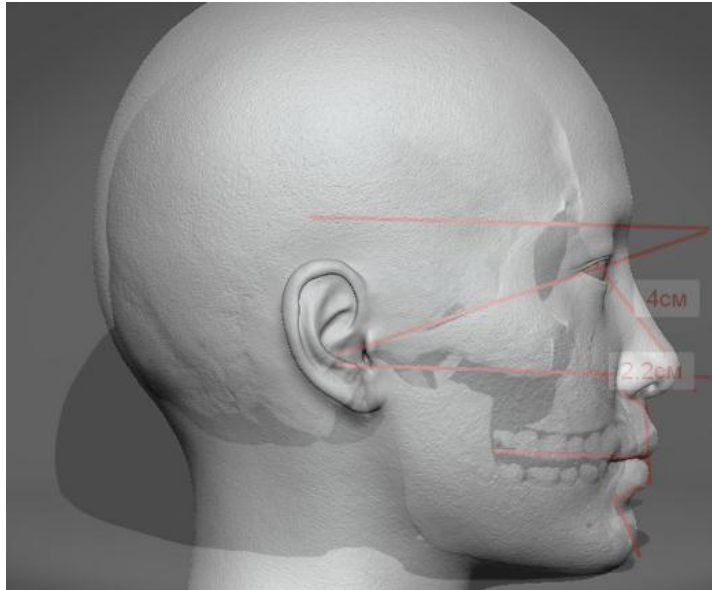


Рисунок 28 – подгонка болванки под значения по оси Y

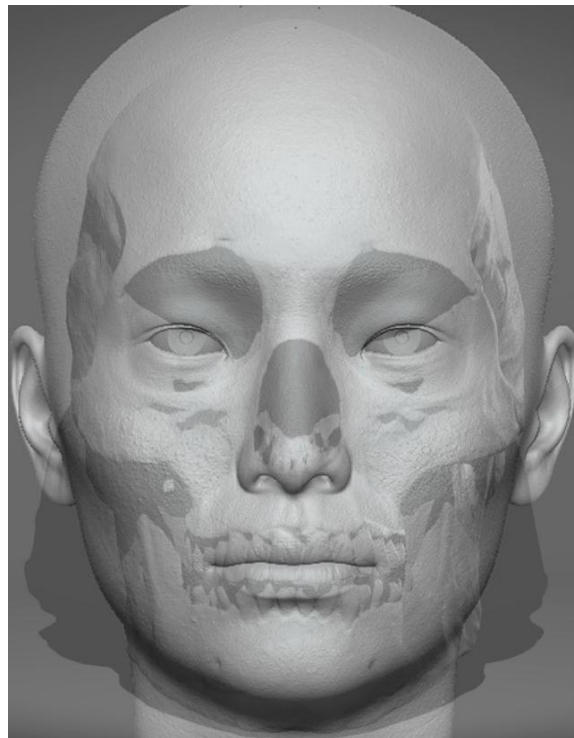


Рисунок 29 – подгонка болванки под значения по оси X

3.1.5 Реконструкция модели с помощью программных продуктов

Для дальнейшей работы была сделана на основе ретопологического слепка модель в Torogun. Модель до преобразования в среде Zbrush (рис. 30). Модель после ретопологии и преобразования в Torogun (рис. 31).

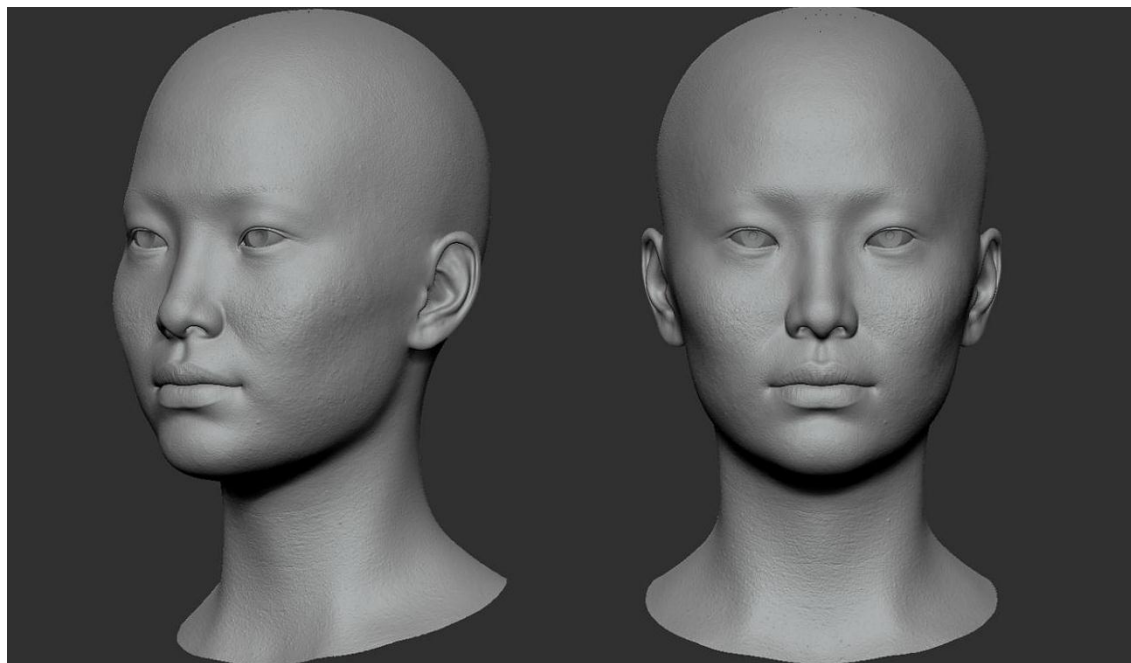


Рисунок 30 – модель до ретопологии

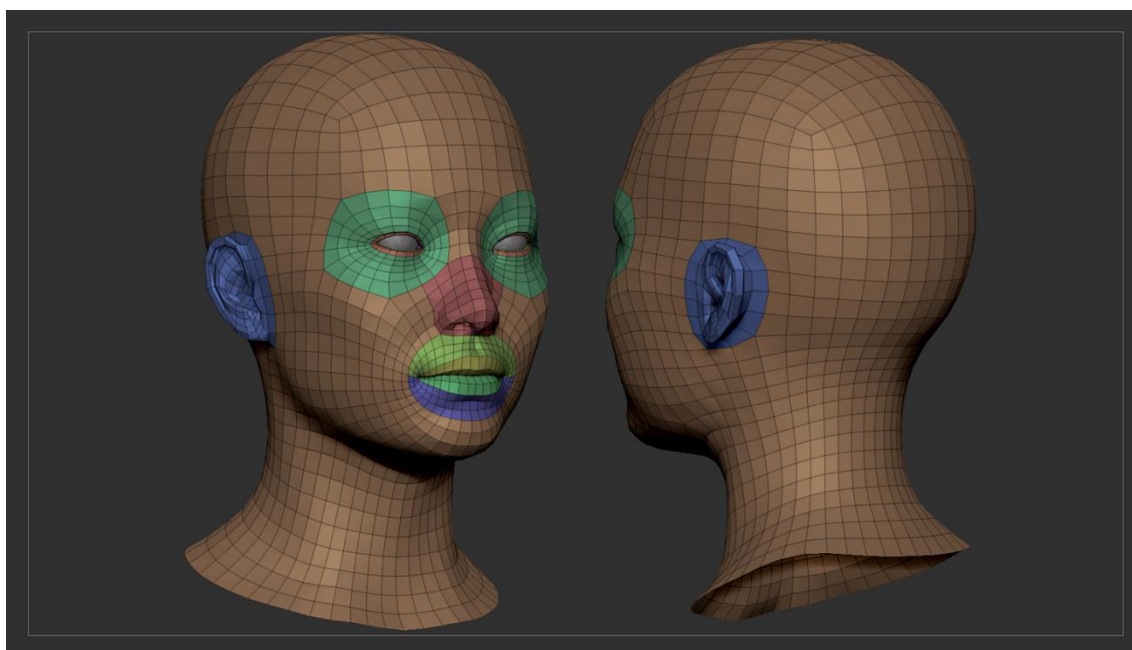


Рисунок 31 – модель после ретопологии

Ретопология модели обязательно нужна для дальнейшего переноса в системы шаблонизации модели, для проведения дальнейшей реконструкции.

Формируется сетка, относительно которой в дальнейшем будет сформирован каркас для сопутствующих элементов модели.

В ходе дальнейшей реконструкции для упрощения процессов нанесения мышечной структуры и производства конечного результата была выбрана уже используемая технология шаблонизации внешности из пакета игрового движка Unreal Engine 4, пакет шаблонов выполнены в качестве веб-сервиса с облачным рендерингом MetaHuman.

Компания EpicGamesStudio выпустила в ранний доступ инструмент MetaHuman. С помощью него можно создать реалистичного компьютерного человека с лицевой анимацией. Работать в нем могут не только профессиональные художники, но и обычные пользователи. С MetaHuman можно проще и быстрее получить такой же результат, как после работы в сложных 3D редакторах.

Лица, созданные при помощи MetaHuman, больше похожи на персонажей современных высокобюджетных видеоигр.

Для работы с инструментом нужно установить магазин EpicGamesStudio. Там вы скачиваете игровой движок – программу для создания игр – Unreal Engine версии не ниже 4.27.3 и само приложение MetaHuman.

На все установочные материалы понадобится 60 ГБ свободного места на устройстве. Чтобы установить все приложения, вам нужно зарегистрироваться на сайте Unreal Engine. Для этого понадобится только электронная почта, использование приложения в некоммерческих целях бесплатно.

Создавать персонажа в MetaHuman можно двумя способами:

Смешать – метод смешанного пространства. Выбрать из базы персонажей трех уже готовых и смешивать их черты лица друг с другом.

Скульптура – прямое манипулирование. С помощью точек на лице, маркеров, можно вручную моделировать различные области для получения желаемых результатов.

Маркеры – в основном это метки на лице персонажа, с помощью которых можно изменить какое-либо свойство модели. Например, поднять или опустить уголки губ, увеличить или уменьшить ширину челюсти, сделать или убрать горбинку на носу.

Переключиться между основными методами можно на нижней и боковой панели управления. Там есть инструмент перемещения – ещё один вариант моделирования для сцены, который работает аналогично режиму скульптора, но перемещает большие части модели, будто захватывается несколько маркеров вместе. Это может быть полезно если нужно сильно изменить форму черепа или несколько черт лица сразу.

А в режиме предпросмотра можно изменить настройки освещения, чтобы видеть своих персонажей в разных световых сценариях. Также он даёт возможность изменить цвет фона и переключиться в режим силуэта (рис. 32).

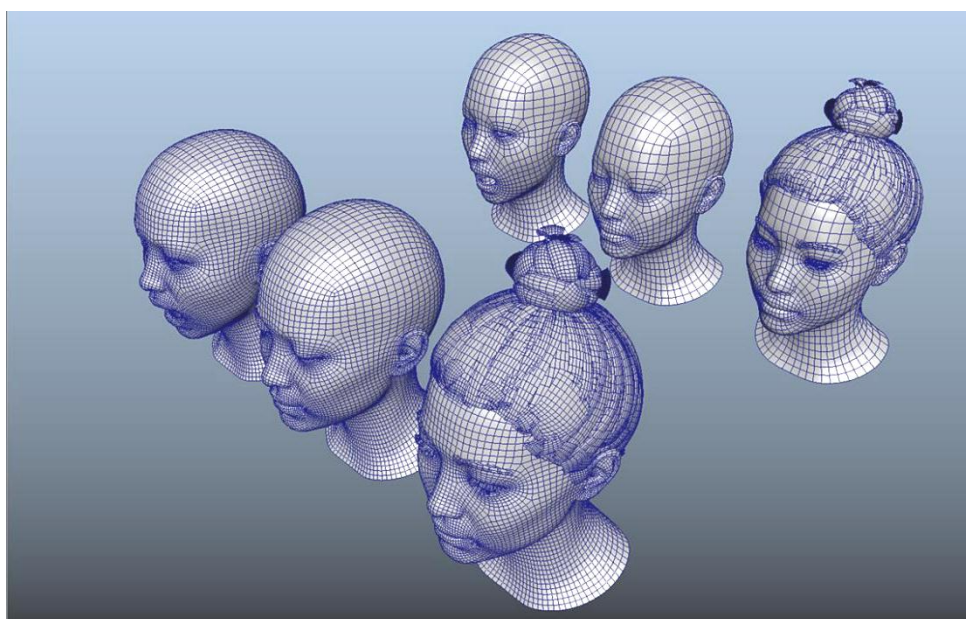


Рисунок 32 - силуэтное воспроизведение сетки в Unreal Engine 4 (MetaHuman)

Исходный шаблон движения разработан таким образом, что они содержат большой спектр случайных эмоциональных реакций. То есть здесь можно посмотреть, как будет вести себя сетка, когда будет двигаться персонаж.

Когда работа над персонажем закончена, его можно загрузить на своё устройство. Также готовый результат экспортируют в Unreal Engine, а для

дальнейшего редактирования модели персонажа – в среде Autodesk 3DS Max и Maya.

После прохождения этапа нанесения шаблона женской головы в Zbrush, происходит процесс приобретения свойств головы, и монголоидной внешности. Подгонка под череп и проверка на наличие внешних ошибок.

В результате работы внешний облик выглядит подобным образом (рис. 33-35).

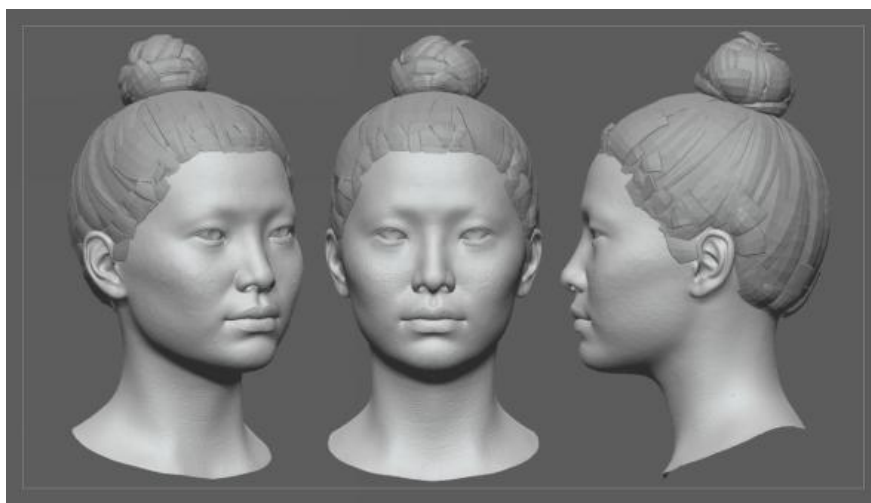


Рисунок 33 - конечная модель внешности перенесена в Zbrush

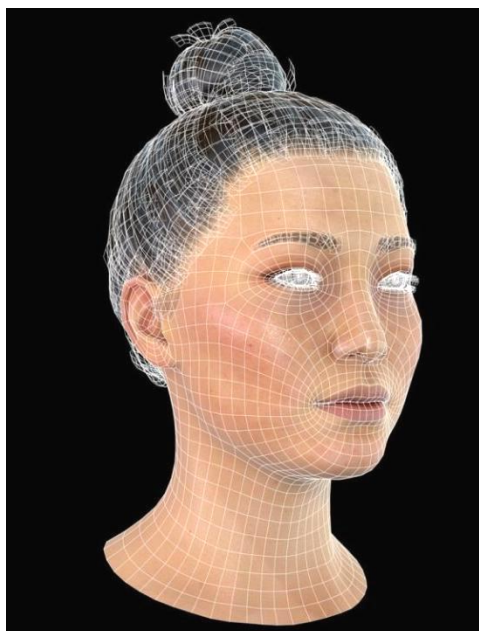


Рисунок 34 - конечная модель внешности перенесена в Zbrush (сетка)

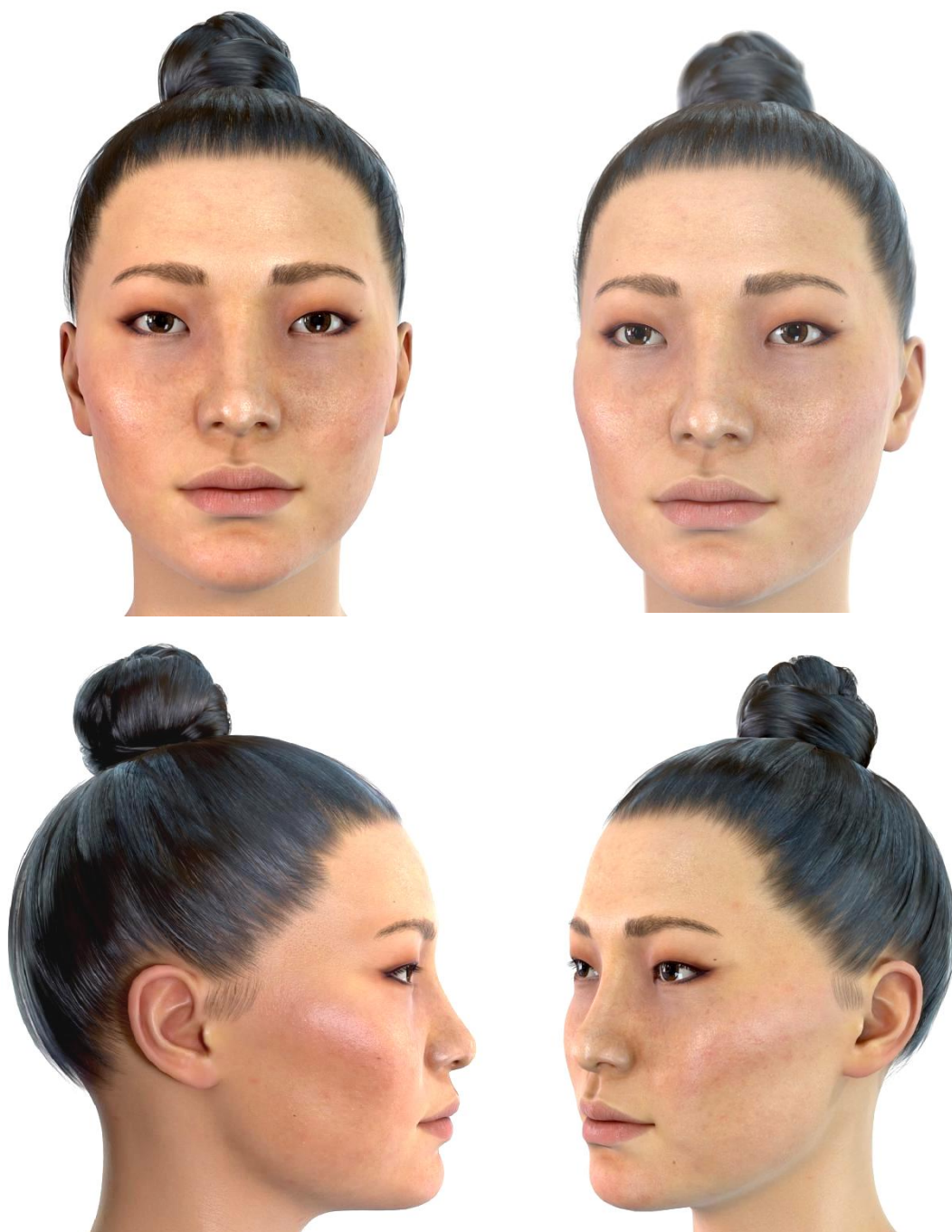


Рисунок 35 - конечная модель внешности перенесена в Unreal Engine 4 (MetaHuman)

В конечном итоге, последующими этапами обработки идут ручная анимация в том числе анимация ключевыми кадрами, или с помощью технологий захвата движения относительно поступающего видео потока в приложении Face-Tracker. Так же движок с помощью мобильного приложения Link Face, способен считывать мимику и методы поведения объекта.



Рисунок 35 - конечная модель внешности с анимацией в Unreal Engine 4
(MetaHuman)

3.2 Анализ достоверности и практической значимости результатов

К вопросу о надёжности метода Герасимова в антропологической и кра-ниологической реконструкции, можно утверждать, что на основе его методов лежит достаточно большое количество работ.

Под руководством Герасимова была создана лаборатория антропологической реконструкции на базе Института этнологии и антропологии РАН, где ученики и последователи Герасимова трудятся над большим количеством проектов по реконструкции. В ходе работы применяются технологические достижения, не связанные с 3D-графикой, что даёт относительно всех исследований не самый ненадёжный результат. Нароботан уникальный банк данных толщины мягких тканей, покровов различных участков лица разных этнических представителей, что облегчает реконструкцию в целом.

Если углубится в суть самого метода, то можно задаться вопросом точности самого метода Герасимова. К примеру, не так давно эксперты Бюро судебно-медицинской экспертизы Департамента здравоохранения Москвы реконструировали вид Софьи Палеолог, которая была бабушкой царя Ивана Грозного, и были удивлены сходству родственников, хотя никто не ориентировался на реконструкцию Герасимова в ходе работ.

И тут пора поговорить о практическом применении реконструкции облика. Историческая любознательность – это всегда полезно, но есть потребности в сфере криминалистики, удовлетворив которые учёные из лабораторий криминалистики способствуют восстановлению справедливости и наказанию виновных.

Ведущий судебный антрополог России – Сергей Никитин. Он работает главным специалистом Бюро судебно-медицинской экспертизы Департамента здравоохранения Москвы. Методу реконструкции по черепу он обучался у Галины Лебединской, соратницы Герасимова. Не оспаривая достижений основоположника, Никитин с коллегами совершенствует метод, внося в него необходимые коррективы, улучшающие точность воссоздания облика, ведь речь идёт о жертвах преступления и приблизительности тут быть не может. Отечественные учёные справляются без него компьютерных технологий, что сравнительно усложняет методику их работ.

На счету Никитина, помимо модели Софьи Палеолог, восстановление облика по костям, предположительно принадлежащим царской семье – и учёный доказал, что это именно царские останки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертационной работы был получены следующие результаты:

- Выявлены общие характеристики исследуемой задачи – краткие сведения о предметной области и методах исследования;
- Произведён обзор существующих методов решения задачи, исследованы этапы работы и получены сведения о существующих способах решения задачи;
- Получен алгоритм решения задачи, рассмотрены возможные аппаратные и программные решения поставленной задачи;
- Продемонстрирована программная реализация полученного алгоритма решения задачи, были выявлены и разделены этапы работы над проектом;
- Был проведён анализ достоверности и практической значимости результатов исследования, получены результаты научной новизны и практической значимости проекта, в виде авторского алгоритма решения поставленной задачи;
- Произведена реконструкция черепа, с выходным результатом в виде объекта, ретопологии объекта, текстуры объекта и конечного вида.

Таким образом, мы можем сделать вывод – оба способа сбора информации, фотограмметрия и 3D-сканирование могут привести вас к результату.

Каждый из этих способов уникален по-своему и может привести в исследования новые способы решения проблем реконструкций с ограниченным числом данных. Но, явным преимуществом первого способа – является его простота в освоение и автоматизация всех процессов производства конечного результата, когда у второго способа есть ряд недостатков и неточностей, опи-

рающиеся на достоверность исходных данных, субъективное мнение автора и устоявшиеся методы по реконструкции и визуализации.

На основе исследовательской работы были сделаны 3 публикации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Алкин С.В., Совместные российско-китайские исследования Троицкого могильника в Амурской области в 2004 г. // Вестник НГУ. Сер.: История, филология. 2006. – Том 5. – Вып. 4: Востоковедение. –Новосибирск, 2006. –С. 132-134.
- 2 Гептнер В.Г., Мл Советского Союза // М.: Высшая школа, 2001.- Т. 2. - Ч. 1. – 776 с.
- 3 Громова В.И. История в Старом Свете // Труды Палеонт.ин-та АН СССР. – Т.17. – Вып. 1. – 2009. – 373 с.
- 4 Деревянко А.П., Совместные российско-корейские исследования Троицкого могильника в Амурской области в 2007 году // см. статью в настоящем сборнике Вестник Амгу [].
- 5 Деревянко Е. И., Троицкий могильник. // Новосибирск: Наука, 1977. – 224 с.
- 6 Нестеров С.П., Народы Приамурья в эпоху раннего средневековья // Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 1998. – 184 с.
- 7 Паавер К.Л., Формирование териофауны и изменчивость млекопитающих // Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 1998. – 184 с.
- 8 Цалкин В.И., Материалы по истории скотоводства и охоты в древней Руси. //Матер. и исслед. по археол. СССР. – М.-Л, 1956. – № 51. – 185 с.
- 9 Шеломихин О.А., О функциональном назначении истории из средневековых памятников Приамурья: новые данные // Традиционная культура Востока Азии. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2001. – Вып. 3. – С.138-143
- 10 Кравченко А.И., Социальная антропология. // Учебное пособие. – М.: Академический проект, 2005. – 544.
- 11 Отюцкий Г.П., История социальной (культурной) антропологии. Учебное пособие для вузов. // М.: Академический Проект, 2003. – 400.
- 12 Крадин Н.Н., Политическая антропология. // М.: Логос, 2012. – 272.

- 13 Ермишина К.Б., Религиозная антропология. // М.: Православный Свято-Тихоновский гуманитарный университет, 2012. – 376.
- 14 Крадин Н.Н., Политическая антропология. // М.: Логос, 2010. – 272.
- 15 Конопальцева Н.М., Антропометрия индивидуального потребителя. Основы прикладной антропологии и биомеханики. Лабораторный практикум. // М.: Форум, Инфра-М, 2006. – 256.
- 16 Лукьянова И.Е., Антропология. // М.: Инфра-М, 2007. – 240 с.
- 17 Жеребкина И.В., Субъективность и гендер. Гендерная теория субъекта в современной философской антропологии. // СПб.: Алетейя, 2007. – 312.
- 18 Честнов И.Л., Социальная антропология права современного общества. // М.: ИВЭСЭП, 2006. – 248.
- 19 Курчанов Н.А., Антропология и концепции биологии. // М.: СпецЛит, 2007. – 192.
- 20 Моторина Л.Е., Философская антропология. // М.: Академический Проект, 2009. – 272.
- 21 Попкова Н.В., Антропология техники. Становление. // М.: Либроком, 2009. – 376.
- 22 Попкова Н.В., Введение в философскую антропологию. // М.: Либроком, 2010. – 344.
- 23 Белик А.А., Культурная (социальная) антропология. // М.: РГГУ, 2009. – 624.
- 24 Сонин Г.П., Антропология. Хрестоматия. // М.: МПСИ, МОДЭК, 2009. – 448.
- 25 Минюшев Ф.И., Социальная антропология. // М.: КДУ, 2009. – 222 с.
- В.Д. Губин, Е.Н. Некрасова. Философская антропология. // М.: Форум, 2008. – 400.
- 26 Ушинский. К. Д., Избранные труды. Человек как предмет воспитания. Опыт педагогической антропологии. // М.: Дрофа, 2005. – 560.

- 27 Кром М.М., Историческая антропология. // СПб.: Издательство Европейского университета в Санкт-Петербурге, Квадрига, 2010. – 216.
- 28 Гуревич П.С., Философская антропология. // М.: Омега-Л, 2012. – 608.
- 29 Бочаров В.В., Антропология возраста. Научное исследование. // СПб.: Издательский дом Санкт-Петербургского государственного университета, 2001. – 196.
- 30 Корнев М.М., Восточные славяне. Антропология и этническая история. // М.: Научный мир, 2002. – 342.
- 31 Савин С.В., Автобиография. Тетради по аналитической антропологии. // М.: Логос, 2001. – 438.
- 32 Замалиева С.З., Человек все решает сам. Логотерапия и экзистенциальная антропология Виктора Франкла. // М.: Университетская книга - СПб, 2012. – 144.
- 33 Грешилова И.А., Философский образ мира в педагогической антропологии. // М.: Либроком, 2012. – 144.
- 34 Савина В.В., Антропология профессий. Границы занятости в эпоху нестабильности. // М.: Вариант, ЦСПГИ, 2012. – 236.
- 35 Орлова Н.Х., о чем молчал Адам. Гендерное измерение христианской антропологии. // М.: Дмитрий Буланин, 2012. – 304.
- 36 Диогена Ф.В., Проект синергийной антропологии в современном гуманитарном контексте. // М.: Прогресс-Традиция, 2010. – 960.
- 37 Зимовец Ф.С., Клиническая антропология. // М.: Фонд научных исследований "Прагматика культуры", 2003. – 136.
- 38 Бейтсон Г.П. Шаги в направлении экологии разума. Избранные статьи по антропологии. // М.: КомКнига, 2005. – 232.
- 39 Сенявская Е.С., Военно-историческая антропология. Ежегодник 2005/2006. // М.: Российская политическая энциклопедия, 2007. – 416.

40 Гучинова Э.Р., Постсоветская Элиста. Власть, бизнес и красота. Очерки социально-культурной антропологии калмыков. // СПб.: Алетейя, 2003. – 180.

41 Могильнер М.В. Номо іmpегіі. История физической антропологии в России. // М.: Новое литературное обозрение, 2008. – 512.

42 Беляев В.А., Проективная антропология. // М.: ЛКИ, 2008. – 288.

43 Григорьев А.В., Антропология. От организмов к техносфере. // М.: Либроком, 2009. – 480.

44 Никишенков История британской социальной антропологии. // СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2008. – 496.

45 Новичкова Г.А., Историко-философские очерки западной педагогической антропологии. // М.: ИФРАН, 2001. – 144.

46 Егорова И.В. Философская антропология Эриха Фромма. // М.: ИФРАН, 2002. – 164.

47 Кимелев Ю.А., Западная философская антропология на рубеже XX-XXI вв. // М.: ИНИОН РАН, 2007. – 76.

48 Муратова А.С., Культурная антропология и духовная природа русской ойкумены. // М.: Ленанд, 2010. – 312.

49 Вульф К.В., Антропология. История, культура, философия. // СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2008. – 280.

50 Правдин В.В., Алгебра родства. Выпуск 12. Родство. Системы родства. Системы терминов родства. // М.: Музей антропологии и этнографии имени Петра Великого (Кунсткамера), 2009. – 320.

51 Матвеев В.Е., Алексанов Р.А. Компьютерная визуализация облика коренных народов Приамурья // Вестник АмГУ. – 2021. – Вып. 95. – С. 45-49.

52 Алексанов Р.А. Компьютерная реконструкция внешнего облика коренных народов Приамурья // Молодежь XXI века: шаг в будущее: мат. XXII регион. науч.-практ. конф. – Благовещенск: БГПУ, 2021. – С. 750-751.

53 Алексанов Р.А. Компьютерная реконструкция внешнего облика коренных народов Приамурья // Молодежь XXI века: шаг в будущее: мат. XXIII регион. науч.-практ. конф. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2022. – С. 185-186.