Муниципальное автономное учреждение дополнительного образования
«Дворец пионеров и школьников им. Н.К. Крупской г. Челябинска»,
филиал (МАУДО «ДПШ»)

Проект: «ВИРТУАЛЬНЫЙ АРХЕОЛОГ: 3D-РЕКОНСТРУКЦИЯ ДРЕВНЕГО ОБЪЕКТА ПО ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЯМ»

ВЫПОЛНИЛ
Зайнуллин Родион Камильевич,
МАУДО «Дворец пионеров и школьников им. Н. К. Крупской г. Челябинска» (филиал), класс 8

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ
Николаева Елена Александровна,
педагог дополнительного образования, МАУДО «Дворец пионеров и школьников им. Н. К. Крупской г. Челябинска» (филиал)

Челябинск, 2025

Оглавление

Введение 3
1. Теоретическая часть 5
1.1. Методы 3D-реконструкции в археологии 5
1.2. Эволюция и назначение 3D-реконструкции в археологии 5
1.3. Программное обеспечение для 3D-моделирования 6
2. Практическая часть 7
2.1. Методология и рабочий процесс исследования 7
2.2. Верификация гипотезы и анализ результатов 9
Заключение 10
Список литературы 12
Приложения

Введение

Трехмерная реконструкция древних объектов — это современное и востребованное направление виртуальной археологии. Данная технология активно применяется для сохранения культурного наследия, в музейной работе и образовании, позволяя исследователям виртуально воссоздавать и изучать артефакты в их историческом контексте.

Широкое внедрение технологий 3D-реконструкции в государственные музеи и архивы сталкивается с системными проблемами: отсутствием финансирования на специализированное оборудование и ПО, а также дефицитом квалифицированных кадров [3]. Как свидетельствует опыт Эрмитажа, процессы оцифровки требуют значительных временных и технических ресурсов, включая фотосъемку, сканирование и последующую обработку электронных изображений [2].

В этих условиях особую актуальность приобретает разработка доступных методик и проверка возможностей бесплатного ПО для 3D-оцифровки. Существующие автоматизированные решения, такие как фотограмметрия, часто малопригодны на практике из-за генерации "рваной" сетки с артефактами, требующей трудоемкой постобработки.

Данное исследование ставит своей целью практическую проверку возможностей пакета Blender для создания качественных 3D-моделей археологических объектов в условиях бюджетных организаций. В работе представлена апробация пошаговой методики моделирования на примере предмета вооружения из музея археологического комплекса Сарук Аль-Хадид (ОАЭ).

Цель работы: проверить пригодность Blender для создания 3D-моделей археологических объектов и разработать пошаговую методику моделирования для бюджетных организаций.

Задачи работы:

1. проанализировать функциональные возможности Blender применительно к задачам 3D-реконструкции археологических объектов;
2. выявить преимущества и ограничения пакета в сравнении с автоматизированными методами;
3. разработать и апробировать пошаговый алгоритм ручного моделирования в Blender;
4. оценить качество результатов, полученных с использованием данного программного обеспечения;
5. сформулировать рекомендации по использованию Blender в условиях бюджетных организаций.

Объект исследования - процесс создания трехмерной модели археологического объекта. В качестве тестового объекта был выбран боевой топор, принадлежащий музею археологического комплекса Сарук Аль-Хадид (эмират Дубай, ОАЭ).

Гипотеза: бесплатное программное обеспечение Blender обладает достаточным функционалом для создания качественных 3D-моделей археологических объектов и может быть эффективно использовано бюджетными организациями при наличии детального практического руководства, адаптированного для неспециалистов.

Практическая значимость работы заключается в комплексной оценке возможностей бесплатного программного обеспечения Blender для нужд бюджетных организаций культуры. Результаты исследования демонстрируют, что пакет обладает необходимым инструментарием для создания качественных 3D-моделей и может стать эффективной альтернативой коммерческому программному обеспечению. Разработанная методика позволяет музеям начать работу по 3D-оцифровке своих коллекций без дополнительных финансовых затрат.

1. Теоретическая часть

1.1. Методы 3D-реконструкции в археологии

3D-реконструкция представляет собой процесс создания цифровых моделей, точно воспроизводящих форму и внешние характеристики реальных объектов в трёхмерном пространстве. В археологической практике наибольшее распространение получили два основных метода: фотограмметрия и полигональное моделирование [3].

Фотограмметрия - технология автоматизированного построения 3D-моделей на основе серии фотографий объекта, сделанных с разных ракурсов. Программные алгоритмы идентифицируют совпадающие точки на изображениях и вычисляют пространственные координаты, формируя трёхмерную геометрию. К преимуществам метода относится возможность быстрого получения детализированных текстур без необходимости ручного моделирования. Однако, как демонстрирует анализ модели из открытых источников (Приложение А), метод имеет существенные ограничения: формирование дефектной сетки с отверстиями и самопересекающимися полигонами, возникновение артефактов текстур, сложность редактирования из-за неоптимизированной топологии, а также строгие требования к условиям съёмки [1].

Полигональное моделирование основано на ручном создании геометрии через работу с вершинами, рёбрами и гранями. Процесс начинается с базовых примитивов (куб, сфера) с последующим использованием инструментов скульптинга для детализации. Метод обеспечивает полный контроль над топологией сетки, создание оптимизированной геометрии и независимость от качества исходных фотографий. Основными сложностями являются высокая трудоёмкость процесса и необходимость развития специальных навыков моделирования [7].

1.2. Эволюция и назначение 3D-реконструкции в археологии

История применения виртуальных технологий в археологии началась с простых цифровых моделей и постепенно развивалась благодаря прогрессу в компьютерной графике и сканирующих устройствах. Уже с начала 2000-х годов методики цифровой фиксации и реконструкции стали внедряться в крупные раскопки, музейные проекты и образовательные программы. Со временем эти технологии стали более доступными и точными благодаря развитию фотограмметрии и лазерного сканирования. Современные проекты активно используют искусственный интеллект для автоматизации анализа, а международное сотрудничество позволяет создавать обширные цифровые архивы. Этот эволюционный процесс сформировал новое направление — цифровую археологию, которая сочетает традиционные методы с информационными технологиями, значительно расширяя горизонты исследований [6].

В научно-исследовательской сфере трехмерное моделирование открывает новые возможности для анализа материального наследия. Созданные цифровые двойники позволяют проводить точные виртуальные обмеры, устанавливать пропорции и геометрические закономерности, которые сложно выявить при визуальном осмотре оригинала. Кроме того, технология позволяет проводить виртуальную реконструкцию утраченных или поврежденных элементов объектов, создавая научно обоснованные гипотезы их первоначального облика на основе сохранившихся аналогов и исторических источников [6].

В музейно-образовательной сфере 3D-модели революционизируют презентацию археологического наследия, становясь основой для интерактивных экспозиций. Посетители могут детально изучать цифровые копии артефактов, а для людей с нарушениями зрения тактильное знакомство с культурными ценностями становится возможным благодаря 3D-печати. Виртуальные туры по реконструированным памятникам преодолевают географические и временные барьеры, делая наследие доступным для самой широкой аудитории.

Не менее важна роль 3D-моделирования в сохранении культурного наследия. Точные цифровые копии документируют текущее состояние объектов, находящихся под угрозой разрушения от природных процессов или человеческой деятельности. Эти архивы сохраняют информацию о мельчайших деталях памятников для будущих исследований, а в случае повреждения оригинала служат основой для точной реставрации или создания исторически достоверных реплик [5].

1.3. Программное обеспечение для 3D-моделирования

Индустрия профессионального 3D-моделирования традиционно базируется на коммерческих программных продуктах, каждый из которых занимает свою рыночную нишу. ZBrush является отраслевым стандартом цифрового скульптинга [9]. Его уникальная технология работы с вокселями позволяет создавать модели с экстремально высоким полигональным счетом, что незаменимо для реконструкции сложных органических форм и поврежденных артефактов. Однако узкая специализация и высокая стоимость лицензии существенно ограничивают его применение в бюджетных организациях.

Универсальные пакеты Autodesk 3ds Max и Maya предлагают продвинутые инструменты моделирования, анимации и рендеринга, что делает их незаменимыми в крупных студиях для создания киноконтента и сложных визуализаций. Однако для государственных учреждений они малодоступны из-за подписочной модели, требующей постоянных финансовых затрат, и чрезвычайно высокой кривой обучения, предполагающей привлечение узкоспециализированных специалистов.

В противовес коммерческим решениям, Blender существует как полнофункциональная и самодостаточная экосистема с открытым исходным кодом. Его философия заключается в предоставлении профессионального инструментария без каких-либо финансовых ограничений. Процесс полигонального моделирования строится на интуитивной работе с элементами сетки: художник начинает с примитива (например, куба) и постепенно усложняет его, используя базовые операции - экструзию, петлевое разрезание и сглаживание через модификатор Subdivision Surface [4].

Ключевое преимущество Blender — глубокая интеграция всех этапов работы в едином интерфейсе. В отличие от узкоспециализированных пакетов, он предоставляет целостный рабочий процесс. Моделировщик может последовательно выполнять все этапы работы в одной программе: перейти от базовой формы к скульптингу для детализации, провести ретопологию для создания оптимизированной сетки, а затем выполнить UV-развертку и настройку материалов с помощью узловой системы шейдеров. Эта универсальность делает Blender особенно ценным для небольших проектов, где один специалист должен выполнять несколько ролей.

Для бюджетных учреждений выбор ПО определяется тремя ключевыми факторами. Первый — нулевая стоимость лицензии, что обеспечивает долгосрочную устойчивость проектов без рисков прекращения финансирования подписки. Второй — профессиональный функционал для полного цикла работ: от создания геометрии до финальной визуализации. Третий — наличие активного сообщества и доступных обучающих материалов.

Наконец, жизненно важными становятся наличие активного сообщества и доступность обучающих материалов. Blender обладает одним из самых больших и открытых сообществ пользователей и разработчиков. Это гарантирует, что любой пользователь, от начинающего до эксперта, может быстро найти ответ на вопрос, бесплатные учебные пособия, дополнительные плагины и оперативную техническую поддержку на форумах. Эта экосистема значительно снижает порог входа и компенсирует отсутствие официальной платной поддержки, делая Blender не просто инструментом, а устойчивой платформой для цифрового сохранения культурного наследия.

2. Практическая часть

2.1. Методология и рабочий процесс исследования

В качестве тестового объекта был выбран боевой топор, принадлежащий музею археологического комплекса Сарук Аль-Хадид (эмират Дубай, ОАЭ) (Приложение Б, рис. 4). Референсные фотографии предоставлены научным сотрудником филиала Нью-Йоркского университета в Абу-Даби Семьяном И.А. Материалы используются для исследовательских проектов данного университета и находятся в открытом доступе. Для оценки качества метода фотометрии была взята готовая 3D-модель самовара (музей «Блокадное

братство», МАОУ «СОШ №153 г. Челябинск»). Модель создавалась при помощи приложения Polycam и использовалась при моделировании виртуального музея, материалы которого находятся в открытом доступе (Приложение А, рис. 1, 2, 3).

Разработка адаптированного рабочего процесса

Была разработана и апробирована пошаговая методика, специально адаптированная для использования сотрудниками бюджетных организаций без специальной подготовки:

1. Подготовительный этап:
    - Настройка референсных изображений. Изображение необходимо расположить параллельно оси Z, таким образом обеспечивается наиболее комфортный угол для моделирования объекта (Приложение В, рис. 5);
    - Калибровка масштаба и параметров сцены (Приложение В, рис. 6).
2. Базовое моделирование:
    - Создание геометрии из примитива (куб) с использованием модификатора Subdivision Surface (не выставлять значение больше 3-4). Для создания боевого топора использовалось три разных примитива (три куба), каждый сглаживался и моделировался по отдельности (Приложение Г, рис. 7, 8);
    - Формирование основной формы инструментом Loop Cut. Данный пункт крайне важен, так как без создания дополнительных ребер мы не сможем добиться необходимой формы боевого топора (Приложение Г, рис. 9,10).
3. Детализация:
    - Поэтапное добавление конструктивных элементов методом экструзии (Приложение Д, рис. 11);
    - Создание мелких деталей с использованием скульптинга (использовались кисти Smooth, Draw Sharp, Elastic Grab, Draw) (Приложение Д, рис. 12);
    - Для соединения объектов можно использовать аддоны. Для упрощенного получения результата объекты необходимо просто расположить рядом.
4. Оптимизация:
    - Ретопология для создания чистой квад-доминантной сетки (данный пункт предполагает процесс ручного моделирования новой сетки, так как на объекты уже был применен Subdivision Surface, задачу можно пропустить). Сетку можно также сократить при помощи модификатора Decimate в случае, если технические параметры компьютера не позволяют работу с большим количеством полигонов;
    - UV-развертка и наложение текстур. Для начала необходимо сделать швы на объекте, чтобы текстура легла равномерно (Mark

Seam). Затем делаем развертку объекта при помощи функции Unwrap Conformal и накладываем текстуру. Для нашего объекта была взята готовая текстура с открытого сайта Fab [9]. Пример готовых нод для отображения текстуры представлен в приложении (Приложение Е, рис. 13, 14).

Для создания качественной и детализированной модели необходимо постоянно сверяться с референсами, переключая виды и включая X-Ray режим для контроля внутренних частей модели. С результатом можно ознакомиться в приложении (Приложение Ж, рис. 15, 16, 17).

Особенности методики для бюджетных организаций

Предложенный рабочий процесс исключает этапы, требующие специального оборудования или сложных вычислений, и может быть выполнен на стандартной компьютерной технике, имеющейся в большинстве учреждений культуры. Также пункт с ретопологией можно пропустить, так как он требует более продвинутых навыков, а для получения необходимого результата достаточно и того, что было описано.

2.2. Верификация гипотезы и анализ результатов

Практическое моделирование боевого топора наглядно продемонстрировало, что Blender обладает всем необходимым инструментарием для создания качественных 3D-моделей: с помощью инструментов полигонального моделирования были точно воспроизведены геометрические формы, система модификаторов позволила эффективно работать со сложными поверхностями и создать оптимизированную сетку, а возможность скульптинга добавила модели сложности и детализации; кроме того, UV-развертка и наложение текстур окончательно придали объекту реалистичный вид.

Сравнительный анализ преимуществ методики

В ходе работы выявлены ключевые преимущества разработанной методики перед автоматизированными подходами:

1. Качество результата:

Стоит отметить создание чистой и оптимизированной сетки, которая выгодно отличается от «рваной» сетки, получаемой методом фотограмметрии. Благодаря ручному моделированию удалось избежать артефактов и дефектов, характерных для автоматической реконструкции, а также обеспечить полный контроль над топологией и геометрией конечной модели.

2. Экономическая эффективность:

С экономической точки зрения метод демонстрирует высокую эффективность, поскольку подразумевает нулевые затраты на специализированное программное обеспечение. Для работы не требуется закупать специальное оборудование, что позволяет успешно использовать существующие компьютерные мощности.

3. Практическая применимость:

Практическая ценность методики заключается в ее доступности для неспециалистов. Пошаговый характер руководства позволяет осваивать процесс моделирования постепенно, а итоговый результат получается готовым к использованию без необходимости сложной дополнительной обработки.

4. Анализ временных затрат.

Общая продолжительность работ по созданию трехмерной модели составила 28 часов. Данный показатель экономически обоснован для бюджетных учреждений при поэтапной оцифровке экспонатов. Важно, что результат представляет собой готовое решение, не требующее дополнительных затрат на исправление дефектов. Приведенная оценка времени является приблизительной и включает этап предварительного ознакомления с интерфейсом программы.

Общий процесс моделирования потребовал следующих ключевых временных затрат: 5 часов ушло на подготовительные работы и изучение интерфейса Blender, затем 15 часов были посвящены базовому моделированию и детализации, после чего 6 часов заняли ретопология и текстурирование, и, наконец, 2 часа понадобились на финальную оптимизацию модели и ее экспорт.

Такое распределение временных ресурсов демонстрирует сбалансированность методики и ее адаптивность под условия работы в бюджетных организациях. Отсутствие необходимости в дополнительной постобработке компенсирует первоначальные временные вложения и обеспечивает общую эффективность рабочего процесса.

Оценка практической эффективности

Разработанная методика успешно прошла апробацию и подтвердила свою эффективность для решения задач 3D-оцифровки в условиях бюджетных организаций. Результаты демонстрируют, что использование Blender в сочетании с адаптированным руководством позволяет начать работы по цифровизации коллекций без дополнительного финансирования, задействовать существующие кадровые ресурсы и создавать качественные 3D-модели, полностью пригодные для научной и музейной работы.

Практическая реализация проекта подтвердила жизнеспособность предложенного подхода и возможность его масштабирования на другие учреждения культуры с аналогичными ресурсными ограничениями.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило выдвинутую гипотезу о том, что бесплатное программное обеспечение Blender обладает достаточным функционалом для создания качественных 3D-моделей археологических объектов и может быть эффективно использовано бюджетными организациями культуры. В ходе работы была успешно разработана и апробирована пошаговая методика ручного полигонального моделирования,

адаптированная для специалистов без профильного образования в области 3D-моделирования.

Практическая реализация проекта продемонстрировала, что предложенная методика позволяет создавать топологически корректные модели, превосходящие по качеству результаты автоматической фотограмметрии. Ключевым достижением стало создание оптимизированной модели боевого топора с чистой сеткой и детализированной текстурой, полностью готовой к использованию в научных и музейных целях.

Сравнительный анализ выявил существенные преимущества ручного моделирования перед автоматизированными методами. В отличие от фотограмметрии, генерирующей "рваную" сетку с артефактами, разработанный подход обеспечивает полный контроль над геометрией объекта и создает модель, не требующую трудоемкой постобработки.

Особую ценность представляет экономическая эффективность предложенного решения. Методика позволяет учреждениям культуры начать работы по 3D-оцифровке коллекций без дополнительных финансовых затрат на оборудование и программное обеспечение, используя существующие кадровые и технические ресурсы.

Практическая значимость работы подтверждается успешной апробацией методики и возможностью ее масштабирования на другие учреждения культуры с аналогичными ресурсными ограничениями. Разработанное руководство значительно снижает порог вхождения в 3D-моделирование и открывает новые возможности для сохранения и популяризации археологического наследия.

Перспективы дальнейших исследований включают освоение технологии запекания текстур для переноса детализации на низкополигональные сетки, что особенно актуально для веб-платформ и мобильных приложений, а также изучение методов PBR-текстурирования для создания цифровых двойников музейных экспонатов, не уступающих коммерческим аналогам.

Список литературы

1. Иванов А.В. Цифровая археология: методы и перспективы. — М.: Наука, 2020. — 256 с.
2. Кузнецова, А. Музей будущего: как технологии меняют искусство [Электронный ресурс] / А. Кузнецова // Собака.ru. – 2024. – 23 февраля. – URL: https://www.sobaka.ru/entertainment/art/178628 (дата обращения: 25.08.2025)
3. Не хватает средств, оборудования и сотрудников: у музеев могут отобрать экспонаты, если не успеют их оцифровать [Электронный ресурс] // V-Tagile.ру : новости Нижнего Тагила. – 2018. – 18 сентября. – URL: https://v-tagile.ru/novosti-nizhnego-tagila/kultura-i-iskusstvo/ne-khvataet-sredstv-oborudovaniya-i-sotrudnikov-u-muzeev-mogut-otobrat-eksponaty-esli-ikh-ne-uspeyut-ikh-otsifrovat (дата обращения: 25.08.2025).
4. Официальная документация Blender [Электронный ресурс]. — URL: https://docs.blender.org (дата обращения: 15.09.2025).
5. Сидоров К.А., Васильева Е.Н. Виртуальная реконструкция археологических объектов. — М.: Изд-во МГУ, 2021. — 312 с.
6. Черненко Е.А. 3D графическая реконструкция и визуализация памятника археологии // Археология и информационные технологии. – 2015. – № 2-3.
7. FAB: Текстуры и материалы для 3D-графики [Электронный ресурс]. — URL: https://www.fab.com/ru/category/material (дата обращения: 25.09.2025).
8. Blender: руководство для начинающих / сост. Т.П. Михайлова. — М.: ДМК Пресс, 2022. — 420 с.
9. ZBrush | Digital Sculpting Software [Электронный ресурс]. — URL: https://www.zbrush.com (дата обращения: 20.09.2025).

Приложение А

Фотограмметрия



Рис. 1. Модель сохраняет реальную текстуру.

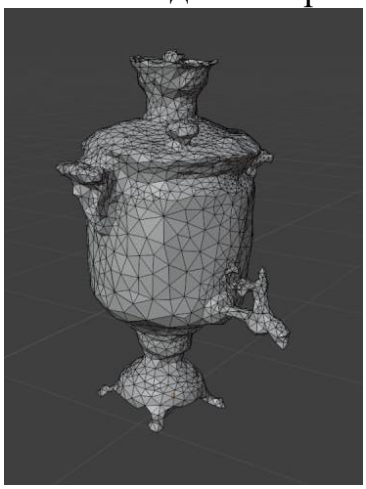


Рис. 2. Сетка из треугольников.

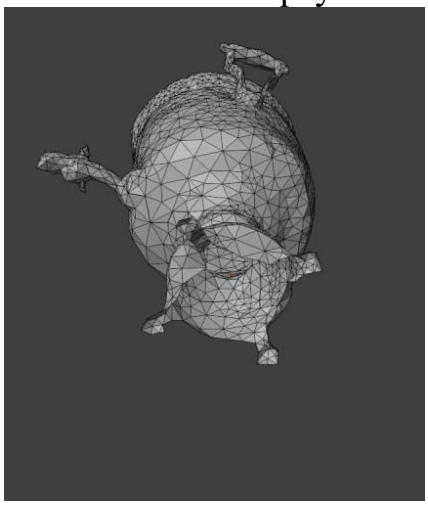


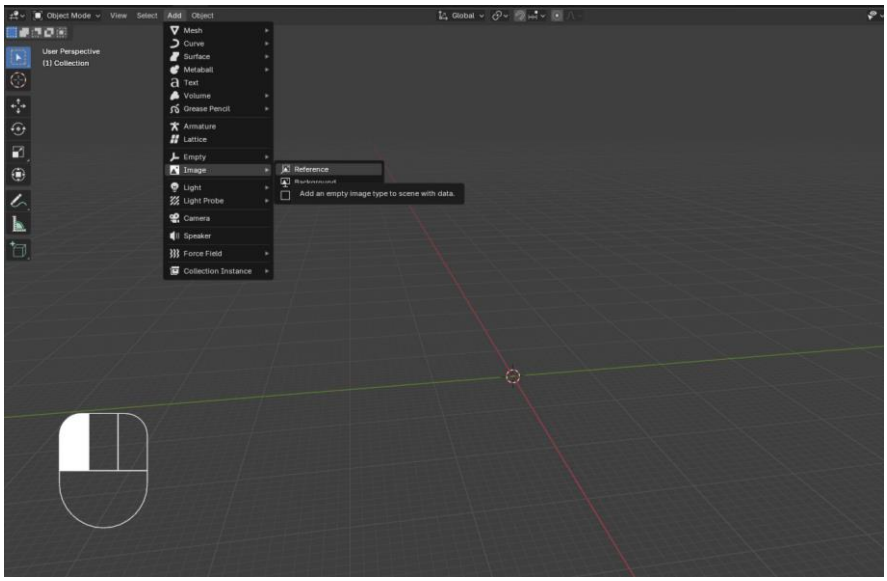
Рис. 3 Сетка самовара, наличие «дыр».

Приложение Б

Пример боевого топора



Рис. 4. Экспонат музея.



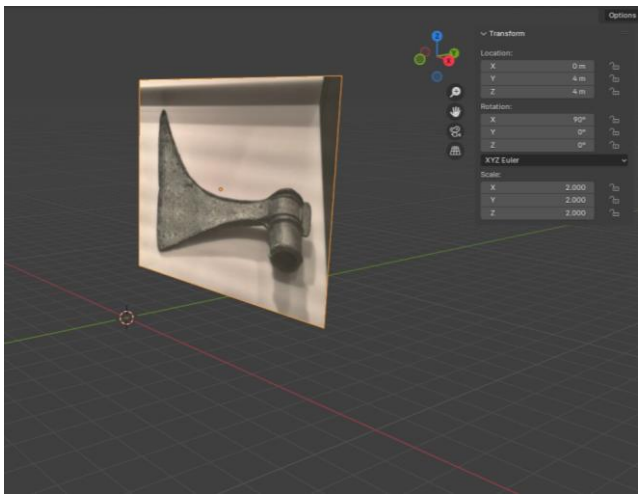


Рис. 5. Загрузка изображения.

Рис. 6. Калибровка масштабов и расположения.

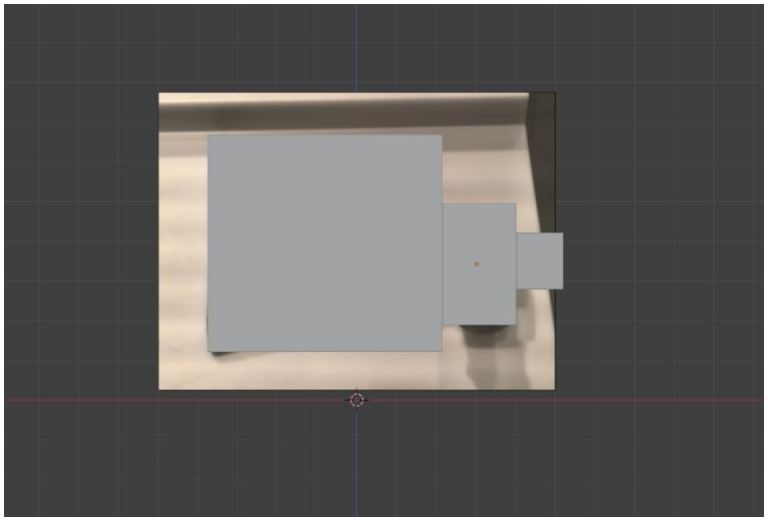


Рис. 7. Добавление примитивов

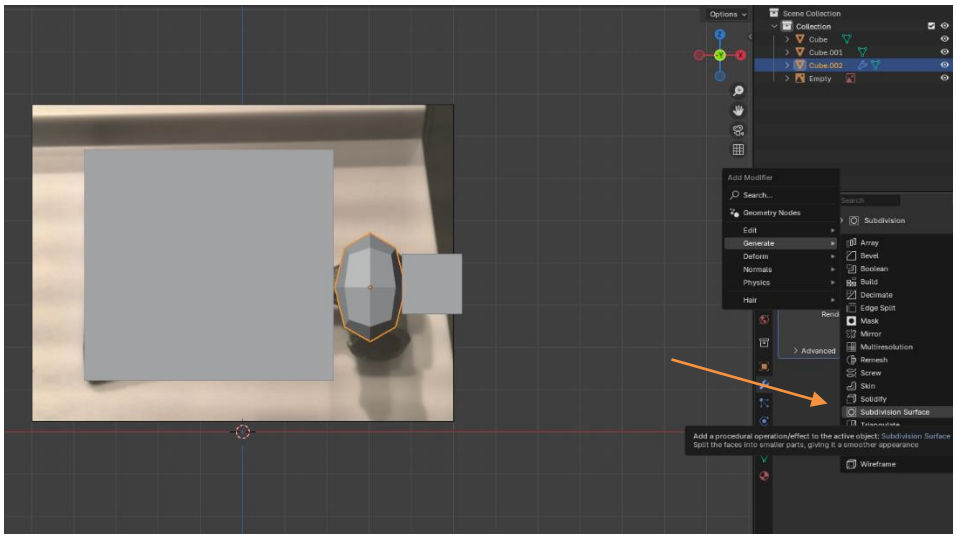


Рис. 8. Модификатор Subdivision Surface.

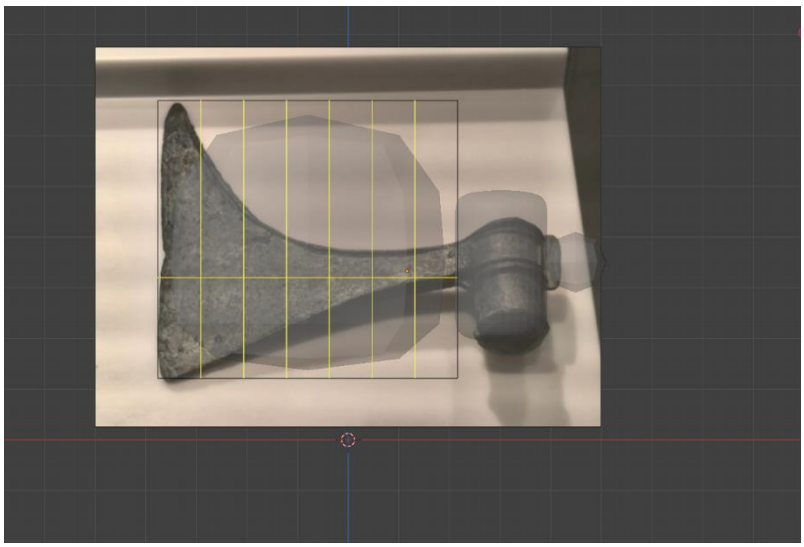


Рис. 9. Добавление ребер через Loop Cut.

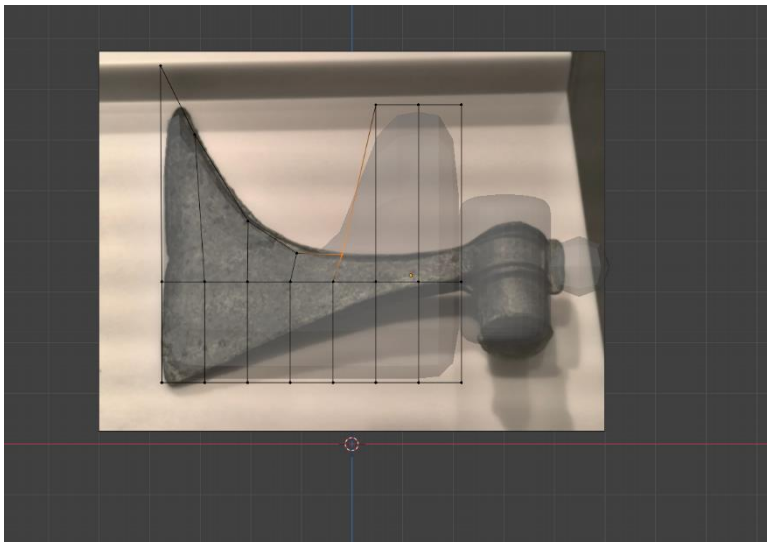


Рис. 10. Изменение положения точек в режиме прозрачности.

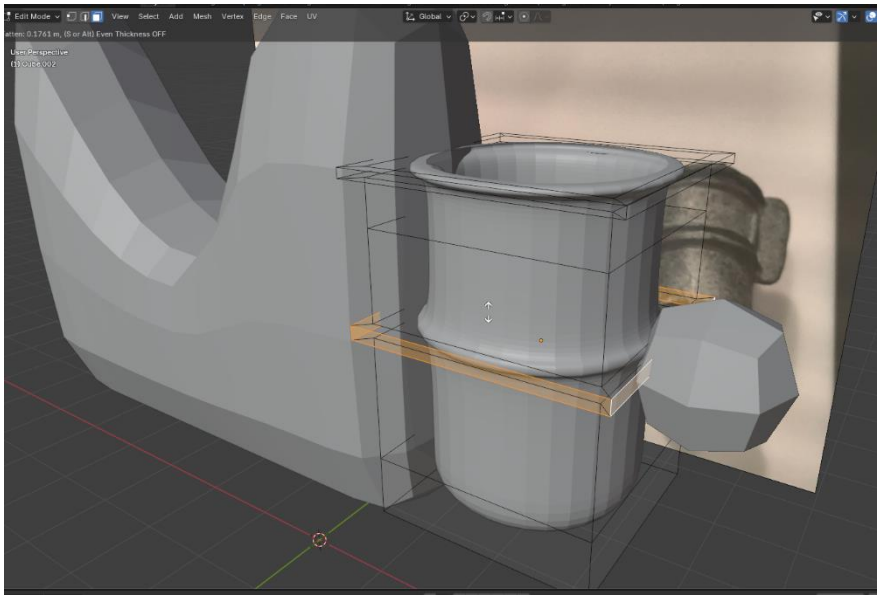


Рис. 11. Выдавливание отдельных элементов.

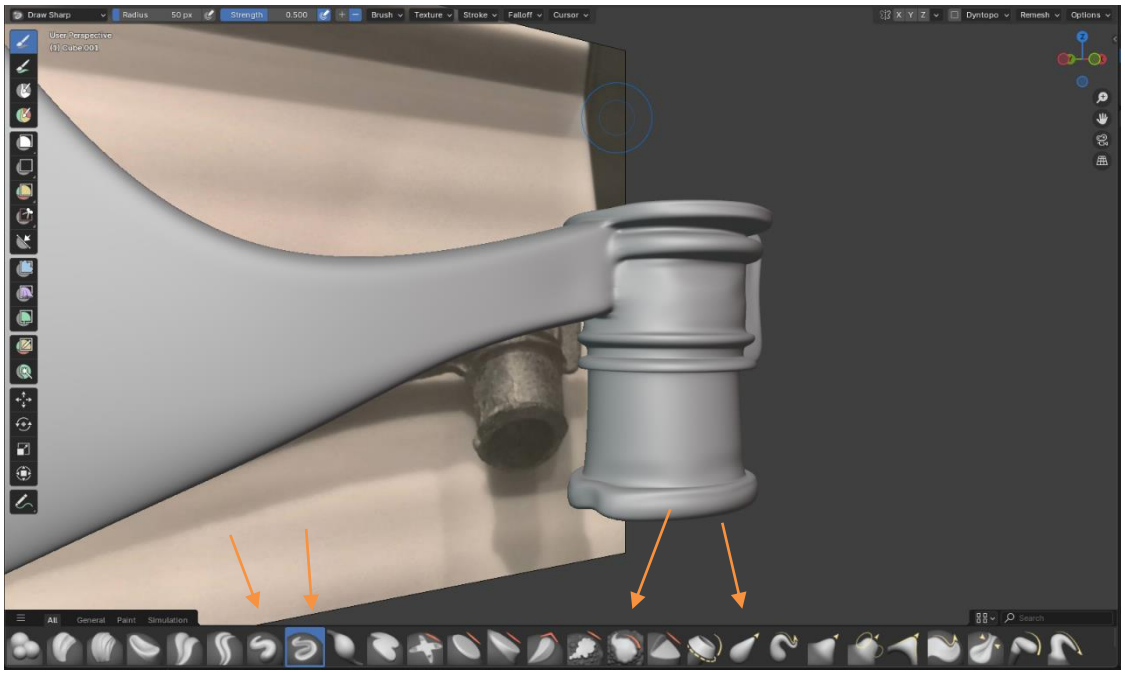


Рис. 12. Скульптинг.

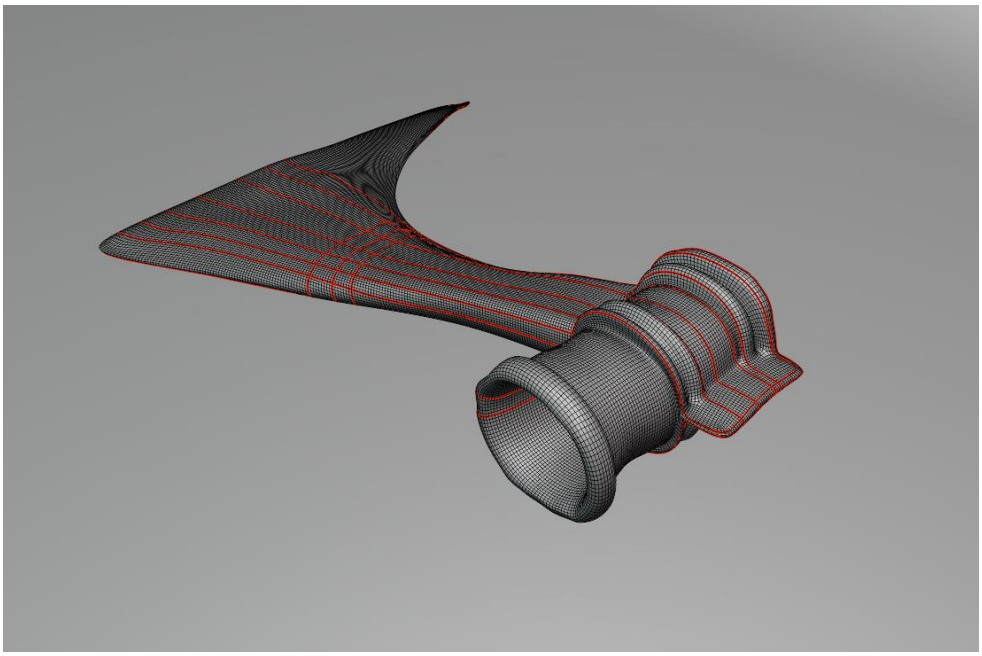


Рис. 13. Mark Seam, швы для объекта.

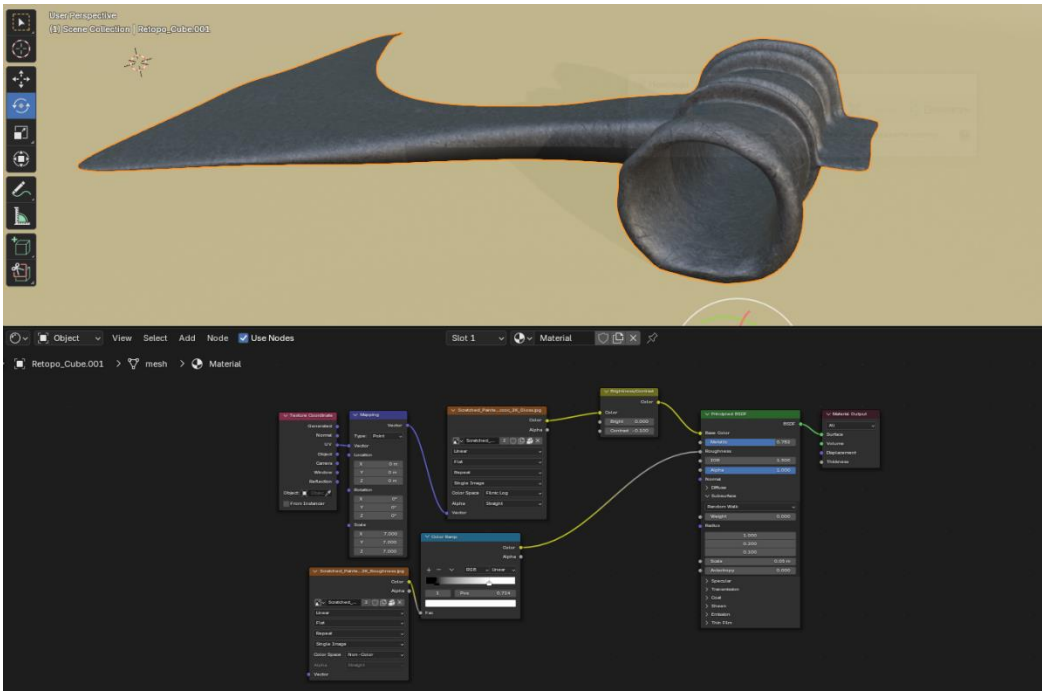


Рис. 14. Система нод для отображения текстуры.



Рис. 15. Рендер.



Рис. 16. Боевой топор вид слева.



Рис. 17. Боевой топор вид справа.