Методика создания 3D-моделей культурного наследия с помощью технологий фотограмметрии



Подготовили: Коханчук Егор - разработка методики, текст Лозинская Анастасия - разработка методики, редактирование

Москва, 2020

Обложка: полученные с помощью технологии фотограмметрии 3D-модели скульптур из собрания ГМИИ им. А. С. Пушкина

Оглавление

Введение	2
Необходимое оборудование и подготовка к съёмке	
Некоторые рекомендации по подготовке к съёмке	11
Настройка камеры	
Процесс съёмки объекта	17
Обработка фотографий	
Начало работы с Agisoft Metashape	
Загрузка фотографий	
Выравнивание снимков	
Плотное облако точек	
Построение геометрии модели	
Построение текстуры	51
Экспорт результатов из Agisoft Metashape	
Первичное редактирование в MeshMixer	
Импорт модели в Blender	
Автоматическая ретопология модели в Instant Meshes	
Создание UV-развёртки в Blender	
Запекание текстуры в Substance Designer	
Присоединение запечённых текстур к низкополигональной последующее редактирование	модели и 98
Удаление теней с модели	
Импорт результата на SketchFab	
Кодировочные метки	

Аннотация

В данной работе описан полный цикл создания объёмных 3D-моделей с помощью технологий фотограмметрии. Будут даны рекомендации: какое оборудование необходимо для данного процесса, как выставлять свет и настраивать камеру во время съёмки, как обрабатывать полученные снимки, как создавать модели, а затем их редактировать и впоследствии красиво преподнести. Следуя данной методике, каждый сможет создавать свои модели, если будет уделять достаточное время практике. Более того, в данной работе будут указаны способы применения полученных моделей.

Введение

Сейчас в повседневную жизнь каждого человека постепенно входят 3D технологии – получают распространение 3D-принтеры, всё больше проблем решаются с помощью дополненной реальности. Однако технологии 3D оцифровки только начинают набирать обороты, а вычислительная мощность современных гаджетов только недавно позволила распространить 3D-моделирование в массы. Одним из перспективных видов создания объёмных виртуальных моделей различных объектов является фотограмметрия – технология 2D моделей на основе фотографий реального объекта. Технология работает по принципу триангуляции – компьютерное зрение может сопоставить конкретную точку объекта и определить её положение в пространстве, если данная точка присутствует на трёх и более фотографиях.



Рисунок 1. Принцип работы фотограмметрии

В течение последних лет наблюдается стремительное развитие фотовозможности цифровых матриц, цифровых технологий: даже В бюджетных камерах или смартфонах, достигли той ступени эволюции качества снимков, которые позволяют использовать их в разработке моделей; производительность большинства потребительских гаджетов выросла до уровня, на котором возможно создавать и обрабатывать полученные модели даже на смартфонах – теперь для 3D-моделирования не обязательно обладать графической станцией. Всё больше музеев стали задумываться о сохранении и оцифровке историко-культурного наследия для будущих поколений, а также начали создавать виртуальные туры по своим экспозициям, которые стали доступны в том числе из-за широкого распространения VR-шлемов и очков и некоторого падения цен на них, а также роста производительности смартфонов. В большинство игровых движков (в том числе и в самые популярные Unreal Engine и Unity) были добавлены базы данных с моделями и фотореалистичными текстурами, созданными с помощью фотограмметрии и, как следствие, во многих ААА играх всё чаще стали использовать данную технологию для создания игрового окружения. Из вышеперечисленных фактов можно сделать вывод, что умение работать с технологией фотограмметрии, становится все более востребованным и актуальным, в том числе в сфере культуры. Технология фотограмметрии имеет огромный потенциал, впоследствии она может стать обыденностью. Сейчас практически каждый человек умеет делать фотографии. В будущем, из-за тотального упрощения процесса создания моделей, а также из-за ещё более возросшей производительности, любой желающий сможет сделать 3D-модель любого интересующего его объекта.

В интернете можно найти множество справочных материалов по созданию 3D-моделей, однако работ, касательно оцифровки объектов культурного наследия в музеях, найдено не было – возможно никто ещё не писал подробных методик с пошаговыми указаниями о применении технологий фотограмметрии в музеях. Данная работа позволит заполнить эту нишу. Перед написанием методики весь процесс был многократно пройден для того, чтобы выявить возможные проблемы, а также, чтобы максимально оптимизировать и облегчить работу и минимизировать время, затрачиваемое на обработку моделей. Для того, чтобы создать данную методику, были отобраны лучшие практики, применимые в контексте оцифровки культурного наследия.

Модели, созданные с помощью данной технологии, можно использовать в системе учёта музеев, при проектировании выставок и внутреннего пространства музея, в интерактивных онлайн-экспозициях. Более того, оцифрованные 3D-модели можно распечатать на 3D-принтере для создания нового типа выставок. Например, с помощью напечатанной модели незрячие люди могут тактильно ощутить рельеф скульптуры без вреда оригинальному объекту.

Необходимое оборудование и подготовка к съёмке

Первое, что необходимо сделать перед съёмкой объекта – изучить условия, в которых находится объект. Сначала стоит понять, какое количество света отражается от скульптуры, местоположение самого объекта съёмки (находится ли он на улице, либо в помещении), количество пространства вокруг, не отражают ли свой цвет на модель какие-либо другие поверхности. Уже исходя из ситуации следует подбирать необходимое сопутствующее оборудование.

• Фотоаппарат. На первых порах подойдёт любая камера или даже современный смартфон, однако, чем выше будет качество исходных фотографий, тем качественнее получится финальный результат и тем меньше будет работы на постобработке и редактированию модели. Наиболее предпочтительным вариантом является современная

полнокадровая камера с низким уровнем шума ISO и высокой детализацией. На «рисунке 1» изображено сравнение физических размеров большинства матриц – как правило, чем больше размер матрицы, тем крупнее пиксели на ней размещаются, а размер пикселя прямо пропорционально влияет на количество света, которое улавливает фотоаппарат – при увеличении количества света, попадающего на матрицу, повышается качество итогового изображения. Более того, чем больше размер матрицы, тем больший угол захватывает камера при одинаковом фокусном расстоянии объективов.



Рисунок 2. Размеры матриц цифровых фотоаппаратов

В рамках подготовки данной методики были использованы две камеры: в музее производилась съёмка пятидесяти мегапиксельной полнокадровой камерой Canon EOS 5DS R, а для личного использования применялась компактная Canon Powershot G9X mark II с дюймовой матрицей.

Поскольку в фотографии стандарт это кадр 35 мм, то все фокусные расстояния принято выражать в масштабе этого формата, следовательно при выборе объектива для фотоаппарата с матрицей меньше, чем размер кадра 35 мм пленки, то для вычисления получаемого фокусного расстояния нужно умножить «кропфактор» матрицы на фокусное расстояние объектива. Например, при покупке объектива Canon 18-55мм f/2.8 для камеры Canon 500D, кропфактор которой составляет 1,6), фокусные расстояния становятся равными 28,8-88мм.

- Аксессуары к фотоаппарату:
 - Объектив (если фотоаппарат со съёмной оптикой). Объективы делятся на два типа: с переменным фокусным расстоянием (иными

приближением) и с фиксированным. Обычно словами – фиксированное фокусное расстояние имеет преимущество над переменным, так как обладает большим оптическим качеством изза более простой схемы компоновки стёкол. Существуют сверх широкоугольные (от 8мм до 24 мм), широкоугольные (от 24мм до 35мм), нормальные (от 35 до 80мм), длиннофокусные или телеобъективы (от 80мм до 300мм) и сверх длиннофокусные (от 300мм до 600мм) объективы. Чем больше число у объектива, тем меньший угол захвата у снимка, то есть большее увеличение. Для создания виртуальных моделей рекомендуется производить съёмку объективом с фокусным расстоянием от 24мм до 80мм (значения приведены для полнокадровой матрицы) не рекомендуется использовать сверх широкоугольные И телеобъективы, так как первые расширяют перспективу и имеют сильную дисторсию – искривление перспективы изображения, а вторые, наоборот, сжимают перспективу и обладают крайне низкой глубиной резкости – эффектом, когда только небольшая часть расстояния в кадре находится в фокусе, остальное же окружение размывается (подробнее тема глубины резкости будет рассмотрена далее). При использовании объектива с переменным фокусным расстоянием важно помнить, что нежелательно изменять фокусное расстояние во время съёмок, так как при смене зума может исказиться геометрия объекта¹.

¹ <u>https://profotovideo.ru/obektivi-dlya-zerkalnich-kamer/pro-obektivi-prostim-yazikom</u>



Рисунок 3. Зависимость угла обзора от фокусного расстояния и классификация различных объективов



85mm @ 200cm 35mm @ 85cm 16mm @ 40cm 12mm @ 30cm 8mm @ 20cm Рисунок 4. Влияние фокусного расстояния различных объективов на перспективу

фотографии



Рисунок 5. Пример искажения преспективы при использовании широкоугольного объектива. Кирпичный дом слева неестественно вытянут на фотографии

выбором полнокадровой Оптимальным матрицы для фотограмметрии будет являться объектив с фиксированным фокусным расстоянием в 50мм, так как именно такие объективы передают перспективу аналогично человеческому глазу. Также объектива является критерием при выборе важным его максимальная светосила, однако в нашем случае данный параметр не важен, так как мы не будем использовать предельные значения. При съёмке с помощью дешёвых и некачественных объективов по углам изображения в большей степени проявляется эффект хроматической аберрации (разноцветные ореолы на границах объектов) и эффект отсутствия резкости. Если первый недостаток возможно убрать редактированием изображения, то о втором стоит помнить во время съёмки, чтобы в данную область не попадали критично важные детали, которые необходимо отразить на финальной модели.

Карты памяти желательно использовать самые быстрые – 10 класса и выше, так как фотографу не придётся ждать лишние пару секунд на сохранение фото, что при большом количестве снимков (в среднем на одну скульптуру необходимо 200 – 300 снимков) может обернуться лишними минутами бездействия. Более того, карты памяти должны быть объёмными (16 ГБ и более для одной скульптуры), так как съёмку лучше производить в RAW формате

(сыром, необработанном формате, в котором каждый снимок весит гораздо больше, чем сохранение в обычном jpeg).

- О Поляризационный фильтр. С одной стороны, данный тип фильтров помогает убрать из кадра нежелательные блики, однако фильтр нейтрализует свет только с одного направления, оставляя блики от других источников света, и в тоже время делает снимки значительно темнее, из-за чего приходится увеличивать время выдержки на получение каждого кадра (подробнее в пункте про этап съёмки). При съёмках в музее авторы работы не использовали фильтры, так как удавалось минимизировать количество бликов правильным размещением осветительных приборов, однако не всегда есть возможность менять источники света, из-за этого «полярик» может стать отличным помощником в трудных ситуациях.
- Различное сопутствующее оборудование:
 - Софиты или прямые осветительные приборы необходимая вещь в съёмке. С помощью дополнительного света можно подсветить детали объекта, перебить направленный на объект свет, который создаёт нежелательные тени, высветлить текстуру объекта для более простого позиционирования точек компьютерным зрением. Осветительные приборы желательно располагать за пределами кадра, так как они могут испортить снимки.
 - Штатив, который желательно должен быть выше человеческого роста, чтобы была возможность снять самые верхние точки скульптуры, до которых невозможно дотянуться. Штатив, как и дополнительное освещение объекта съёмки, поможет сильно подтянуть качество изображений из-за устранения эффекта от дрожащих рук и возможности выставлять длинную выдержку (о которой будет информация в главе, посвящённой съёмке).
 - Спусковой тросик, пульт дистанционного управления специальная кнопка, которая подключается к фотоаппарату по проводному интерфейсу и позволяет избежать тряски фотоаппарата во время съёмки и позволяет снимать даже в том случае, когда фотоаппарат находится высоко.
 - О Хромакей (ровное одноцветное полотно, чаще всего ярко зелёного, белого, чёрного или голубого цветов) для того, чтобы объект съёмки не сливался по цвету с фоном. Однако целесообразность использования одноцветного фона остаётся под вопросом, так как тесты в домашних условиях на точность распознавания одной и той же фигуры показали, что фотографии выровнялись лучше без использования хромакея, так как компьютерное зрение ориентируется в пространстве в том числе и по предметам на заднем плане. Однако хромакей может быть незаменим, когда на объекте съёмки отражается цвет окружения

(как на примере со съёмкой «Афины»), либо когда на скульптуру падают прямые солнечные лучи, которые необходимо рассеять, дабы избежать контрастных теней.



Рисунок 6. Свет от красной стены отразился на самой модели «Афины». Правая картинка – 3D модель

 Кодировочные метки, помогающие компьютерному зрению определить положение снимков в пространстве. Распечатать данные маркеры можно на обычном листе A4 в программе «Agisoft Metashape» через: «Инструменты – Маркеры – Напечатать Марки...». Также кодировочные метки представлены в конце данного документа.



Рисунок 7. Пример кодировочной мишени из Agisoft Metashape

- Графический планшет, для точного и более комфортного редактирования моделей.
- Компьютер. Фотограмметрия нетривиальная задача для компьютера, из-за этого он должен удовлетворять довольно высоким системным требованиям, чтобы справляться с вычислениями. Оптимальным

решением будет использование стационарных компьютеров. Ноутбуки – не лучший выбор для фотограмметрии – их системы охлаждения не предназначены для продолжительной нагрузки на 100%, следовательно, после перегрева комплектующие начнут троттлить – сбрасывать свои частоты и мощность, что отрицательно скажется на времени обработки задач, а слишком долгая эксплуатация в экстремальных условиях сильно сократит срок их службы. После продолжительного анализа нагрузки на компьютерные компоненты во время работы с виртуальными моделями с помощью программы мониторинга MSI Afterburner, а также на основе системных требований используемых в данной работе программ был требований, предъявляемых список для процесса составлен фотограмметрии.

- о Оперативная память (далее ОЗУ). Наличие большого объёма ОЗУ является ключевым фактором при выборе либо при сборке компьютера. 12ГБ – минимальный порог на момент 2020 года для качественных моделей, по уровню детализации создания пригодных для использования в системах учёта. Чем больше памяти установлено, тем сильнее можно повышать настройки моделей. Если компьютер обладает слабой качества вычислительной мощностью, но ОЗУ будет достаточно, то процесс хоть и будет обрабатываться долго – он не остановится из-за прекращения работы программ по причине переполнения памяти. Рекомендованный объём ОЗУ – 16Гб и более.
- о Центральный процессор (ЦП, CPU). Фотограмметрия долгий, но предсказуемый для компьютера процесс, из-за этого программы могут распараллеливать нагрузку по всем ядрам производительность на одно ядро не является ключевым преимуществом при вычислениях компьютерным зрением. Поэтому оптимальным выбором будут современные многоядерные процессоры или флагманские решения прошлых поколений.
- о Видеокарта (графический процессор, GPU). В некоторых аппаратное ускорение задействовать программах можно посредством GPU. Стоит учесть тот факт, что некоторые программы работают только с графическими процессорами конкретного производителя. Например, Reality Capture или MeshRoom работают только с видеокартами Nvidia, a Agisoft способен использовать также видеоускорители компании AMD. официальному руководству пользователя Согласно Agisoft, Metashape поддерживает вычисления на GPU Nvidia с Geforce GTX 400 серии (2010 год) и новее, а на AMD – с карт серии Radeon HD 6000 (2010 год) и выше. Профессиональные типы видеокарт не дадут ощутимого прироста производительности.

- О Постоянная память. Во избежание потери данных, необходимы надёжные хранилища данных. Так как в процессе фотограмметрии собирается огромный массив данных, то необходима покупка жёстких дисков большого объёма (более террабайта) – они дешевле и надёжнее твердотельных накопителей (SSD). Так как во время обработки фотограмметрических данных в основном происходит линейное чтение, то довольно низкая скорость работы жёстких дисков не станет «бутылочным горлышком». Однако, под систему и программное обеспечение всё же рекомендуется использовать SSD.
- Необходимо использовать достаточное охлаждение и качественный блок питания – порой вычисления непрерывно длятся часами и занимают всю вычислительную мощность компьютера, из-за этого экономия на системе охлаждения и блоке питания нежелательна – при выходе из строя последнего, комплектующие компьютера могут тоже прийти в негодность.

В рамках работы над данной методикой использовались два стационарных компьютера:

- Музейный intel core i7-9700, 32ГБ ОЗУ, Nvidia GTX 1660;
- Личный intel core i7-2600k, 12ГБ ОЗУ, Nvidia GTX 1080.



Рисунок 8. Мониторинг нагрузки системы в программах с помощью MSI Afterburner



Рисунок 9. Мониторинг нагрузки системы в виде графиков с помощью MSI Afterburner

Некоторые рекомендации по подготовке к съёмке

Главные враги новичка фотограмметрии – свет и тени, однако если подружиться с ними, то они станут для вас близкими помощниками.

В этом пункте будут перечислены некоторые советы, которые следует помнить и соблюдать:

- Если скульптура находится на улице, то рекомендуется дождаться пасмурной погоды, когда свет от солнца равномерно распространяется по поверхности. Прямые тени от солнца будут плохо смотреться на финальной текстуре, а постоянное изменение положения теней из-за движения солнца введёт компьютерное зрение в заблуждение.
- Не стоит использовать прямую вспышку во время фотограмметрии изза неё на каждом снимке будут разные тени, и компьютер не сможет точно выровнять фотографии.
- Сложными для распознавания компьютерным зрением являются тёмные (особенно полностью чёрные), одноцветные и глянцевые объекты. Абсолютно непонятными объектами для компьютера являются прозрачные поверхности, шерсть и волосы.



Рисунок 10. Неудачная фотограмметрия шерстяной статуэтки обезьяны

• Лучше снять больше фотографий и затем отобрать нужные, чем упустить какую-либо часть сцены и затем восстанавливать её на постобработке с помощью 3D-моделирования.

Настройка камеры

Первым делом, перед началом фотографирования объекта, необходимо выставить оптимальные настройки камеры. Желательно производить съёмку в RAW формате, так как изображения в данном формате имеют намного больший потенциал для дальнейшего редактирования, чем фотографии в формате JPEG. Как человеческий глаз, так и фотоаппарат «видит» не сам предмет, а отражённый свет от данного предмета. По сути, цифровая фотография – это информация о фиксирующемся свете, попадающем на матрицу, где и формируется изображение. На самом деле процесс преобразования кадра реального мира в цифровой формат намного сложнее,

однако подробные знания в этой области не столь важны для достижения цели. Чтобы получить хороший снимок, света не должно быть слишком много или мало — экспозиция, то есть яркость снимка, должна быть сбалансирована таким образом, чтобы избежать пересветов или слишком тёмных областей. На экспозицию влияют время выдержки, чувствительность ISO и размер диафрагмы. Иными словами, экспозиция — это соотношение этих трёх параметров.

Чувствительность ISO. Данный параметр отвечает за то, насколько матрица становится чувствительна к свету. Чем больше показатель числа ISO, тем ярче становится кадр, но в то же время на снимке появляется больше шумов и помех. Обычно меньше всего помех на снимке при самом минимально возможном ISO, которое можно выставить на камере (например ISO 100), а более-менее приемлемый уровень соотношения качества-яркости в среднем соблюдается при ISO ниже 800 единиц, однако у каждой камеры данное значение может варьироваться. При создании 3D-моделей культурного наследия повышать показатель ISO выше 400 единиц следует только в случае, когда ведётся съёмка с рук, так как образовавшийся цифровой шум на фотографии может повлиять на поверхность финальной модели например, гладкая, глянцевая поверхность станет матовой и шершавой на виртуальной фигуре. На рисунке со сравнениями фотографий ниже видно, что на уровне светочувствительности равной 800, на изображении уже появляется зернистость.





Рисунок 11. Сравнение фотографий с разной светочувствительностью

• Время выдержки (скорость затвора). Выдержка – это время экспонирования фотографии, то есть какое количество времени

фотоаппарат захватывает свет. Чем дольше время выдержки, тем ярче получается финальный кадр. Однако при выдержке дольше определённого значения кадр размывается от тряски камеры руками. Это предельное значение зависит от таких факторов как: наличие стабилизации матрицы или объектива, профессионализма фотографа и т. д. Так, для Canon Powershot G9X mark II при скорости затвора ниже 1/30 секунды во время съёмки с рук кадр получается смазанным. Так как скульптуры неподвижны, а камеру возможно крепко зафиксировать на штативе, то выдержка является основным способом изменения экспозиции кадра при проведении съёмок для фотограмметрии. Однако, чтобы в момент фотографирования избежать дрожания камеры, необходимо использовать либо спусковой тросик, либо устанавливать на таймер процесс съёмки – например, чтобы снимок был совершён через 2 секунды после нажатия на кнопку спуска. В случае со съёмкой на Canon EOS 5DS R, в помещении музея при искусственном освещении средние значения выдержки составляли от половины секунды в освещённых условиях до четырёх секунд в тёмных.



Рисунок 12. Сравнение фотографий с разной выдержкой

Размер диафрагмы. Диафрагма – это специальные затворки, которые регулируют диаметр отверстия, через которое проходит свет на матрицу. Чем больше открыта диафрагма, тем больше света улавливает камера. Однако по мере того, как открывается диафрагма, уменьшается глубина резкости, то есть сильнее размывается фон на снимке – всё меньше будет область, на которой может сфокусироваться фотоаппарат. Размер диафрагмы обозначается буквой "f" и числом: чем оно больше, тем меньше открыта диафрагма. Например, для Canon Powershot G9X mark II, f2.0 – диафрагма полностью открыта, a f11 – максимально закрыта, то есть отверстие, через которое попадает свет на матрицу минимально. Наглядно размер диафрагмы и влияние её размера на глубину резкости



Рисунок 13. Размер диафрагмы и глубина резкости



Рисунок 14. Сравнение глубины резкости при разных параметрах диафрагмы

При изменении размера диафрагмы меняется не только глубина резкости – при слишком закрытых позициях диафрагмы сильнее проявляется эффект дифракции² – изображение начинает замыливаться – причём чем меньший размер пикселя у камеры, тем больше деталей теряется. То есть на полнокадровой камере по мере закрытия диафрагмы негативные последствия дифракции будут наступать позже, чем на камерах с меньшей матрицей. При сравнении изображений на рисунке 14 можно заметить, что при значении диафрагмы в f5.6 на изображении

² <u>https://prophotos.ru/lessons/21566-difraktsiya-v-fotografii</u>

отобразилось намного больше деталей, чем при полностью закрытой диафрагме f22.



NIKON D3400 ISO 100, F5.6, 1 c NIKON D3400 ISO 100, F22, 15 c

Рисунок 15. Дифракция - сравнение изображений с открытой и закрытой диафрагмой

Однако, как уже было упомянуто ранее, если слишком сильно открыть диафрагму, то изображение станет нечётким по углам изображения, в особенности при применении некачественной оптики, и появятся хроматические аберрации.

Из-за этого при съёмке скульптур желательно соблюдать «золотую середину» – не выставлять крайние значения. Для каждой камеры «золотая середина» подбирается индивидуально. В рамках данной работы при съёмке в стенах музея на Canon EOS 5DS R значение диафрагмы было выставлено на f8.0, так как при такой настройке фон размывался не сильно, эффект дисторсии не портил снимки, и на матрицу попадало достаточно света, чтобы не выставлять слишком длинную выдержку даже в тёмных условиях съёмки, что сокращает время на получение необходимых для фотограмметрии кадров.

Резюмируя, на экспозицию, то есть яркость снимка, влияют выдержка, диафрагма и чувствительность ISO. После проведения многочисленных экспериментов было выявлено, что лучше производить съёмку, используя штатив и спусковой тросик, при минимально возможной настройке ISO, при среднем значении диафрагмы, компенсируя яркость изображения длинной выдержки.

После настройки уровня экспозиции необходимо также выставить баланс белого – настроить цветовую температуру снимка, чтобы цвета на экране фотоаппарата выглядели максимально приближенными к настоящим. Цветовая температура измеряется в Кельвинах (К) – чем ниже цветовая температура, тем более холодным оттенком окрашивается цвет и наоборот – высокая температура обращает цвета в кадре в теплые.



Рисунок 16. Пример различной цветовой температуры

Обычно за выявление необходимого баланса белого отвечает автоматика камеры, однако в случае фотографирования для создания виртуальных моделей необходимо вручную заблокировать уровень баланса белого, так как любые изменения цвета скульптуры на снимках отразятся на финальной текстуре – цвет текстуры будет неоднородным, будет заметна мозаика того, как сшивались снимки. Зачастую в фотоаппаратах уже встроен набор предустановок «Дневной свет», «Тень», «Облачно», «Лампы накаливания» и другие, однако также возможна настройка цвета путём замера точки белого (например, с помощью пустого белого листа, но предпочтительнее – использование «серой карты» - специальной карточки эталонного серого цвета) или ручной настройки количества Кельвинов. После установки необходимой цветности кадра необходимо не менять его до конца съёмки. При необходимости, если на месте съёмки цветовая температура была определена неверно, изменить баланс белого можно будет на постобработке в редакторе (о работе с которым написано далее).

Процесс съёмки объекта

В данной главе будет описан процесс съёмки моделей. Разобраться в принципах съёмки поможет пример того, как производилась съёмка «Неаполитанского мальчика-рыбака»:



Рисунок 17. Пример проведения съёмки скульптуры, вид сбоку



Рисунок 18. Пример проведения съёмки скульптуры, вид сверху

Фотоаппарат был настроен, по принципам, описанным в предыдущей главе – не рекомендуется сильно менять выбранные настройки без крайней необходимости, иначе цвет текстуры модели получится неравномерным. Снимать лучше в RAW формате, так как потом у данных фотографий будет

больший потенциал к редактированию, чем у фотографий, снятых в JPEG формате. Во время съёмки можно менять ориентацию фотографий, то есть переходить с горизонтальной серии на вертикальную серию кадров, однако лучше избегать данного перехода. Если съёмка производится внутри помещения с перемещаемым освещением, то нужно минимизировать количество бликов и теней на объекте съёмки – для этого нужно избегать прямого попадания направленных источников света на глянцевые скульптуры. Оптимальным решением данной проблемы будет направление потока света на потолок, чтобы свет рассеяно поступал на модель, тем самым, не создавая лишних бликов. Если на объект отражаются какие-то поверхности (как это было в случае съёмки «Афины» в примере ранее), то с помощью однородной ткани или хромакея нейтрально серого цвета необходимо закрыть источник отражения. Однако, не стоит полностью закрывать фон при съёмке объекта – был проведён эксперимент: один и тот же объект при одинаковых условиях был снят на однородном фоне и без него (на фоне, где были расположены различные объекты). В итоге выравнивание фотографий оказалось лучше во втором случае, так как компьютерное зрение определяло позицию камеры также с помощью фоновых объектов. Объект съёмки должен освещаться со всех сторон равными по мощности источниками света – чем больше данных источников, тем лучше будет финальное качество фотографий. Перед началом съёмки рекомендуется разложить кодировочные маркеры по всей поверхности съёмки.



Рисунок 19. Пример расстановки кодировочных марок

Съёмку предмета нужно производить в несколько этапов:

Сначала, нужно сделать полный круг общих фотографий, куда, желательно, должна помещаться скульптура во весь рост. Данные снимки должны быть сделаны с большим перекрытием – на каждом снимке должна быть значительная часть предыдущего снимка, чтобы компьютерное зрение могло соединить фотографии воедино. Не обязательно каждый раз чётко измерять одинаковое расстояние между точками съёмки, однако желательно, чтобы количество снимков было равномерным. При съёмке нужно думать, как компьютер – каждый кадр нужно запечатлеть так, чтобы на нём была какая-нибудь отличительная особенность, относительно которой могло бы происходить выравнивание данных фотографий на следующем этапе.



Рисунок 20. Первые 9 фотографий «Неаполитанского мальчика-рыбака»

 Далее, нужно поменять высоту съёмки – например снять объект снизу, а затем сверху. На изображении ниже показан примерный ход фотографирования объекта.



Рисунок 21. Очерёдность съёмки объекта



Рисунок 22. Пример съёмки скульптуры сверху, с уровня человеческих роста и снизу

 После того, как модель была отснята на нескольких высотах вокруг, можно приступить к съёмке деталей, которые уже нужно снимать крупным планом, желательно с двух и более сторон, для точного запечатления рельефа.



Рисунок 23. Примеры съёмки деталей «Неаполитанского мальчика-рыбака»

После того, как съёмка мелких деталей с разных сторон окончена, можно переходить к следующему этапу – обработке полученных фотографий.

Обработка фотографий

С помощью постобработки изображений можно: увеличить экспозицию снимков, изменить цветовую температуру, настроить чёткость, насыщенность,

контрастность, понизить яркость бликов, осветлить тени, убрать хроматическую аберрацию – все эти действия можно выполнить в самом популярном графическом редакторе «Lightroom» от компании Adobe или в бесплатных аналогах данного ПО, таких как: «Lightzone», «Fotor», «Raw Therapee» или веб-версией Lightroom.

В данной работе все фотографии будут обрабатываться в Lightroom, алгоритм работы других программ схож с алгоритмом, представленным ниже.



Рисунок 24. Стартовое окно Lightroom

Перед началом работы в Lightroom необходимо импортировать фотографии в Raw-формате в программу. Для этого нужно воспользоваться кнопкой «Import» в левом нижнем углу.

После этого, нужно отметить галочкой нужные фотографии и подтвердить выбор нажатием кнопки «Import».



Рисунок 25. Импорт фотографий в Lightroom

Далее, в левой верхней части экрана будет отображаться процесс импорта, необходимо дождаться загрузки всех фотографий.



Рисунок 26. Процесс импорта фотографий в Lightroom

После завершения обработки нужно перейти во вкладку «Develop». В этой вкладке каждая фотография представлена по отдельности и может быть отредактирована с помощью настроек, отображённых в правой части экрана.



Рисунок 27. Вкладка «Develop» в Lightroom

Красные области, представленные на фото – пересветы, а синие – слишком тёмные участки. Ниже представлено фото до обработки.



Рисунок 28. Фото до обработки в Lightroom

В разделе настроек изображения можно изменить:

- Просвеченные области (Highlights) при уменьшении данного параметра яркость светлых участков, включая блики, падает.
- Яркость теней (Shadows) если увеличивать данный параметр, тени на изображении становятся светлее, из-за чего детализация предметов в тени повышается.

- Яркость белых областей (Whites) при уменьшении данного параметра ярко-белые цвета затемняются, а следовательно данная настройка помогает ещё сильнее подавить блики.
- Яркость чёрных областей (Blacks) при увеличении данного параметра детали в очень тёмных областях становятся более различимыми.

Принцип работы остальных параметров в данной работе рассмотрен не будет, так как они не столь важны при редактировании фотографий для фотограмметрии. Однако с ними вы можете ознакомиться отдельно, в интернете есть огромное количество обучающих материалов по Lightroom, в отличии от следующих программ.



Рисунок 29. Фото после обработки в Lightroom. В правой части расположены настройки

конкретно данной фотографии.

С помощью клавиши «\» на клавиатуре можно сравнивать фото до и после применения изменений. Так как до этого фотографии были сняты в одинаковых условиях, с одинаковыми параметрами, можно применить изменения данной фотографии на все остальные. Для этого нужно выбрать все импортированные фотографии: «Edit-Select All», как показано на скриншоте ниже, а затем нажать кнопку «Sync» для синхронизации настроек редактирования фотографий.



Рисунок 30. Выбор всех импортированных фото в Lightroom

Maxel gator FIL 111 112 Navigator FIT FILL 111 112 Vice of the second s	Synchronize Settings Treatment & Profile White Balance Basic Tone Contrast Highlights Shadows White Clipping Black Clipping Disc Curve Canty Dehaze Sharpening	Color Saturation Vitivance Color Adjustments Split Toning Local Adjustments Brush Graduated Filters Radial Filters Visioe Reduction Viuminance Color	Libra Lens Corrections Lens Profile Corrections Cromatic Aberration Lens Vignetting Transform Upright Mode Upright Transform Transform Adjustments Effects Grain Process Version Calibration	ny Develop Map	Book Slideshow Print Web Histogram V Histogram V Fistogram V Basic V Fistogram V F
► Bow Copy Paste	Check All Check None			Synchronize Cancel	Contrast +6
1 2 Previous Import	66 photos /66 selected /IMG_53	74.CR2 👻			Filter: Filters Off
	** ** ** ** **				

Рисунок 31. Выбор параметров синхронизации в Lightroom

После этого, в левой верхней части окна появится индикация процесса применения настроек.

File Edit Develop Photo Settings Tools View Window Help



Рисунок 32. Синхронизация настроек фотографий в Lightroom

После того, как указанные настройки применились для всех изображений, нужно экспортировать полученные результаты. Для этого нужно перейти в раздел: «File-Export».



Рисунок 33. Выбор экспорта изображений в Lightroom

В меню экспорта нужно выбрать папку для сохранения файлов, формат изображений, цветовое пространство, цветовую глубину. Желательно конвертировать изображения без потерь в формат TIFF, так как сжатие изображение до формата JPEG увеличивает количество нежелательных шумов, цветовое пространство – sRGB, как наиболее распространённое, а цветовую глубину – максимально возможную.

Export 66 Files	— 🗆 X
Export To: Hard Drive V	Execut 65 Elea
Preset:	Export 66 Files
	Example: IMG_S366.jpg Extensions: Lowercase
Add Remove	Image Format: IPEG V Quality: 77 V Done Export Cancel

Рисунок 34. Параметры экспорта в Lightroom

	Export To:	Hard Drive	~				
reset:				E	Export 66 Files		
Lightroom Preset	s		A	^ [▼ File Settings		^
User Presets					Image Format: TIFF V Compression: None V	~	
					Color Space: sRGB V Bit Depth: 16 bits/component V	~	
					sRGB		
					Display P3 Image Sizing Adobe PGR (1999)		
					Resize to Fit: ProPhoto RGB Don't Enlarge		
					W: Other Resolution: 240 pixels per inch	~	
					▼ Output Sharpening		ł
					Sharpen For: Screen V Amount: Standard V		I
					▼ Metadata		l
				Ш	Include: All Metadata		I
					Remove Person Info		I
					Write Keywords as Lightroom Hierarchy		I
					▼ Watermarking		l
				Ш	Watermark: Simple Copyright Watermark		I
					V Post-Processing		l
A	bb		Remove			_	~

Рисунок 35. Параметры экспорта в Lightroom

После нажатия на кнопку «Export» начнётся длительный процесс экспорта отредактированных изображений в выбранную папку.

Начало работы с Agisoft Metashape

Программа Agisoft Metashape обладает крайне обширным функционалом, а для задач фотограмметрии музейных экспонатов даже

избыточным. В данной работе будет представлен ход работы именно в платном решении от Agisoft, однако, существуют и бесплатные аналоги, позволяющие создавать 3D-модели. Так, была протестирована программа с открытым исходным кодом «MeshRoom», которая показала относительно неплохие результаты. К сожалению, интерфейс данного ПО довольно сложен – управление процессом фотограмметрии происходит с помощью узлов, к которым нет каких-либо подробных инструкций и пояснений. Более того, в программе нет многих важных функций, таких как: выделение необходимой области реконструкции объекта, возможность применения меток, чистка модели от лишних, ошибочно построенных меток и т.д. Также из бесплатного ПО можно выделить: VSFM, Micmac, MVS, SuRe, Python Photogrammetry Toolbox, однако все они уступают по удобству использования и качеству финального результата программному решению Agisoft Metashape.

Untitled — Agisoft Metashape Professional	a have been a familie and a state of the second	1 ×
<u>Ф</u> айл <u>П</u> равка <u>В</u> ид <u>О</u> бработка <u>М</u> одель <u>С</u> нимок у	Qpто Инструменты Справка	
	・ 〃 × 坂 Q 中 🔛・田・郷・小・ 🔯・聯 🖬・曲	
Rpoerr BX	Magens Opro	
≈а тво то		
🔠 Chunk 1 (0 камер)		
Проект Привязка	Синиа Консоль Очередь задач	
		26

Загрузка фотографий

Рисунок 36. Внешний вид начального экрана Agisoft Metashape

На данном рисунке представлен скриншот программы при создании нового проекта. Первым делом необходимо зайти в настройки, чтобы выбрать язык программы, стиль интерфейса и активировать ускорение обработки при помощи GPU. Для этого нужно перейти в «Tools – Preferences», если программа запустилась на английском языке, или в «Инструменты – Настройки», если на русском.



Рисунок 37. Переход в меню настроек в Agisoft Metashape, английская локализация



Рисунок 38. Переход в меню настроек в Agisoft Metashape, русская локализация

Далее, выбрать язык и тему программы (на скриншотах выбрана тёмная тема).

Настройки	1 Phot	oScan				×				
Основные	GPU	Сеть	Внешний вид	Навигация	Дополнительно					
Пользова	тельск	ий интер	офейс							
Язык:				Russian						
Вид по ун	юлчани	ю:		Модель						
Тема:				Тёмная						
				Режи	м высокого разреш	ения (High DPI)				
Быстрые	клавиц	ш			Настроить					
Стереоск	опичес	кий прос	мотр							
Режим:				Анаглиф						
Параллан	(C:			1.0						
Измерени	เя									
Формат и	ироты	долготь	я:	Десятич	ные градусы					
Единицы	измере	ния:		Единиць	Единицы системы координат 🛛 🔻					
				🗸 Испо	Использовать производные единицы					
- Прочее										
🗸 Про	верять	наличие	е обновлений при	и запуске прог	раммы					
3an	исыват	ь журна.	п в файл:							
					ОК Отме	на Применить				

Рисунок 39. Основные настройки Agisoft Metashape

Далее, перейти в раздел «ГПУ» и активировать аппаратное ускорение с помощью видеокарты, установленной в компьютере, путём установки галочки напротив строки с видеокартой, а также активировать параметр «Использовать ЦПУ для обработки совместно с ГПУ», что должно ещё сильнее повысить производительность.

		shape					×
Основные	гпу	Сеть	Внешний вид	Навигация	Дополнительно		
Устройства	ГПУ:						
ycrpoikerae ✓ GeFc	n Fray:	rx 1080	(20 compute (units @ 1809	MHz, 8192 MB)	CUDA	
Ускорение глубины, п полигональ	обрабо остроен ьной мо	отки с ис ния поли одели.	пользованием Г ігональной моде	ПУ доступно д ли и ЦММ из	ля этапов поиска со карт глубины, постро	ответствий, пост рения текстуры и	роения карт уточнения
Важно: Прі интегриров	и испол занных	њзовани ГПУ для	и дискретного Г достижения оп	ПУ рекоменду гимальной пр	ется отключать испо ризводительности.	льзование ЦПУ і	И
🗸 Испол				вместно с ГП)			
					ОК	Отмена	

Рисунок 40. Активация аппаратного ускорения в Agisoft Metashape

Всё остальное не рекомендуется менять, если вы не уверены, что это необходимо.

Для применения настроек нужно нажать «Применить» и «Ок».

Для того, чтобы начать проект, необходимо загрузить фотографии в программу, путём перетаскивания всей папки, либо выделенных фотографий в «Chunk 1».



фото в проект

Файл Правка					
		⊡ ⊑ • 4 •∧		- 🕸 - 🔶 - 🔯 - 🕸 🖻	a - ≘
Receir					
11 Проект (1 блок, 0 ка Сћипк 1 (0 кам	імер) ер)				
			Добавить снимки выберите структуру данных:		
			🔯 Отдельные канеры		
			(Φ) βουσοντικό είχου (Φ)		
Свойство					
Chunk 1 Камеры	0			ОК Отнена	



Далее, после того как фотографии будут загружены в проект, появится количество камер (то есть фото) слева, в списке проекта, каждую фотографию также можно открыть из нижнего окна двойным щелчком мыши.



Рисунок 43. Загруженные в Agisoft Metashape фотографии

Можно переключиться в детальный список режима просмотра фотографий для просмотра дополнительной информации о настройках съёмки, а также, по

желанию, оценить качество снимков – как это сделать, указано на скриншотах ниже.

Ceevan ♂ ○ × (3), (2), (3), [3], □ ■ ⊞ •											ъ×
Название -	Размер	Большой	Качество	Время создани:	Производитель	Модель	Фокусное расст	Диафрагма		Выдержка	35м
IMG_5366	5472x3648	📰 Средний		2020:05:22 20:0							
IMG_5367	5472x3648	🏢 Маленький		2020:05:22 20:0		Canon PowerSh					
IMG_5368	5472x3648			2020:05:22 20:0		Canon PowerSh					
IMG_5369	5472x3648	:= Детальный 		2020:05:22 20:0		Canon PowerSh					
IMG_5370	5472x3648			2020:05:22 20:0		Canon PowerSh					
IMG_5371	5472x3648			2020:05:22 20:0		Canon PowerSh					
IMG_5372	5472x3648			2020:05:22 20:0		Canon PowerSh					
IMG_5373	5472x3648			2020:05:22 20:0		Canon PowerSh					
J											
Снимки Консоль											

Рисунок 44. Переключение в детальный режим просмотра фото



Рисунок 45. Выбор оценки качества изображений.

0 0 × 21										
Название 🔺	Размер	Выровнено	Качество	Время создани:	Производитель	Модель	Фокусное расст	Диафрагма	Выдержка	35м
IMG_5366	5472x3648									
IMG_5367	5472x3648									
IMG_5368										
IMG_5369										
IMG_5370										
IMG_5371						Canon PowerSh				
IMG_5372										
IMG_5373										
IMG_5374										
IMG_5375	5472x3648									
IMG_5376	5472x3648					Canon PowerSh				
IMG_5377						Canon PowerSh				
IMG_5378										
IMG_5379										
IMG_5380						Canon PowerSh				
IMG_5381										
IMG_5382						Canon PowerSh				
IMG_5383										
IMG_5384						Canon PowerSh				
IMG_5385	5472x3648									
IMG_5386						Canon PowerSh				
IMG_5387										
IMG_5388										
Снимки Консоль										

Рисунок 47. Анализ качества изображений в Agisoft Metashape

В столбце «Качество» появляются индексы, которые показывают, насколько чёткое и резкое получилось изображение, относительно других. Если данный

параметр ниже 0,5, то изображения рекомендуется заблокировать (ПКМ-Блокировать камеры), либо удалить, однако, если данная часть реального объекта, находящаяся на изображении, не дублируется другим, то лучше не блокировать его.

Далее, если вы использовали кодировочные маркеры при съёмке скульптуры, то нужно перейти в «Инструменты-Маркеры-Найти Марки», как на скриншоте ниже.



Рисунок 48. Поиск кодировочных маркеров

Необходимо выбирать параметры поиска, исходя из параметров, которые были выбраны при их печати. Чувствительность – 100%, если будут расставлены ложные метки, то необходимо её снизить.

_								
Найти марки								
Параметры								
Тип марок:	Круговой 12 бит							
Чувствительность:								
Максимальная невязка (пикс):								
Применить только к выбранных	Применить только к выбранным камерам							
Инвертированный (белый на че	ёрном)							
Отключить контроль чётности								
ОК	Отмена							

Рисунок 49. Параметры поиска маркеров

После того, как процесс поиска маркеров завершён, на изображениях появятся зелёные флажки, с указанием номера маркера.



Рисунок 50. Найденные кодировочные маркеры в автоматическом режиме

Однако, зачастую, Agisoft Metashape распознаёт не все маркеры, как на картинке ниже.



Рисунок 51. Не все кодировочные маркеры определены в автоматическом режиме

Для этого можно расставить маркеры вручную. Необходимо как можно точнее навестись на место, где должен стоять маркер, кликнуть ПКМ и разместить необходимый маркер соответственно его числовому номеру. Так, на изображении ниже был пропущен маркер №2, из-за этого был выбран «target 2».


Рисунок 52. Ручная установка маркера

Не обязательно размещать маркеры на каждую метку, так как далее, компьютерное зрение расположит их автоматически при выравнивании фотографий.

Таким образом, можно устанавливать маркеры не только на специальные кодировочные мишени, а на любую примечательную точку: на стык текстур, на угол узора на фоне, на мелкое повреждение на скульптуре и т.д. Данное действие поможет, когда фотографии не могут правильно выровняться, относительно друг друга.

Выравнивание снимков

Первым этапом непосредственного создания модели является выравнивание фотографий – процесс, когда машинное зрение определяет положение и ориентацию камер (фотографий), после чего строится разреженное облако точек. Для запуска процесса необходимо выбрать «Обработка – Выровнять снимки».



Рисунок 53. Выбор функции «Выровнять снимки»

При «Выравнивании снимков» возможно изменение следующих настроек:

- Точность при выборе высокой точности используются изображения в исходном размере – именно данная настройка оптимальна для создания моделей. При средней точности каждое изображение сжимается в 4 раза относительно высокой. Выбор низкой точности приводит к сжатию изображения ещё в 4 раза и т. д. Более того, выбор «Очень высокой» точности увеличивает исходные изображения в 4 раза, что целесообразно использовать только когда исходные фотографии – очень резкие, что приводит к значительному увеличению времени обработки.
- Общая преселекция может повысить скорость обработки, предварительно отбираются пары изображений, с низкой точностью поиска соответствий, что может привести к снижению качества выравнивания.
- Макс. количество точек и макс. количество проекций ограничивает количество точек и проекций при выравнивании фото. При установке значений, равных 0, ограничение отключается, и компьютерное зрение может использовать столько точек и проекций, сколько требуется, что должно приводить к повышению точности выравнивания, но и увеличению общего количества затраченного времени на данном этапе.
- Адаптивное уточнение модели камеры автоматически изменяет предыдущие параметры в зависимости от оценки каждого снимка.

Все остальные параметры рекомендуется не менять.

Выровнять снимки	×
• Основные	
Точность:	Средняя 👻
Общая преселекция	
	Исходные значения 👻
Сбросить текущее выравнива	
- Дополнительно	
Макс. количество точек:	
Макс. количество проекций:	
Маскировать:	
Локальный поиск соответств	ий
🗸 Адаптивное уточнение модел	и камеры
ОК	Отмена

Рисунок 54. Параметры функции «Выровнять снимки»

Далее, необходимо нажать «ОК» для запуска процесса выравнивания.

Обработка в процессе выполнения	×
Поиск точек	
25% выполнено, 00:00:07 прошло, 00:00:21 осталось	
Общий ход выполнения:	
▼ Подробнее	
[GPU] photo 13: 20407 points	-
[GPU] photo 15: 19831 points	
[GPU] photo 16: 20170 points	
	- 16593
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Свернуть Пауза Отмена	

Рисунок 55. Процесс выравнивания снимков

После завершения предыдущей задачи на экране появится разреженное облако точек, исходя из которого можно оценить, правильно ли компьютерное зрение распознало геометрию объекта. В левом окне отобразится количество точек в разреженном облаке (в данном примере: 51 422 связующие точки). Более того, в том же окне, будет указано количество выравненных фотографий. Как видно, в данном случае были связаны все 66 из 66 изображений, однако, если какиелибо изображения не будут выравнены, то необходимо расставить дополнительные маркеры на фотографиях, над которыми не появилось галочки в нижнем окне «Снимки» и на фотографиях, где присутствует галочка, а объект снят с немного другого ракурса. После этой процедуры нужно заново повторить выравнивание снимков. Иногда, приходилось повторять данную процедуру более 15 раз, когда перекрытия между снимками были малы.



Рисунок 56. Разреженное облако точек

Как видно из скриншота ниже, на изображениях автоматически расставились недостающие маркеры, отмеченные белыми флажками. Данные белые маркеры, означают, что Agisoft Metashape предполагает, что в данной области расположена метка (причём Metashape располагает метки даже «сквозь предметы»). Если вы вручную расставляли маркеры вне кодировочных мишеней, то программа может расставить синие метки – они обозначают точки, в расположении которых компьютерное зрение уверено.



Рисунок 57. Расположение маркеров после выравнивания фотографий

Навигация в рабочем окне Agisoft Metashape производится следующим образом: вращение вокруг модели осуществляется с помощью шара,

расположенного на скриншоте ниже. Вращая шар левой кнопкой мыши, можно вращать всю модель. Приближение осуществляется прокруткой колёсика мыши, а движение – зажатым колёсиком или правой кнопкой мыши.



Рисунок 58. Шар, для вращения модели

Перед переходом к следующему этапу необходимо почистить модель от лишних объектов в кадре и выбрать область реконструкции объекта. Первым шагом, необходимо повернуть вид так, чтобы модель была повёрнута по отношению к пользователю на 90 градусов, как показано на изображении снизу. Затем, с помощью прямоугольного выделения (обозначенного цифрой 1 на скриншоте), необходимо выделить область с желаемой моделью и после нажать на «обрезать выделение» (цифра 2), чтобы убрать все точки, не относящиеся к выделенной области.



Рисунок 59. Выделение области точек и её обрезание

На скриншоте ниже представлен результат работы инструмента «обрезать выделение».



Рисунок 60. Результат работы инструмента «обрезать выделение»

Далее, вращая камеру вокруг модели, пользуясь прямоугольным выделением нужно очистить модель от лишних деталей (таких как основание, фон и т.д.) с помощью кнопки «Delete» на клавиатуре.



Рисунок 61. Чистка модели от лишних деталей

Чтобы сбросить вид к первоначальному состоянию, необходимо нажать 0 на клавиатуре. Теперь нужно повернуть модель параллельно, относительно основания. Сделать это можно с помощью инструмента «Повернуть объект», отображённом на скриншоте ниже.



Рисунок 62. Инструмент «Повернуть объект»

Далее нужно отмасштабировать область, внутри которой будет реконструироваться объект съёмки на последующих этапах. Сделать это можно с помощью функции «Сбросить область реконструкции», а после – с помощью инструментов «Повернуть область» и «Изменить размер области». Это нужно для того, чтобы компьютер не обрабатывал геометрию ненужных объектов (таких как фон) на следующих этапах. Тем самым меньше времени

будет затрачено на обработку. Однако, стоит помнить, что необходимо оставить немного пространства у основания модели, для ровного отсечения на следующих этапах.



Рисунок 63. Сбросить область реконструкции



Рисунок 64. Повернуть область



Рисунок 65. Изменить размер области

Чтобы сохранить весь проект, нужно выбрать «Файл-Сохранить как», после чего появится стандартное окно Windows.

Φ	айл <u>П</u> равка <u>В</u> ид	<u>О</u> брабо	тка <u>М</u> одель <u>С</u> нимок у	<u>О</u> рто <u>И</u> нструменты	<u>С</u> правка	💟 Сохранить файл	1 L 1	H. B. C.		S. 41.111		X
1	і <u>Н</u> овый	Ctrl+N	□•]• ∿ •∧•		⊝⊸‡₊	🕒 🕘 – 📙 « Лон	кальный диск (Е:) • photogrammetr	y > models > Chainfire	▼ 4 ₇	Поиск: Chaii	nfire 🔎
n 🎴	<u>О</u> ткрыть	Ctrl+O		Модель Орто		Упорядочить 🔻	Новая папка				8	I • 🔞
88 1 2 1	Добавить Сохранить	Ctrl+S				Видео	^	Имя	*	Дата изменения	Тип	Раз
•	Сохранить как		13,324 точки) [T]			Документы В Изображения			Нет элементов, удовлетво	ряющих условиям п	оиска.	
L	Облако					🜛 Музыка						
L	Экспорт Импорт					🤣 Домашняя груп	na =					
L	Загрузка данных					🧏 Компьютер	-					
L	<u>1</u> head2.psx					Докальный ди Докальный ди	ск (С:)					
L	2 MalchicPRO.psx					Локальный ди проstor (F:)	ск (Е:)					
	4 Vechnava vesna.ps	**					Chairfin	•				,
L	<u>5</u> Venus2.psx					<u>и</u> мя фаила: <u>Т</u> ип файла:	Проект Metasha	pe (*.psx)				•
ŀ	<u>В</u> ыйти					🔿 Скрыть папки				Сохра	анить	Отмена

Рисунок 66. Сохранение проекта Metashape

Рисунок 67. Стандартное окно сохранения файлов в Windows

Проект сохранится в указанную папку в виде папки с данными и файлом с расширением «.psx», который можно в дальнейшем использовать для открытия данного проекта. После этого сохранять результаты проекта можно комбинацией «CTRL+S». Рекомендуется сохранять проект после каждого пройдённого этап, чтобы избежать потери данных.

Плотное облако точек

Следующим этапом является построение плотного облака точек – каркаса будущей модели. Для этого нужно выбрать «Обработка – Построить плотное облако».



Рисунок 69. Выбор «Построить плотное облако»

Рисунок 68. Параметры плотного облака точек

- Качество плотного облака точек устанавливается по тому же принципу, как и качество разреженного облака – при высоких настройках применяются изображения в исходном разрешении, а при понижении ступени качества разрешение снижается в 4 раза.
- Фильтрация карт глубины фильтрация расчёта карт глубины задаётся в зависимости от реконструируемого объекта. Если у скульптуры много мелких деталей на переднем плане, то рекомендуется выбрать «Мягкую» фильтрацию – малейшие детали со снимков будут отражены в облаке, однако появится много постороннего шума, который потом придётся чистить. Если объект не имеет мелких деталей, то оптимальным вариантом будет «Агрессивная» фильтрация – с помощью неё будут исключены выбросы и ошибочно позиционированные точки. Золотой серединой является режим «Умеренный», его следует использовать, когда необходимо соблюсти баланс между деталями и ошибками точек, или когда невозможно определить, какой режим подойдёт лучше. Возможно и полное отключение фильтрации, однако это приведёт к появлению шума на 3D модели.
- Галочка «Рассчитывать цвета точек» должна быть установлена, если объект реконструкции цветной. Если же финальная модель по задумке должна быть чёрно-белая, то данную функцию можно отключить для уменьшения времени обработки.

Данный этап – самый большой по длительности обработки из всех этапов Agisoft Metashape. На скриншоте ниже представлено плотное облако точек –

хоть оно уже и выгладит как готовая модель, однако пока что состоит лишь из очень плотной сетки пикселей.



Рисунок 70. Плотное облако точек

Видно, что плотное облако заварочного чайника создалось, но над ним и по границам объекта находятся артефакты. Их необходимо убрать. Причём именно на данном этапе очень важно придать максимально приближенную к реальности геометрию, так как отдельно редактировать модель уже после будет проблематично. Чем аккуратнее будет «зачищена» модель, тем меньше проблем будет возникать на следующих этапах. Для этого, можно воспользоваться графическим планшетом. Для точного выделения нежелательных точек можно воспользоваться «Произвольным выделением».



Рисунок 71. Произвольное выделение

Аккуратно обводим лишние точки, как показано на рисунке ниже:



Рисунок 72. Выделение лишних точек в плотном облаке

После чего, выбранные точки подсвечиваются красным. Если не была затронута важная геометрия, то с помощью «Delete» точки убираются.



Рисунок 73. Выделенные лишние точки плотного облака

Как видно, на картинке ниже, ручка заварочного чайника зачищена – таким же образом необходимо очистить остальные части моделей от артефактов.



Рисунок 74. Зачищенная от лишних точек плотного облака часть модели

Таким образом необходимо убрать все лишние точки на модели. Результат показан на картинке ниже.



Рисунок 75. До и после чистки плотного облака точек от артефактов

Построение геометрии модели

После того, как «каркас» в виде плотного облака точек создан, строится модель, состоящая из полигонов³ – мельчайших плоскостей, состоящих из нескольких вершин, соединённых рёбрами. Практически каждая 3D модель состоит из такой сетки полигонов, как показано на картинке ниже.



Рисунок 76. Сетка полигонов

Полигоны в 3D цифровом пространстве можно сравнить с пикселями в 2D – чем их больше, тем качественнее изображение, но в то же время больше нагрузка на компьютер. В начале 2000-ых существовали модели, которые

³ https://stopgame.ru/blogs/topic/99935

вместо полигональной сетки использовали элипсоидную, однако популярности они не снискали и были вытеснены с рынка. Так как модель с миллионами полигонов, так называемую «высокополигональную модель» может обработать не любой компьютер, то модели для публикации обычно делают упрощённые, «низкополигональные», однако из-за различных приёмов внешне они практически не отличимы от «высокополигональных» (о данных приёмах будет написано далее).

Для того, чтобы построить модель в Agisoft Metashape, необходимо выбрать: «Обработка – Построить модель».



Рисунок 77. Выбор «Построить модель»

Построить модель	×
• Основные	
Исходные данные:	Плотное облако 👻
Тип поверхности:	Произвольный (3D) 🔹
Качество:	
Количество полигонов:	Среднее (60,000) 🔹
✓ Дополнительно	
Интерполяция:	Включена (по умолчанию) 🔻
Фильтрация карт глубины:	
Классы точек: Все	Выбрать
🗸 Рассчитывать цвета ве	ршин
ОК	Отмена

Рисунок 78. Параметры создания модели

Параметры при создании модели, следующие:

- Исходные данные выбор на основе разреженного или плотного облака точек строить модель. Разреженное облако следует использовать, только если нужно создать модель в кратчайшее время. Рекомендуется использовать плотное облако в качестве исходных данных.
- Тип поверхности для создания объёмной 3D модели музейной атрибутики необходимо выставить «Произвольный (3D)».
- Количество полигонов возможно выбрать уже предложенное количество полигонов (низкое, среднее, высокое количество), либо указать собственное количество. Рекомендуется выбирать либо среднее, либо высокое значение параметра.
- Интерполяция функция заполнения каких-либо отверстий в модели. Пункт «Отключена» восстанавливает модель без интерполяции, «Включена» - заполняет отверстия лишь небольшого радиуса, «Экстраполированная» - создаёт закрытую модель, без каких-либо отверстий. Рекомендуемое значение параметра интерполяции – «Включена».
- Галочка «Рассчитывать цвета вершин» должна быть установлена, если модель необходимо реконструировать в цвете.

Остальные параметры необходимо оставить в значениях по умолчанию.

После завершения обработки модели, в левом окне появится соответствующая пометка, а в рабочей области – модель, которая пока что не имеет текстуры.



Рисунок 79. Готовая модель, без текстуры

Построение текстуры

Текстура – изображение, накладываемое на модель, на котором изображена поверхность объекта. Для того, чтобы её создать, необходимо выбрать «Обработка – Построить текстуру».





Рисунок 80. Выбор "Построить текстуру"

Рисунок 81. Параметры создания

текстуры

Параметры при создании текстуры, следующие:

- Тип текстуры для создания моделей скульптур нужно установить пункт «Карта цветов».
- Исходные данные для создания моделей скульптур нужно установить пункт «Снимки».
- Режим параметризации для создания моделей скульптур нужно установить пункт «Общий».
- Режим смешивания принцип, согласно которому выбираются части изображений из исходных снимков для создания итоговой текстуры. «Мозаика» - наиболее подходящий вариант в случае создания 3D моделей культурного наследия – используется поэтапное смешивание всех деталей с исходных фотографий для получения максимально детализированной текстуры. «Усреднение» - применяется среднее значение по всем точкам. «Макс. яркость» и «Мин. яркость» - для финальной текстуры выбираются снимки с максимальной и минимальной яркостью соответственно. «Отключен» - работает по схожему алгоритму с «Мозаикой», однако возможно возникновение артефактов на текстуре.
- Размер и количество текстур данный параметр отвечает за изменение разрешения текстуры в пикселях. Чем больше разрешение, тем лучше внешний вид финальной модели, однако при этом возрастает и нагрузка на компьютер. На данный момент в некоторых программах, которые используются на следующих этапах существуют ограничения в 8192 на 8192 пикселя на текстуру. Если в компьютере недостаточно ОЗУ, и программа отключается или зависает на этапе создания текстуры, то можно либо снизить качество, либо разбить текстуру на несколько частей, однако на следующих этапах возникнет гораздо меньше проблем при использовании лишь одной текстуры.
- Включить заполнение отверстий данную опцию не рекомендуется отключать, так как при отключении некоторые области могут остаться без текстуры.
- Включить фильтрацию шумов при активации данного параметра активируется функция борьбы с шумами, что положительно сказывается на качестве финальной текстуры.

После того, как текстура создалась, видно, что на модели есть некоторые огрехи. Так, носик чайника и ручка обладают шершавой фактурой, в то время как в реальности поверхность чайника – гладкая и глянцевая. Однако, данные изъяны можно исправить. В следующих главах речь пойдёт о редактировании моделей.



Рисунок 82. Финальный вид модели заварочного чайника после создания модели в Agisoft

Metaashape

Экспорт результатов из Agisoft Metashape

В результате выполнения многочисленных манипуляций с исходными снимками в Agisoft Metashape – получается необработанная высокополигональная модель с текстурами.

Для того, чтобы поделиться предварительными результатами, можно сохранить вид с изображением модели в виде фотографии. Для этого необходимо кликнуть по рабочему пространству правой кнопкой мыши и выбрать пункт «Сохранить изображение».



Рисунок 83. Выбор "Сохранить изображение"

Далее появится окно с выбором места сохранения изображения, разрешения и других параметров, показанных на скриншоте ниже.



Рисунок 84. Настройки при сохранении изображения в Agisoft Metashape

Для дальнейшего редактирования модели нужно экспортировать её в формат, который можно использовать в других программах. Для этого необходимо перейти в раздел «Файл – Экспорт – Экспорт модели...».



Рисунок 85. Выбор "Экспорт модели..."

Далее появляется стандартное окно сохранения Windows, где необходимо указать папку для экспорта и название будущей модели. Также, в этом окне нужно указать тип файла, формат модели, в котором она будет сохранена. В сфере создания моделей культурного наследия самым оптимальным является формат «.obj», де факто общепринятый формат - именно «.obj» поддерживается всеми программами, используемыми на следующих шагах, так как является открытым форматом⁴.

⁴ <u>https://ru.wikipedia.org/wiki/Obj</u>



Рисунок 86. Окно выбора места экспорта

Далее появляется окно с выбором параметров экспорта модели.

Экспорт модели			×
Система координат			
Local Coordinates (m)			
Сдвиг: Х: 0 Ү: 0			
Параметры экспорта			
Камеры			
🗸 Цвета вершин			
🗸 Нормали вершин			
🗸 Экспортировать текстуру) JPEG	PNG TIFF	EXR
Преобразование растра:			
Добавить комментарий		vith Agisoft Metasha	
Двоичная кодировка	Точность:	6	
Использовать компоновку	текстуры UD	IM	
Сохранять альфа-канал			
ОК	Отме	ена	

Рисунок 87. Параметры экспорта модели в Agisoft Metashape

- Цвета вершин сохранение информации о цветах каждой вершины.
- Нормали вершин сохранение информации об расположении в пространстве каждой вершины.
- Экспортировать текстуру возможен экспорт текстур в разных форматах: JPEG наиболее популярный алгоритм сжатия, при котором текстуры весят крайне мало, при этом почти не заметна разница с

остальными форматами. Так как данная методика направлена на максимально возможную оптимизацию моделей при наименьших трудозатратах, то данных формат, несмотря на большое количество недостатков, является оптимальным. Текстуры в остальных форматах, которые весят по нескольку сотен мегабайт, невозможно использовать в сторонних программах или на «Sketchfab» – сервисе для публикации моделей для всеобщего обозрения, так как большинство гаджетов не способно обработать столь большой вес.

На изображении ниже представлено сравнение трёх экспортируемых из Agisoft Metashape форматов текстур. Под изображением текстуры написан формат, цветовая глубина и размер файла текстуры. JPEG не поддерживает прозрачность, в отличии от PNG и TIFF формата, где прозрачные области отображены белым цветом. Более того, два последних формата используют сжатие без потерь, в то время как JPEG после каждого изменения теряет всё больше деталей – из-за этого не рекомендуется часто сохранять текстуру в формате JPEG. Более того, текстуры в формате JPEG экспортируются с глубиной цвета равной 24 битам, а PNG и TIFF – 64 битам. Однако, все недостатки JPEG нивелируются большим преимуществом – эффективностью сжатия.

Текстура «Неаполитанского мальчика-рыбака» 8096х8096



Рисунок 88. Сравнение размера текстур разных форматов

Если сравнивать вес текстуры в JPEG и TIFF, то первый формат занимает в 83,6 раза меньше места. Таким же образом, текстура в формате PNG тяжелее соответствующей JPEG в 45,8 раз. При детальном осмотре моделей с текстурами разных форматов разница в качестве так и не была выявлена, из-за этого было принято решение использовать текстуры в формате JPEG.

В итоге, после экспорта в выбранной папке должны появиться три или более файлов: файл с текстурой (в данном случае в формате JPEG, файл настроек

материала и расположения текстур «.mtl» и файл с самой моделью в формате «.obj».



Рисунок 89. Результат экспорта модели

Содержимое «.mtl» файла можно открыть текстовым редактором, например, бесплатной программой «Notepad++»:



Рисунок 90. Содержимое файла «.mtl»

При отсутствии текстуры на модели рекомендуется проверить и при необходимости поменять ссылку на файл с текстурой в строке «map_Kd».

Первичное редактирование в MeshMixer

После того, как модель была сформирована в Agisoft Metashape, начинается длительный процесс редактирования модели и подготовки к публикации. Первым этапом редактирования является этап удаления ошибок при создании модели и отсечения ровного основания для того, чтобы в дальнейшем возможно было разместить объект в виртуальном пространстве. С данными задачами отлично справится бесплатная open-source программа «MeshMixer» от известной компании «Autodesk», обладающая интуитивно понятным интерфейсом и являющаяся крайне популярным софтом для подготовки моделей. Скачать программу можно по ссылке⁵. К сожалению, последний раз данная программа обновлялась в 2018 году, а её стабильность оставляет желать лучшего – после каждого совершённого действия программа всё больше загружает ОЗУ, при переполнении которой MeshMixer намертво зависает. Более того, она поддерживает работу только на Windows и MacOS, из-за этого пользователям Linux придётся использовать виртуальную машину или «WINE» для работы в MeshMixer.

Стартовое окно программы MeshMixer.

Autoue	sk Meshmixer		_						
File Help	Feedback								
Import Import									
Select.									
Basipi									
Edit					+		.		
					Import	Open			
Stades					to a	\bigcirc			
Export									
Print									

Рисунок 91. Стартовое окно MeshMixer

Импорт модели в формате obj в MeshMixer осуществляется с помощью команды «File – Import», либо путём перетаскивания самого файла obj в окно программы. Навигация в программе осуществляется следующим образом: вращать модель можно с помощью Shift и зажатого колеса мыши, либо правой кнопки мыши. Перемещать камеру – с помощью нажатия колёсика мыши, а изменять масштаб путём прокрутки колёсика.

⁵ <u>http://www.meshmixer.com/download.html</u>

После импорта модель может появиться в неправильной ориентации, для этого её нужно развернуть с помощью инструмента «Edit - Transform».



Рисунок 92. Выбор инструмента "Transform"

Первым делом, необходимо поднять модель над плоскостью основания с помощью стрелочек, как показано на скриншоте ниже.



Рисунок 93. Как поднять модель над плоскостью в MeshMixer

Затем с помощью этих же стрелок нужно ровно разместить модель, и после верного размещения модели применить действие путём нажатия «Accept»



Рисунок 94. Применение действий Transform

Далее нужно сохранить проект с моделью, так как программа может внезапно вылететь. Сделать это можно с помощью: «File – Save As», где нужно будет выбрать место сохранения и название проекта, который будет сохранён в формате «.mix».



Рисунок 95. Сохранение проекта в MeshMixer

Далее необходимо ровно обрезать основание модели. Для этого можно воспользоваться инструментом «Edit - Plane Cut».



Рисунок 96. Основание модели

Появится плоскость, которой нужно отсечь нижнюю часть, чтобы остов основания был ровный.



Рисунок 97. Плоскость для отсечения основания модели

Слева, в небольшом окне есть выбор настроек для плоскости отсечения.



Рисунок 98. Настройки "Plane Cut" в MeshMixer

- Параметр «Cut Type» рекомендуется установить пункт «Cut (Discard Half» - именно с данным пунктом, плоскость будет отсекать ровное основание, игнорируя форму полигонов.
- Параметр «Fill Type» отвечает за функцию закрытия отверстий в модели: «No Fill» - не закрывает образовавшеюся в результате отсечения нижнюю часть модели, «Minimal Fill» - закрывает нижнюю часть, однако делает это минимальным количеством полигонов, из-за этого может пострадать геометрия объекта и появятся проблемы при дальнейшем редактировании, «Remeshed Fill» - дорисовывает отверстия на основе рельефа вокруг отверстия – подходит для заполнения во всех других случаях, кроме редактирования основания, «Fixed Fill» заполняет отверстия путём установки фиксированного количества полигонов, как будет изображено на скриншоте далее.



инструменте "Plane Cut"



В итоге рекомендуется установить параметры, как показано на скриншоте:

Рисунок 101. "Cut Type" и "Fill Type" для отсечения плоскостью основания модели

В результате основание модели должно закрыться. Если этого не произошло, то необходимо немного поднять плоскость. Важно помнить, что отверстие закроется только в том случае, если оно полностью закрывает всё основание, что наглядно показано на картинке.



Рисунок 102. В каком случае основание модели будет закрыто

На скриншотах ниже видно, что основание закрыто.



Рисунок 103. Основание модели Венеры



Рисунок 104. Пример работы "Fixed Fill"

С помощью кнопки «W» на клавиатуре можно открыть просмотр сетки полигонов.



Рисунок 105. Сетка полигонов

После нужно запустить инструмент «Analysis – Inspector», который исправляет ошибки в модели: убирает висящие полигоны, которые не соединены с моделью, а также заполняет остальные отверстия в модели.



Рисунок 106. Выбор инструмента «Analysis – Inspector»

Фиолетовым цветом выделены висящие полигоны, синим – отверстия, которые можно заполнить одной плоскостью, красным – отверстия, которые нельзя заполнить одной плоскостью.



Рисунок 107. Висящая геометрия, не относящаяся к основной модели



Рисунок 108. Небольшое количество висящих полигонов

На моделях со сложной геометрией ошибок обычно больше. Так было в случае с созданием модели скульптуры «Вечная весна» Огюста Родена, как показано на изображении ниже.



Рисунок 109. Пример, когда Analysis - Inspector выявляет очень много ошибочной

геометрии



Рисунок 110. Висящие полигоны на примере "Вечной весны"

Для того, чтобы ошибки были исправлены, нужно в окне слева выбрать тип заполнения отверстий (о каждом из типов было написано ранее) и подтвердить действия, нажав на кнопку «Auto Repair All». Действия можно отменить комбинацией «CTRL+Z», таким образом можно подобрать наиболее подходящий тип заливки.

В итоге, после того как ошибки были исправлены, а основание ровно отсечено, нужно снова экспортировать модель в тот же формат «.obj». Для этого нужно перейти в «File – Export» и выбрать папку для экспорта и название новой версии модели.

le Actions View	Help Feedba
Open	Ctrl+O
Save	Ctrl+S
Save As	Ctrl+Shift+S
Recent Files	•
Import	
Import Bunny	
Import Sphere	
Import Diopo	
import Plane	
Import Dorto Folder	
import Faits Folder	
Import Reference	
Export	Ctrl+E
Export EV/C	
Export SVG	
Proferences	Alt+T
relefences	Alter
Start Screencast	
Exit	
Decourses	. 112

Рисунок 112.

Экспорт модели из MeshMixer

Рисунок 111. Окно со списком файлов после

экспорта

Если на модели были закрыты какие-либо дыры или отверстия, кроме основания, то в папке с экспортом появятся дополнительные файлы текстур, а в «.mtl» файл пропишутся пути к этим текстурам.

Импорт модели в Blender

Вторым этапом редактирования является работа в Blender – профессиональном многофункциональном open-source программном обеспечении для 3D-моделирования, которое занимает первое место в мире среди конкурентов по популярности.

В этой главе будут описаны азы работы в Blender.



Рисунок 113. Стартовый экран "Blender"

Навигация по рабочей области Blender осуществляется следующим образом: Нажатие на колёсико и движение мышью – вращение, Shift+колёсико – движение.

По умолчанию Blender запускается на английском языке. Перевод интерфейса программы на русский язык осуществляется из меню: «Edit – Preferences» в разделе «Interface», изменением языка в пункте «Language».

Blender Preferend	ces		. 🗆 🗙
	▼ Display		
	Resolution Scale		
	Line Width	Auto	
Lights	Splash Screen 🗹	Developer Extras	
	Tooltips 🗹	Large Cursors	
	Python Tooltips		
	▼ Editors		
Add-ons		Region Overlap	
		Corner Splitting	
Navigation		Navigation Controls	
	Color Picker Type	Circle (HSV)	
	Header Position	Default	
	Factor Display Type	Factor	
	Temporary Windows		
	🔻 🗹 Translation		
	Language	English (English)	
	Tooltips 🗹	New Data	
	Interface 🧹		
	► Text Rendering		
_	► Menus		
=			

Рисунок 114. Перевод интерфейса Blender на русский язык

Далее нужно активировать аппаратное ускорения с помощью GPU для более комфортной работы в режиме работы рендеринга Cycles. Сделать это можно в разделе «Система», установив галочку напротив названия видеокарты в разделе CUDA для видеокарт Nvidia и OpenCL для видеокарт AMD.

👌 Blender Preferences		
Интерфейс	 Устройства рендера Cycles 	
	Het CUDA OptiX OpenCL	
	GeForce GTX 1080	
	Intel Core i7-2600K CPU @ 3.40GHz	
	 Память и ограничения 	
	Шаги отмены 32	
	Ограничение памяти на отм 0	
	Глобальная отмена 🗹	
	Ограничение кэша видеоре 4096	
	Строки прокрутки консоли 256	
	Тайм-аут обращений 120	
	Интервал сборки мусора 60	
	Время ожидания VBO 120	
Пути к файлам	Интервал сборки мусора 60	
	▼ Звук	
	Звуковая подсистема ОрепАL ~	
	Каналы Стерео 🗸	
	Буфер смешивания 2048 ~	
-	Частота дискретизации 48 кГц ~	
=	Формат сэмпла 32-бит нецелое 🗸	

Рисунок 115. Активация аппаратного ускорения в Blender

По умолчанию в Blender невозможно максимально приблизить камеру к мелким объектам. Чтобы исправить данную проблему, можно перейти в настройки Blender в раздел «Navigation» - «Навигация» и поставить галочку напротив параметра «Auto perspective» - «Авто перспектива».



Рисунок 116. Активация автоматической перспективы в Blender

При создании нового проекта в Blender в середине сцены появляется куб. Однако он не пригодится в редактировании модели, поэтому в списке объектов сцены нужно нажать левой кнопки мыши на куб и выбрать «Delete» для того, чтобы убрать его из сцены.



Рисунок 117. Начальная сцена проекта в Blender

Для того, чтобы импортировать модель после обработки в MeshMixer, нужно использовать комбинацию: «File – Import – Wavefront (.obj)», если до этого модель была экспортирована в «.obj» формате. Как можно заметить из скриншота, в Blender могут быть импортированы все наиболее популярные форматы 3D-моделей.



Рисунок 118. Форматы, из которых возможен импорт в Blender

Далее, нужно указать путь к модели в появившемся окне.



Рисунок 119. Указание пути к файлу модели в Blender

После импорта модели в Blender, она может появиться в неправильной ориентации. На примере ниже «Венера» появилась на боку.


Рисунок 120. Модель «Венеры» импортировалась в Blender в неправильной ориентации

Для того, чтобы исправить данную проблему, нужно воспользоваться инструментами слева от рабочей области.



Рисунок 121. Инструменты для работы с расположением модели в Blender

После активации инструмента «вращения» появится шар, который работает по такому же принципу, как и шар вращения в Agisoft Metashape. С помощью него нужно разместить модель правильно.



Рисунок 122. Вращение модели в Blender

Далее с помощью «перемещения», стрелками, нужно разместить модель на плоскость, чтобы она не висела «в воздухе».



Рисунок 123. Перемещение модели в Blender

После проведённых манипуляций модель будет выглядеть следующим образом.



Рисунок 124. Правильная ориентация модели в Blender

Теперь требуется отредактировать модель, убрать шум и лишние полигоны, разгладить неровности и закрыть дыры.

В Blender можно редактировать рельеф модели, как будто она состоит из пластилина или глины. Для этого нужно выбрать модель левой кнопкой мыши и перейти в раздел Sculpting, находящийся в верхней части окна программы.

В данном режиме, левее от модели расположены различные кисти. О предназначении каждой кисти можно узнать из изображения, расположенного в левой части окна.



Рисунок 125. Раздел Sculpting в Blender

В данной работе будут описаны только те кисти, которые наиболее часто используются в моделировании объектов после создания их с помощью технологий фотограмметрии:

• Кисть «Рисовать» - «Draw» (цифра 1 на изображении) – с помощью данной кисти можно дорисовывать и наращивать геометрию объекта, либо наоборот, продавливать её;

• Кисть «Сгладить» - «Smooth» (2) - размывает геометрию объекта в заданной области;

• Кисть «Выравнивание» - «Flatten» (3) – выравнивает, разглаживает геометрию объекта в заданной области;

• Кисть «Заполнить» - «Fill» (4) – заполняет углубления в геометрии объекта в соответствии с окружающим рельефом модели.

С помощью вышеперечисленных кистей были отредактированы все модели, которые получились в результате работы авторов. Перед началом использования кистей необходимо попрактиковаться, чтобы понять, как они работают.

В левой части окна, при выборе определённого типа кисти можно увидеть на рисунке, каким образом будет изменяться геометрия объекта при применении. Более того, в данном разделе меняются радиус действия кисти, интенсивность влияния, направление работы кисти и другие параметры.



Рисунок 126. Настройка кистей в Blender

Перед началом работы с кистями необходимо отключить симметрию кистей по осям, расположенную в верхней части экрана, отмеченную красным овалом на картинке ниже. Все кнопки «Х», «Ү» и «Z» должны быть серыми.



Рисунок 127. Отключение симметрии кистей и поверхность модели до обработки

Результат непродолжительной обработки кистями «Smooth» и «Flatten» ноги модели виден на нижнем изображении. Важно разглаживать модель, чтобы рельеф поверхности виртуальной скульптуры совпадал с рельефом настоящего объекта. В этом могут помочь фотографии последнего.



Рисунок 128. Поверхность ноги модели после обработки

Таким образом нужно убрать все шумы и ошибки с модели, чтобы привести её к виду, максимально схожему с реальным объектом.

Во время работы с кистями могут образоваться артефакты, которые невозможно разгладить с помощью кистей. Для того, чтобы их убрать, нужно перейти в разделе «Layout» в режим редактирования «Edit mode», как показано на скриншоте ниже (или нажать клавишу «Tab»).



Рисунок 129. Переход в режим Edit Mode в Blender

В этом режиме модель представлена в виде сетки полигонов. С помощью выделения можно выбрать ошибочные вершины, грани или полигоны, затем нажать delete на клавиатуре и выбрать удаление вершин («Verticles»).



Рисунок 130. Edit mode в Blender



Рисунок 131. Прямоугольное выделение в Blender



Рисунок 132. Удаление вершин в Blender

Также при удалении вершин, либо при работе в режиме Sculpting, на модели могут образоваться дыры и отверстия, как показано на изображении ниже.



Рисунок 133. Дыра в модели после удаления вершин в Blender

Для того, чтобы её закрыть, необходимо в левом верхнем углу выбрать режим редактирования «Edit mode» и включить функцию выбора вершин (обведено красным овалом на картинке ниже).



Рисунок 134. Выбор вершин в Blender

Далее, с зажатым Shift, с помощью левой кнопки мыши нужно выбрать по три вершины, которые необходимо соединить. После того, как три вершины подсвечены оранжевым цветом, нужно нажать «F» на клавиатуре, для того чтобы создался полигон. Таким образом, нужно закрыть всю поверхность, чтобы в модели не было отверстий.



Рисунок 135. Создание полигона в Blender



Рисунок 136. Отверстие закрыто новыми полигонами в Blender

В Blender можно сохранить проект, чтобы вернуться к нему позже. Это можно сделать комбинацией клавиш «CTRL + S». Первый раз, программа спросит местоположение для сохранения проекта на компьютере в собственном формате «.blend».



Рисунок 137. Сохранение проекта в Blender

На изображении ниже видна разница в рельефе моделей после обработки их в разделе «Sculpting».



Рисунок 138. Слева – обработанная модель в Blender, справа – оригинальная версия

На скриншоте ниже красным овалом обозначено меню режима визуализации. В режиме, обозначенным голубым, включается отображение текстуры, режим правее показывает, как модель будет выглядеть на рендере.



Рисунок 139. Изменение режима визуализации в Blender

Автоматическая ретопология модели в Instant Meshes

После того, как было завершено редактирование модели в Blender, необходимо упростить геометрию объекта, уменьшить количество полигонов, чтобы модель могла быть открыта на более слабых устройствах – данный процесс упрощения модели, то есть создания низкополигональной модели называется ретопологией. Так как данная методика рассчитана на новичков, то здесь будет описан лишь метод автоматической ретопологии – данный метод менее качественный, чем ручной, однако для того, чтобы создать вручную низкоплоигональную модель, необходимо обладать углублёнными навыками в 3D-моделировании.

Были протестированы различные программы автоматической ретопологии и наиболее подходящим программным обеспечением была выбрана бесплатная «Instant Meshes»⁶

Работа с данной программой возможна как в среде Windows, так и в MacOS и Linux.

Ход действий в данной программе интуитивно понятен.

⁶ <u>https://github.com/wjakob/instant-meshes</u>



Рисунок 140. Стартовый экран Instant Meshes

Первым действием является загрузка высокоплогональной модели в формате «.obj» в программу с помощью команды в левой верхней части окна «Open Mesh – PLY OBJ», как показано на скриншоте выше. Навигация по рабочей области, следующая: движение вокруг модели осуществляется с помощью правой кнопки мыши, а вращение – с помощью левой.

После того, как модель была импортирована в программу, нужно выбрать треугольную форму полигонов (Triangles) в пункте «Remesh As».



Рисунок 141. Импортированная модель в Instant Meshes

Далее, нужно выбрать желаемое количество вершин с помощью шкалы «Target vertex count». При этом количество полигонов на модели будет равным

выбранному числу, помноженному на два. Выбрать нужно небольшое количество вершин (обычно до 40 000), но желательно ниже 10 000, в зависимости от детализации модели и желаемого результата.



Рисунок 142. Окно подтверждения количества вершин в Instant Meshes

Затем, нужно нажать на кнопку «Solve» в разделе «Orientation field» для того, чтобы было просчитано предварительное направление полигонов на модели.



Рисунок 143. «Orientation field» в Instant Meshes

Далее, нужно нажать аналогичную кнопку «Solve» в разделе «Position field», после чего будет сформирована оптимальная сетка низкополигональной модели. Далее в разделе «Export mesh» нужно выбрать «Extract mesh».



Рисунок 144. Export Mesh в Instant Meshes

После всех проведённых манипуляций нужно выбрать кнопку «Save» для экспорта низкополигональной модели.



Рисунок 145. Экспорт низкополигональной модели из Instant Meshes

Создание UV-развёртки в Blender

Низкополигональная модель изначально не содержит текстур. Для того, чтобы было возможно наложить текстуру объекта на низкополигональную модель, необходимо создать UV-развёртку – геометрию 3D объекта на 2D плоскости. При создании данной развёртки происходит процесс, как будто требуется разрезать картонную модель таким образом, чтобы её можно было развернуть в единую плоскость.

Для создания UV-развёртки можно снова воспользоваться Blender.

Осуществляем импорт низкополигональной модели в Blender.

Первым действием, нужно перейти в режим редактирования «Edit mode» и перейти в раздел «Mesh – Shading – Smooth Verticles», как показано на скриншоте ниже.



Рисунок 146. Smooth Verticles в Blender

Это требуется для того, чтобы разгладить модель и убрать угловатость после процесса ретопологии.



Рисунок 147. До Smooth Verticles



Рисунок 148. После Smooth Verticles

Затем, нужно выбрать всю модель: «Select – All» в режиме редактирования (или «Ctrl+A»), нажать на клавиатуре «U» и выбрать «Smart UV-project».



Рисунок 149. Выбор всей модели в Blender



Рисунок 150. Выбор Smart UV-project в Blender

После этого появится небольшое окошко, где будут выставлены параметры UV-развёртки. Нужно поменять лишь один параметр – «Island Margin» на минимальное значение 0,03, он отвечает за дистанцию между отдельными частями на развёртке.



Рисунок 151. Окно Smart UV Project в Blender

После окончания создания развёртки нужно перейти во вкладку «UV editing» и выбрать «UV sync section», отмеченный красным овалом на скриншоте ниже.



Рисунок 152. UV sync section в Blender

На UV-развёртке, возможно, появятся наложения, когда две и более частей модели накладываются друг на друга.

Для того, чтобы проверить наличие наложений, нужно выбрать функцию «Select Overlap», как показано на картинке ниже.



Рисунок 153. Select Overlap в Blender

Если на развёртке слева появятся оранжевые области, значит на неё есть наложения.



Рисунок 154. Наложения в Blender

Во избежание данной проблемы, нужно в режиме выделения граней выбрать наложенные части, как показано на картинке ниже.



Рисунок 155. Выбор граней в Blender в режиме редактирования UV

Далее нужно кликнуть правой кнопкой мыши по области с моделью и выбрать пункт «Mark Seam», «Пометить шов».



Рисунок 156. Mark Seam в Blender

После этого можно пересоздать UV-развёртку, как это было сделано ранее, чтобы убедиться, что изменения вступили в силу.



Рисунок 157. Пересоздание UV-развёртки

Затем, можно снова с помощью Select Overlap обнаружить наложения и, если данные наложения крайне малы, то можно кликнуть правой кнопкой мыши по области с моделью и выбрать снова пункт «Mark Seam». Таким образом, все наложения будут разбиты на отдельные полигоны.

После использования функции Select Overlap на UV-развёртке слева не должны оставаться оранжевые области.



Рисунок 158. UV-развёртка без наложений

Далее необходимо экспортировать модель из Blender, с сохранением развёртки. Для этого, нужно убедиться, что галочка в параметрах экспорта напротив «Include UVs» - проставлена.

🔊 File Edit Render Window Help	Layout Modeling Sculpting UV Ed								l ö∽ Sce
	[]v ⊘ Hiv © ∧ v			d- 🕨 🖬 🖬	10 L	⊊Global ∽ ♂~	⊘н••́∽ • ∧ ~		3 X Y Z 🚰 Options 🗸
🙋 🗊 🗊 🗐 View Select Image	UV 💽 V H New 🔚 Open 😒		UVMap	📳 Edit Mode 🗸 🖅 🚺	View Select	Add Mesh Vertex	Edge Face UV	P~ 🕅 ~ 👩	- 000-
			0	User Perspectiv (1) 3LowPolyVe	re mus				
0	o Blender File View			0					4
- ‡ +	▼ Volumes	←→12 Ľ	\photogrammetry\Edited mode	Is\Venus\		P	8	- 7 - 😟	0
	Покальный диск (D:) Локальный диск (C) Локальный диск (C) Локальный диск (C) Дисковод 80-8E (H)	name C 1Venus, FlatFloor.mti G 1Venus, FlatFloor.nti C 2HighPolyVenus.nti G 2HighPolyVenus.obj SLowPolyVenus.obj			Today 18:45 Today 18:45 Today 20:12 Today 20:12 Today 20:22	249 B 69.7 MiB 268 B 57.3 MiB 3.3 MiB	Operator Presets * Include Object Object	Selection Only s as OBJ Objects s as OBJ Groups Material Groups Animation	91 @
\$								1.00	
	+ Add Bookmark Recents Venus X							Auto v -Z Fonward v Y Up v	
	 archive Tyan, on, the Tumba Athena's, head photogrammetry mathematical 						▼ Geometry Bitfla	Apply Modifiers 🚽 Smooth Groups 📄 Smooth Groups 📄	
								Write Normals <table-cell> Include UVs 😒 Write Materials 😒</table-cell>	
								riangulate Faces	
								ep Vertex Order	
		3LowPolyVenus+UV.obj				+ -	Export OBJ	Cancel	
				60.00	YXVXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XNXN	KANAKN	VXXNK/XK	NEW .

Рисунок 159. Экспорт низкоплогональной модели с UV-развёрткой в Blender

Запекание текстуры в Substance Designer

Далее нужно транспонировать текстуру и детали с высокопогигональной модели на низкополигональную, иными словами, запечь текстуры. Для этого

можно воспользоваться платной программой Substance Designer – месяц оплаты профессиональной лицензии составит \$99.90, однако музеям предоставляется 20% скидка при обращении к представителям компании. Существуют также и бесплатные аналоги – самый популярный из них – программа XNormal, которая обладает широкими возможностями. К сожалению, поддержка программы была прекращена, при этом стабильность работы оставляет желать лучшего. Добиться корректной работы XNormal у авторов работы не получилось. Из-за этого выбор пал на Substance Designer.



Рисунок 160. Стартовое окно Substance designer

Сначала необходимо создать новый проект с помощью нажатия правой кнопки мыши по окну «Explorer» и выбору «New Package», как показано на скриншоте ниже.



Рисунок 161. Создание нового проекта в Substance Designer

В появившемся проекте «Unsaved Package» нужно выбрать пункт «Link – 3D mesh» и добавить высоко- и низкополигональные модели.



Рисунок 162. Добавление моделей в Substance Designer

После успешного добавления обеих моделей нужно кликнуть правой кнопкой мыши по низкополигональной модели и выбрать пункт «Bake model information».

\$ 000000000000000000000000000000000000	File Edit Tools	Windows Help D ~ C ~							
• Unsample de la construcción	EXPLORER				i€ graph		B 3LowPolyVenus+UV - PROPERTIES		
 	🗎 🖨 ± 🖆 🛱								
Fieldsures Fieldsure	V State Unsaved P	Package*					Identifier		
Sound Dynamic Control	🗸 🗁 Resourc						3LowPolyVenus+UV		
Source Laboration and Example And	> 🐴 2Hi	ighPolyVenus					File Path		
Extron Karles Construction	> 🐴 3Lo	owPolyVenus+UV	Open	Paturo			E:/pnotogrammetry/Edited models/venus/3LowPoly	yvenus+uv.ob)	
			Copy				Description		
Frame 12 Beeds Calegory Beeds Calegory Locary Calegory Calegory<			× Remove						
Rodd Citrk Rodd Sidewin Explorent Sidewin Explorent Sidewin Explorent Sidewin Exploren									
<pre>second in topologe Betwork in the model information * is use work informatinformation * is use work</pre>									
Recata							Category		
Bake model Information i									
i Image: Control in the control in			Bake model Informati				Label		
To i									
S LUBAJY Cond S LUBAJY Cond S Gaph Item S JO VILW C Gaph Item S JO VILW A Main VILL Tag C Constant Source C Constant	ъ. <i>і</i>						Author		
Control									
C Favorite C Sophiterra C Atomic Nodi C Atomic Nodi C Constant C Constant </td <td></td> <td></td> <td>v 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Author URL</td> <td></td> <td></td>			v 4				Author URL		
Control C	- Enuoritor				a 20 VIEW E				
Constitution C							Tags		
A Mon Mod	Graph Lehis								
Fonction	- Atomic Node						User Data		
Viction N Slow In LBrainy I Constat Image: Constant Con	Pximap Node								
	 Function N 						Show In Library		
Vertor Vertor Vertor Vertor Vertor Vertor Samples Cast Operator Conspari, Compari, Control Vertor Control Vertor Vertor	Constant								
	Vector						Is Udim		
Castoples Castoples Castoples Castoples Capital Capital Capital Capital Capital Capital Cantople Cant	Variables								
C Cast C Operator C Logical C Compari. Function C Control C Control C Control C Control C Control C C C C C C C C C C C C C C C C C C C	Samplers								
Coperator Coperator Coperator Coperator Coperator Control Con	Cast								
Compat. Control Contr	Operator								
Compani. Control Cont	Logical								
C Function C Control C Generators	🔁 Compari.								
Control Generators	Function								
Generators	Control								
	✓ Generators								
									Substance Parine: Direct TD 10 Memory Off

Рисунок 163. Bake model information в Substance Designer

Далее в появившемся окне нужно выбрать высокополигональную модель в качестве основной в пункте: «Setup High Defenition Models».



Рисунок 164. Выбор высокополигональной модели в Substance Designer

Затем в список с задачами «Bakers render list» нужно добавить «Normal Map from Mesh», «Ambient Occlusion Map from Mesh» и «Texture from Mesh».

- Normal map (карта нормалей) это текстура, которая позволяет за счет игры света отображать рельеф объекта и его мельчайшие детали, не добавляя полигоны на 3d модели.
- Ambient occlusion (карта окклюзии, либо карта затенения) текстура позволяющая добавить реалистичности изображению за счёт вычисления интенсивности света, доходящего до точки поверхности.

В последнем пункте нужно выбрать оригинальную текстуру высокополигональной модели, указав путь к файлу с ней, как показано на изображении.

lei									
bake	Materials		Output	d Embe	addad	-< Linker			2D View
Material BJ		Faces Cold 8133	Name Samp	\$(mesh) \$(mesh) # 3lowpoly Place	ers/Dmitry/Do _\$(bakernam <i>wenus+uv_tra</i> resource into	e) e) ansferred_texture_from_r o a mesh specific folder	iubstance Designer <i>mesh</i>		
on Meshes n model ~ /2HighPolyVen	nus?dependency=	F =1382122117		Set distan Frontal va Rear value Relative to Ignore Bao Match	ce with lue > b bounding bo ckface	Values • • • • • • • • • • • • •		• 01 01	
h definition les B192 JPEG - JFII ng None UV 0	•) F Compliant (*.jj	S 8192 og *.jif *.jpeg	• *.jpe) • • •	Skew map Invert skev Dilation wi Apply diffu Average n	o w correction dth (px) •●− ision ✓ ormals ✓				
Delete bake Si: 8192y 8192y 8192y	r An ze An x8192 f x8192 f x8192 f	ti alias. Av None None None	Pull to top rg. normals true true true	Pus UV set 0 0	sh down Format jpg jpg jpg	Baker Parameters Normal Orientation Map Type Texture File UV Set Filtering Mode Normal Map	DirectX Tangent Space UV 0 Billinear	Clea From From From	ear om Resource om File om Previous Baker •

Рисунок 165. Настройки при запекании текстур в Substance Designer

В настройках запекания «Bakers default values» устанавливаются размер запекаемых текстур, формат и сила сглаживания.

- Размер текстуры (Default Size) должен быть квадратным, желательно устанавливать тот же размер, что и имеет текстура высокополигональной модели. К сожалению, максимальный размер создаваемой текстуры в Substance Designer и программах конкурентах составляет 8192 на 8192 пикселя, что является бутылочным горлышком, который не позволяет улучшить ещё сильнее внешний вид моделей. Более того, на сайт Sketchfab нельзя загрузить модель с текстурами более 8192х8192 пикселя.
- Формат текстуры (Default Format) как было написано ранее, наиболее подходящий для наших целей JPEG.
- Сила сглаживания (Default Anti-Aliasing) рендерит текстуру в заданное количество раз больше, а затем масштабирует всё изображение в выбранный размер текстуры. При активации сглаживания значительно увеличивается нагрузка на железо, но увеличивается общее качество текстуры.

Select dements to bake Select by: Materials Material Default_OBJ Setup High Definition Meshes Math Ingh definition model Remove all Set distance with Values Setup High Definition model Place resource into a mesh specific folder Material Place resource into a mesh specific folder Material Place resource into a mesh specific folder Material Place resource into a mesh specific folder Material Material Place resource into a mesh specific folder Material Material Material Material Place resource into a mesh specific folder Material	
Setup regin Demotion resolves Add high definition mode ¹ Remove all Set distance with Values • Pstr://Resource2risbipPolytema2rdependency=1362122117 × Forontal value • 0.01	
Bear volue 0.01 Relative to bounding box ignore Badiface Match Always Use skew correction Use kew correction Use kew correction	
Bakers default values Default roke 8192 • \$ 8192 • Diation width (pin) • 4 Default format IPEG -IPIE Complete(",jog ",je",jpeg ",jpe) • Apply diffusion • Default values 0 UV 0 • • Bakers render lot Add baker • Default to po Pluth down Boker Parameters Hormal DirectX • •	
Ustace Justace	

Рисунок 166. Настроенное окно запекания текстур в Substance Designer

В разделе «Output» можно выбрать папку, куда сохранятся выбранные текстуры. После того, как все необходимые параметры выставлены, нужно нажать «Start render» для того, чтобы начать запекание текстур. Ход выполнения задачи можно наблюдать в реальном времени – справа от настроек будет собираться текстура.

Select elements to bake Select by: Materials · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Output Childen	d us ~	20 Vev	* ম ×
Setup Hgh Definition Meshes [Add high definition model :] pkg://Resources/2HghPolyVenus?dependency=1382122117	Sample Boyophensorre, bandierred, bandierr		MAN ARTER	Monutoper MSI Atteburner v4.62.
Use low as high definition Bakers default values Default size <u>8192 • \$ \$ 8192</u> Default Format <u>FFIC Complant (* jog * job Default Ard Allanger Subserging Bab</u>	Byore Bodfoce Motion Motion Monore Bear map Bear map Bear map Bear map Aprix of the correction Bear map Aprix of the correction Didenon width (ma) Aprix of the correction Analysis correction			100 thm 0 mm 1 serrorsena meets (11, %)
Devlauf V set V 0 Bakers render lat. Baker bete baker Baker Size Anti alias. Avg. r Texture fro	Pull to top Push down Normals UV set Format Weg Type Ve 0 JP9 Texture File Ver	n DirectX • Tangent Space • IatFloor_Venus2.jpg		0 () Myhar Mahana an
Contribution 000000132 and 0 Contribution 8192/8192 8x8 tr	ue 0 jpg Normal Map	Blinear •	UV Tile: 8192x8192	0 100 Mine: 0 Mine: 3 Seryysis experinge (TD, %) 0 100 Mine: 0 Mine: 3 ser somportoga some (TH, %) 100 Mine: 0 Mine: 3 ser somportoga some (TH, %)
Preset · Save baking setup	Start Render Close			

Рисунок 167. Процесс запекания текстуры в Substance Designer

После этого полученные текстуры нужно соединить с низкополигональной моделью в Blender.

Присоединение запечённых текстур к низкополигональной модели и последующее редактирование

После того, как процесс запекания текстур, карт нормалей и карты окклюзии завершён, необходимо продолжить работу в Blender – можно продолжить предыдущий «проект.blend», либо экспортировать «.obj» в Blender заново. После этого в разделе «Shading» нужно соединить изображения текстур и модель. Для этого нужно нажать левой кнопкой мыши на модель, после чего в нижней области экрана появятся узлы («ноды») модели.



Рисунок 168. Пустой раздел Shading

Далее через раздел Add – Texture – Image Texture нужно добавить узел текстуры «Image Texture».

View	Select	Add Node	🗹 Use N	lodes	Slot 1	 ♥ ✓ ♥ Defa 	ult_OBJ	Û 🖞 × 🗴	?				
		⊖ Search											
		Input											
		Output											
		Shader							 Principled BSDF 			Material Outpu	t.
		Texture	Þ	Brick Texture						BSDF	< ^	ai	~
		Color		- Chasker Texture				_		~	- s	urface	
		20101		Checker lexture		 Image Texture 			Christensen-Burley	~	• •		
		vector		Environment Textur				•	Base Color		• •		
		Converter		Gradient Texture				•	Subsurface	0.000			
		Script		- IES Toyturo		💽 ~ 🕂 New	Open		Subsurface Radius	~			
		Group	• 	ES lexture		Linear			Subsurface Color				
		Lavout	. .	Image <u>T</u> exture		Flat			Metallic	0.000			
		Layout		Magic Texture		Repeat			Specular	0.500			
				Musorave Texture		Vertor			Specular Tint	0.000			
						L vicius			Roughness	0.500			
				Noise lexture					Anisotropic	0.000			
				Point Density					Anisotropic Rotation	0.000			
				Sky Texture					Sheen Tot	0.000			
				- /					Clearcoat	0.000			
				Voronoi rexture					Clearcoat Roughness	0.030			
				Wave Texture					IOR IOR	1.450			
				White Noise					Transmission	0.000			
									Transmission Roughness	0.000			
									Emission				
									Alpha	1.000			
									Normal Classesent Narsaul				
									Tangent				
									- Mingern				

Рисунок 169. Добавление узла Image Texture

Для выбора текстуры нужно нажать на кнопку Open, выбрать необходимую текстуру и соединить пункт «Color» в узле «Image Texture» с пунктом «Base Color» в узле шейдера «Principled BSDF» после чего на модели должна появиться цветная текстура.



Рисунок 170. Соединение узлов для отображения текстуры в Blender

Далее при необходимости (некорректное отображение цвета, артефакты) можно перекрасить некоторые части текстуры модели.

Для этого, в разделе «Texture Paint» нужно сменить режим визуализации на «Viewport Shading» в правом верхнем углу рабочей области, для того чтобы текстура отобразилась на модели.

В разделе Texture Paint есть различные кисти:

- Draw кисть, которая рисует заданным цветом;
- Soften кисть, которая размывает изображение;
- Smear аналог кисти «Палец» из Photoshop размазывает текстуру;
- Clone копирует текстуру из одной части в другую;
- Fill заливает всю модель заданным цветом;
- Mask с помощью данной кисти можно выбрать место, на которое не будут воздействовать другие типы кистей.



Рисунок 171. Раздел «Texture Paint» в Blender

Для того, чтобы максимально незаметно перекрасить поверхность модели, можно воспользоваться кистью «Clone», которая позволяет копировать части текстуры с одного места модели на другую.



Рисунок 172. Кисть «Clone» в Blender

В настройках кисти правее от рабочей области можно менять силу и радиус кисти.



Рисунок 173. Настройки кисти в разделе Texture Paint в Blender

После данных настроек можно начинать перекрашивание текстур. Например, можно закрасить те области, которые не попали в кадр или не были построены из снимков, а были дорисованы до этого в MeshMixer.

Рассмотрим решение проблемы – перекрасим основание модели, которое было дорисовано.



Рисунок 174. Части модели без текстуры

Зажав Shift на клавиатуре и правую кнопку мыши, нужно задать область, откуда будет браться образец текстуры – красная мишень и есть та самая область.



Рисунок 175. Выбор области, из которой будет скопирована текстура в Blender

Далее левой кнопкой мыши можно начинать перекрашивать поверхность модели – в виртуальном мире процесс покраски происходит так же, как и в настоящем, во время краски аэрозольным баллончиком. Чтобы текстура не выглядела однородной, нужно часто менять местоположение мишени. Отменить действие можно с помощью «CTRL+Z».



Рисунок 177. Наполовину закрашенное место без текстуры



Рисунок 176. Полностью закрашенное место

Теперь даже сложно сказать, что в данном месте когда-то не было текстуры. Таким образом нужно полностью закрасить проблемные места. Стоит отметить, что таким образом можно закрашивать только маловажные места – если текстуры отсутствуют на ключевых деталях модели, то лучше заново произвести съёмку и создать модель.

После того, как работа с покраской текстур модели закончена, нужно сохранить текстуру отдельно, используя меню, отмеченное красным овалом.



Рисунок 178. Сохранение отредактированной текстуры в Blender

Затем необходимо добавить карту нормалей командой «Add-Vector-Normal Map» и «Add-Texture-Image Texture».



Рисунок 179. Добавление карты нормалей в разделе Shading в Blender

В «Image texture» в узле для карты нормалей нужно добавить изображение карты нормалей, в узле «normal map» поменять значение на «object space» и соединить узлы, как показано на скриншоте. После этого значение Specular выставляем на 0, чтобы избежать эффекта отражения.



Рисунок 180. Конечный вид узлов в разделе Shading

Рекомендуется также проверить корректность отображения карты нормалей: отсоединив узел с основной текстурой, вы должны увидеть черно-белую

низкополигональную модель с прорисованными на ней деталями высокополигональной. Если карта нормалей отображается неправильно сначала попробуйте поменять пункт «object space» в узле «normal map» на другие значения.

После проведённых манипуляций можно экспортировать модель из Blender – можно сказать, что она готова!

Удаление теней с модели

Опционально, по желанию, можно удалить тени с текстуры модели, так как они будут странно смотреться в совокупности с наложенными при публикации программными тенями. Сделать это можно с помощью бесплатной программы от уже знакомой фирмы «Agisoft Delighter»⁷. Программа также доступная для тройки популярных операционных систем: Windows, MacOS, Linux.

Для начала работы нужно импортировать модель через меню или путём перетаскивания файла «.obj» в окно программы.



Рисунок 181. Импортированная модель в Agisoft Delighter

С помощью кистей «Shadow color», «Lit color» нужно указать программе, где находится тень, а где освещённые участки. «Extra color» – для тех областей, которые нужно не трогать.

⁷ <u>https://www.agisoft.com/index.php?id=71, https://www.agisoft.com/downloads/installer/</u>



Рисунок 182. Кисти в Agisoft Delighter



Рисунок 183. Синим выделены теневые участки, жёлтым – освещённые

Не обязательно обводить кистями всю поверхность модели, достаточно будет указать лишь тёмные и светлые участки, как показано на скриншоте выше. Далее в разделе «Controls» в правой части окна нужно выбрать настройки подавления тёмных и светлых частей («Highlights suppression») и шумоподавление цветных артефактов («Color artifacts suppression»).

			ð	>
Remove Cast Shadows	3			
Highlights suppression		Low	-	
Color artifacts suppres	sion:	Low	-	
Reset De	faults			
Remove Cast Sha	dows (Preview	/)	
Remove Cast	: Shad	ows		
Remove Shading				
Locality:	Medi	um	-	
Remove AO:	\checkmark			
AO removal strength:	1.00		\$	
Reset De	faults			
Remove Shadir	ng (Pre	eview)		
Remove S	hading	9		

Рисунок 184. Настройки подавления света в Agisoft Delighter

Haстройки «Remove Shading» не рекомендуется трогать. Настройки удаления света подбираются опытным путём – невозможно заранее определить будет ли результат удачным или нет. Для того, чтобы увидеть предварительные результаты, можно запустить процесс в предварительном режиме. Для этого можно воспользоваться кнопкой «Remove cast shadows (preview)». После непродолжительной обработки на экране должна появиться модель, где нормирована. Если получился яркость текстуры результат неудовлетворительным (тёмные пятна, видны следы от теней, области, где света было достаточно потемнели и т. д.), как на скриншоте ниже, значит нужно поменять настройки, а также откорректировать области теней и слишком ярких зон кистью. Переключение между отредактированной моделью и оригинальной осуществляется в левой части окна двойным кликом левой кнопки мыши, где «3D Model» - модель с оригинальной текстурой, а «Processed (preview)» - предварительно просчитанная модель.



Рисунок 185. Неудачная попытка подавления света в Agisoft Delighter

Можно удалить неудачную модель с помощью правой кнопки мыши, как показано на изображении ниже.


Рисунок 186. Удаление неудачной версии модели в Agisoft Delighter

После того, как были подобраны удовлетворяющие параметры и кистями выделены проблемные зоны, можно запустить финальный процесс обработки – «Remove Cast Shadows», который займёт довольно продолжительное время.



Рисунок 187. Процесс обработки света в Agisoft Delighter

К сожалению, данная программа не даёт идеального результата, её работа оставляет желать лучшего – в складках модели на изображении ниже всё ещё остались тёмные области, в то время как тени на основании модели тоже не были до конца удалены. Однако, результаты тестирования остальных программных решений: «Unity delighting tool», встроенную функцию работы с тенями в Agisoft Metashape и другое ПО – показали, что данная программа справлялась с задачей лучше, чем её конкуренты.



Рисунок 188. Результат удаления освещения на текстуре в Agisoft Delighter

Для того, чтобы экспортировать результат из Agisoft Delighter, нужно выбрать параметры экспорта, уже знакомые из Agisoft Metashape: либо экспортировать отдельно саму текстуру, либо всю модель с помощью команды: «File – Export – Export model...».



Рисунок 189. Экспорт модели из Agisoft Delighter

На этом длительный процесс обработки модели заканчивается!

Импорт результата на SketchFab

Далее полученный результат можно использовать для разных целей – например, можно опубликовать модели на сайте Sketchfab - платформе для публикации, обмена, просмотра, покупки и продажи 3D, VR и AR контента.

Загрузить модель на сайт не составит труда, из-за этого в данной главе находится описание только ключевых действий. При возникновении затруднений можно воспользоваться центром помощи Sketchfab⁸.

Перед загрузкой модели на сайт можно уменьшить количество полигонов модели путём упрощения нижней плоскости модели. Для этого нужно открыть модель в «Blender» и переместить вид на нижнюю часть модели в режиме редактирования («Edit mode»).



Рисунок 190. Подготовка модели к импорту в «Blender»



Рисунок 191. Нижняя часть модели

⁸ <u>https://help.sketchfab.com/hc/en-us</u>

На этапе первичного редактирования нижняя часть модели была создана как ровная плоскость, а значит, основанием модели может быть единственный большой полигон. Чтобы добиться этого, нужно выделить полигоны нижней плоскости, нажать кнопку «delete» на клавиатуре и выбрать пункт: «Растворить вершины» («Dissolve verticles»), как показано на скриншоте ниже.



Рисунок 192. Функция «Растворить вершины» («Dissolve verticles») в Blender

После завершения обработки должно получится так.

Рисунок 193. Результат функции «растворения вершин» в Blender

Таким образом, нужно минимизировать количество полигонов в основании. Для того, чтобы в сторонних программах не образовалась дыра в основании,

необходимо по границам основания оставить некоторое количество полигонов, как на примере ниже.



Рисунок 194. После завершения оптимизации в «Blender»

Теперь, можно экспортировать готовую модель из «Blender» и загрузить её на Sketchfab. Для этого нужно авторизоваться или зарегистрироваться на портале и выбрать кнопку «Upload» (загрузить).



Рисунок 195. Стартовая страница "Sketchfab»

После этого, в стандартном проводнике нужно выбрать файл с моделью (.obj), .mtl файл, файл с транспонированной текстурой и картой нормалей.



Рисунок 196. Выбор файлов модели для «Sketchfab»

Подтвердить загрузку модели нужно в следующем окне.

Sketchfab EXPLORE - BUY 3D MODELS - FO	R BUSINESS × Q. Search 3D models	H 🖓 🛧 UPLOAD
And the second s	State Museure of Fine Arts 199 Upload a new model	×
SUMMARY <u>13 MODELS</u> COLL All	3lowpolyvenus+uv_Transferred Texture from Mesh_Colore 4Final_Venus.mtl 4Final_Venus.obj 3lowpolyvenus+uv_Normal Map from Mesh.jpg	SORT BY 🛨 💿 🔘
	Drag & Drop or browse	
0		-

Рисунок 197. Подтверждение загрузки модели на «Sketchfab»

Далее модель какое-то время будет обрабатываться на серверах «Sketchfab». В это время можно добавить название модели, описание, категорию объекта, теги (по каким ключевым словам модель можно будет найти), а также настроить, кто сможет увидеть публикацию (любой человек, либо только тот, у кого есть прямая ссылка) и добавить или убрать возможность скачивания модели сторонними пользователями.

Edit model				20	i.
(*)	Title Венера - Venus Description	Status: Draft Who can see? Anyone on Sk	etchfab.com		
UPLOAD Finished Fini	В <i>I</i> % Н ⊑а бб ≡ ≡	Allov Ag Download No	v texture inspect e-restricted cont	tion @ ON Constant OFF	
DUPLICATE (PRO) PRE-UPLOAD Discoverability Write a good description, add categories and tags to help your model get discovered. More tips to get exposure	975 Categories Select up to 2 categories Tags Add tags	28 y Models set t towa Upgrac	ipload credits le o downloadable e rds your upload de to increase you ir model	ft I to the second seco	
🛤 Report an Issue		Out-in-I ferme	SAVE	SAVE & PUBLISH	



	Title	Status: Draft
	Венера - Venus	
	Description	Anyone on Sketchfab.com
	B I % H ₩ 66 ≡ Ⅲ EDIT PREVIEW	Anyone on Sketchfab.com
UPLOAD Finished PROCESSED Finished RADY TO PUBLISH	Франческо Мессина (1900-1995) Венера, 1955 Бронза Francesco Messina Venus, 1955	Anyone with the link & PRIVATE Anyone with the link & password @ PASSWORD
EDIT 3D SETTINGS	Bronze	28 unload credits left @
DUPLICATE (PRO)	Categories	Models set to downloadable do not count towards your upload limit.
scoverability	Select up to 2 categories *	Upgrade to increase your limit
rite a good description, add categories and tags to	Tags	
ore tins to get exposure	Add tage	Download your model

Рисунок 199. Выбор доступности модели на «Sketchfab»

		Allow texture inspection
UPLOAD Finishe PROCESSED Finishe READY TO PUBLISH EDIT 3D SETTINGS	Berepa 1955 Berepa 1955 Fonces Messina Venus, 1955 Bronze	Age-restricted content Composition Download No Free Store 28 upload credits left
DUPLICATE (PRO)	Categories	Models set to downloadable do not count towards your upload limit.
coverability	Cultural Hentage & History, People	Upgrade to increase your limit
rrite a good description, add categories and tags to elp your model get discovered. lore tips to get exposure	Animals & Pets Architecture	Download your model
	C Art & Abstract	Original format (.null) WAITING FOR PUBLISH
	Cars & vehicles	gITF (Converted) WAITING FOR PUBLISH
	Characters & Creatures	USDZ (Converted AR format) WAITING FOR PUBLISH
	Cultural Heritage & History	
	Electronics & Gadgets	
	─ Fashion & Style	

Рисунок 200. Категории на «Sketchfab»

В I % H 🖾 бб 🗏 Щ Ш от реклеми Франческо Мессина (1900-1995) Венера, 1955 Бронза Francesco Messina Venus, 1955 Bronze 937 Саtegories Сultural Hentage & History, People ~ Таеs	Allow texture inspection Age-restricted content • •
Opaniect of resolution (1950) Berepa, 1955 BpoHaa Francesco Messina Venus, 1955 Bronze 937 Categories Cultural Heritage & History, People Taes	Age-restricted content I OFF Download No Free Store 28 upload credits left I Models set to downloadable do not count towards your upload limit. Upgrade to Increase your limit
Venus, 1955 Bronze 937 Categories Cultural Heritage & History, People ~ Taes	No Free Store 28 upload credits left @
937 Categories Cultural Heritage & History, People ~	28 upload credits left Models set to downloadable do not count towards your upload limit. Upgrade to Increase your limit
Categories Cultural Heritage & History, People *	towards your upload limit. Upgrade to increase your limit
Tags	
	Download your model
Bexepa X Venus X Francesco X Messina X 1955 X Bronze X Sculpture X Add another	Original format (.null) WAITING FOR PUBLISH
Suggested tags: italy, marble, portret, mramor, italia, agrippiny	gITF (Converted) WAITING FOR PUBLISH
	USDZ (Converted AR format) WAITING FOR PUBLISH
	Венера X Venus X Francesco X Messina X 1955 X Bronze X Sculpture X Add another Suggested tags: italy, marble, portret, mramor, italia, agrippiny

Рисунок 201. Добавление тегов на «Sketchfab»

После завершения обработки модели в левом верхнем углу появится кнопка предварительного просмотра модели. Там же можно отредактировать параметры самой модели.



Рисунок 202. Окно после выбора «Edit 3D settings»

Первым делом нужно указать правильную ориентацию модели. Как видно из скриншота, изначально модель появляется боком к зрителю. Для вращения модели можно использовать галочку «Show advanced rotation», с помощью сферы – повернуть модель в нужное направление.



Рисунок 203. Вращение модели на «Sketchfab»

Далее, можно настроить тип освещения, цвет фона, добавить карту окклюзии (Ambient Occlusion) для более реалистичных теней и многие другие настройки. Важным достоинством данной платформы является возможность прочитать описание каждого параметра.







Рисунок 205. Выбор освещения на «Sketchfab»

На скриншоте ниже показан пункт загрузки карты окллюзии.



Рисунок 206. Дополнительные параметры отображения модели на «Sketchfab»



Рисунок 207. Параметры постобработки модели на «Sketchfab»

После применения всех настроек нужно сохранить модель кнопкой «Save Settings», а затем модель можно опубликовать кнопкой «Publish».



Рисунок 208. Модель после применения всех настроек на «Sketchfab»

На скриншотах ниже открыт сайт таким образом, как его будет видеть пользователь.



Рисунок 209. Страница показа модели на «Sketchfab»

Sketchfab EXPLORE - BUY 3D N	MODELS - FOR BUSINESS - Q Search 3D	models		🤤 🦨 🔷 UPLOAD	
Венера - Venus ^{3D Model}					
The Pushkin State Museum of Fi	ne Arts PRO		© 0 🖈		
+ Add To <> Embed					
◀ Triangles: 37.8k ♥ Vertices: 18.9k N	lore model information				
Франческо Мессина (1900-1995) Венера,	1955 Бронза Francesco Messina Venus, 1955 В	Bronze			
Published a few seconds ago					
Cultural Heritage & History 3D Models Pe					
Comments					
Be the first to comment!			١		
ENTERPRISE	ECOSYSTEM	STORE	COMMUNITY	ABOUT	
Enterprise Solutions	Exporters	Buy 3D models	Explore	Company	
3D Configurators	Importers	Best Selling	Help Center	Careers	
3D eCommerce	Developers & API	Categories	Education	Press Kit	

Рисунок 210. Информация о модели, которую увидит пользователь на «Sketchfab»

Кодировочные метки



121























