

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

Факультет Математики и информатики  
Кафедра Информационных и управляющих систем  
Направление подготовки 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника  
Направленность (профиль) образовательной программы Автоматизированные системы обработки информации и управления

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ А.В. Бушманов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Моделирование арт-объектов методом фотограмметрии

Исполнитель  
студент группы 853об

\_\_\_\_\_

(подпись, дата)

М.В. Соколов

Руководитель  
профессор, доктор  
техн.наук

\_\_\_\_\_

(подпись, дата)

И.Е. Ерёмин

Консультант по безопас-  
ности и экологичности  
доцент, канд.техн.наук

\_\_\_\_\_

(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль  
инженер

\_\_\_\_\_

(подпись, дата)

В.Н. Адаменко

Благовещенск 2022

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

Факультет Математики и информатики

Кафедра Информационных и управляющих систем

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ А.В. Бушманов

«\_\_»\_\_\_\_\_ 2022 г.

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента Соколов М.В.

1. Тема выпускной квалификационной работы (проекта) Моделирование  
арт-объектов методом фотограмметрии

2. Срок сдачи студентом законченной работы \_\_\_\_\_

3. Содержание выпускной квалификационной работы: предметная область 3D-моделирования, обзор профильного программно-технического обеспечения, практическая цифровизация арт-объектов г. Благовещенска, безопасность и экологичность.

4. Перечень материалов приложения: контекстная диаграмма процесса создания цифровой копии, декомпозиция контекстной диаграммы процесса создания цифровой копии, характеристики программного обеспечения, краткое описание этапов трехмерного моделирования при помощи фотограмметрии.

5. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель выпускной квалификационной работы: \_\_\_\_\_

Ерёмин И.Е. профессор кафедры ИиУС, д.т.н., профессор

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

Задание принял к исполнению (10.02.2021): \_\_\_\_\_

(Подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 84 с., 47 рисунков, 3 таблицы, 4 приложения, 20 источников.

### ТРЕХМЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ, ФОТОГРАММЕТРИЯ, ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, СРЕДА МОДЕЛИРОВАНИЯ, ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ФОТОГРАММЕТРИИ

В работе исследованы проблемы получения цифровых копий скульптурных объектов.

Цель работы – исследовать и разработать методику трехмерного сканирования скульптурных объектов посредством фотограмметрии.

Объектом исследования является получение цифровых копий скульптурных объектов.

В рамках научной работы проведено исследование программных средств и методик трехмерного сканирования посредством фотограмметрии.

Результатом выпускной квалификационной работы является трехмерные цифровые копии скульптурных объектов г. Благовещенска.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Предметная область 3D-моделирования	7
1.1 Области применения 3D-графики	7
1.2 Использование фотограмметрии в 3D-графике	15
1.3 Цифровизация произведений искусства	22
2 Обзор профильного программно-технического обеспечения	24
2.1 Анализ программного обеспечения для фотограмметрии	24
2.1.1 Облачный сервис ReCap Pro	24
2.1.2 Программа для фотограмметрии Agisoft Metashape	26
2.1.3 Программа для быстрой фотограмметрии Reality Capture	28
2.1.4 Программа с открытым исходным кодом MeshRoom	30
2.2 Анализ программ для 3D-моделирования	31
2.2.1 Программа для 3D-моделирования 3ds Max	31
2.2.2 Программа для 3D-моделирования Blender	33
2.2.3 Программа для 3D-скульптинга ZBrush	35
2.3 Необходимое оборудование для фотограмметрии	38
3 Практическая цифровизация арт-объектов г. Благовещенска	41
3.1 Цифровизация памятника В.В. Белоглазову	41
3.2 Цифровизация памятника «Снегурочка»	59
3.3 Цифровизация памятника челноку	63
4 Безопасность и экологичность	67
4.1 Безопасность	67
4.1.1 Анализ потенциальных опасностей	67
4.1.2 Мероприятия по обеспечению безопасности	68
4.2 Экологичность	71
4.3 Чрезвычайные ситуации	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ	77

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	78
ПРИЛОЖЕНИЕ А	81
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	82
ПРИЛОЖЕНИЕ В	83
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	84

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время информационные технологии очень тесно связаны с нашей с нашей жизнью и их развитие шагает семимильными шагами. И этому есть причина – они кардинально меняют и облегчают наше существование. Ведь двигатель прогресса – это наша лень, и человек будет всю свою сознательную жизнь искать кратчайший путь решения любой своей проблемы и информационные технологии являются инструментом этих решений.

На сегодняшний день 3D-моделирование набрало огромную популярность и это произошло не просто так, потому что оно востребовано в огромном количестве сфер: визуализация интерьеров, моделей ландшафтов, фасадов зданий, анимация, киноиндустрия, игры, топографические карты, машиностроение, изготовление мебели, кулинария, медицина, ювелирные изделия, веб-дизайн, реклама и т.д. И в некоторых перечисленных сферах появляется проблема необходимости создания модели из реальной жизни в максимально достоверном виде. Это возможно сделать самостоятельно, но для этого требуется многие годы практики, но при всем этом, если человек в этом деле компетентен, то для этого требуется непомерное количество времени, так как это очень длительная и скрупулёзная работа. И эту проблему решает одна из сфер 3D-моделирование – трехмерное сканирование посредством фотограмметрии.

Фотограмметрия позволяет решить проблему достоверного переноса объектов из реальной жизни в цифровое пространство, то есть создание 3D-модели, и позволяет сузить рамки профессионализма 3D-художника, а также автоматизирует процесс моделирования.

# 1 ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

## 1.1 Области применения 3D-графики

Где-то пол века назад 3D-графику могли позволить себе только состоятельные организации, у которых на вооружение были мощные суперкомпьютеры и при всем этом на создание одного набора моделей уходило уйма времени. В начале двухтысячных программное обеспечение для 3D графики стали более доступными и это дало очень мощный толчок развитию сферы компьютерной графики.

Программные средства для создания трехмерной графики не стоят на месте и развиваются не только технологически, но также с каждым годом упрощается процесс создания моделей путем автоматизации некоторых процессов, улучшения пользовательского интерфейса, т.е. делая его дружелюбным по отношению к пользователю.

На сегодняшний день специалисты по 3D графике востребованы как никогда и этому есть простое объяснение. Из-за стремительного развития информационных технологий с каждым годом появляются множество новых ниш, где трехмерное моделирование является неотъемлемой частью или являются очень полезным дополнительным инструментом для достижения чего-либо.

Трехмерная графика – это один из разделов компьютерной графики, который предназначен для создания изображений или видео с помощью моделирования объектов в трехмерном пространстве.

3D-моделирование – процесс создания трехмерной модели объекта.

Задача в 3D – разработать зрительный объемный образ желаемого объекта. При всем этом желаемая модель может быть, как и объектом из реальной жизни, так и абсолютно абстрактной.

Как правило, при создании трехмерного изображения придерживаются следующего алгоритма:

- Моделирование – создания трехмерной математической модели, сцены и объектов в ней. Модель состоит из набора множества точек – вершин,

которые объединяются друг с другом и образуют ребра и грани, которые в итоге образуют полигональную сетку – совокупность точек, ребер и граней, которые формирует итоговую форму объекта. Сам процесс создания трехмерной модели заключается в том, что необходимо передвигать точки, ребра и грани;

- **Текстурирование** – это процесс создания изображения и наложение его на модель, так как процесс моделирования подразумевает под собой создание формы, которая изначально не содержит в себе никакой информации о цвете;

- **Освещение** – создание и настройка освещения. Это неотъемлемая часть создания трехмерного изображения объекта, так, как мы знаем, что в реальной жизни, если объект не отражает или поглощает свет, то мы не сможем увидеть то, как он выглядит;

- **Рендеринг** – это процесс создания изображения или анимации в соответствие с выбранной физической моделью.

Если говорить о процессе моделирования, то существуют две основных методики:

- **Объектное моделирование** – это создание 3D-моделей при помощи векторов. Векторное моделирование, как правило, производится на неких поверхностях геометрических объектов и используется информация о размерах объекта моделирования: длина, ширина, высота и так далее. Данное моделирование широко используется в промышленности, так как при помощи него можно создавать максимально точную форму модели;

- **Полигональное моделирование** – это создание 3D-моделей при помощи полигонов. Это самая старая методика и при помощи неё можно создавать абсолютно любую форму объекта, но при этом она будет сильно отличаться своей точностью относительно модели, которая создана при помощи векторного моделирования, но, как правило, такие модели проще поддаются развертке и текстурированию.

В полигональном моделировании поверхность объекта разбивается на вершины (vertex), которые соединены между собой ребрами (lines), которые в итоге

образуют полигоны, а набор полигонов образуют 3D-сетку, пример которой можно увидеть на рисунке 1.1.

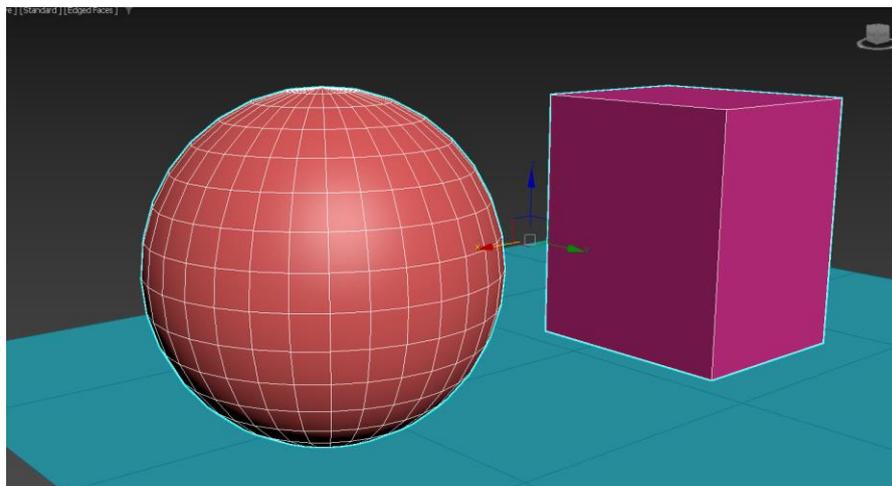


Рисунок 1.1 – 3D-сетка

На 3D-сетку при помощи развертки (создание UV-map) проецируется текстура и в итоге получается 3D модель.

В данной методике происходит в буквальном смысле рисование полигонами, то есть процесс моделирования строится вокруг перетаскивания в 3D пространстве вертексов, граней или полигонов, то, как они выглядят, можно увидеть на рисунке 1.2. И этот способ отлично подходит для создания низко-полигональных объектов по референсам или же заготовок для скульптинга. Из плюсов можно отметить простоту процесса моделирования и точность, но этот процесс происходит довольно-таки длительное время и не отличается сильной детализацией, т.к. мало полигонов.

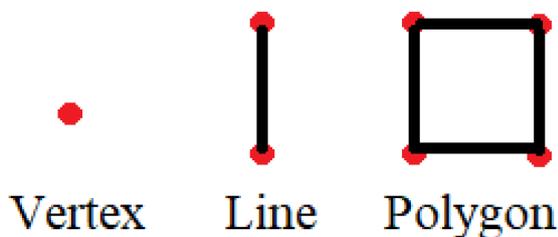


Рисунок 1.2 – Точка, линия и полигон

Так же существует моделирование при помощи примитивов, то есть создание модели начинается с прототипирования модели, при помощи базовых фигур

(сфера, призмы, конус и так далее), которые есть практически в любом 3D-редакторе. В 3D пространстве рабочей поверхности располагают базовые фигуры так, чтобы они составили примерный портрет нужной модели, а затем они сливаются, деформируются и доделываются. Из плюсов данного моделирования стоит подчеркнуть простоту и возможность использования булевых операций (вычитаний, сложений объектов), а из минусов – это не очень высокая точность моделирования и на выходе получаем какие-то грубые формы. Пример можно увидеть на рисунке 1.3.

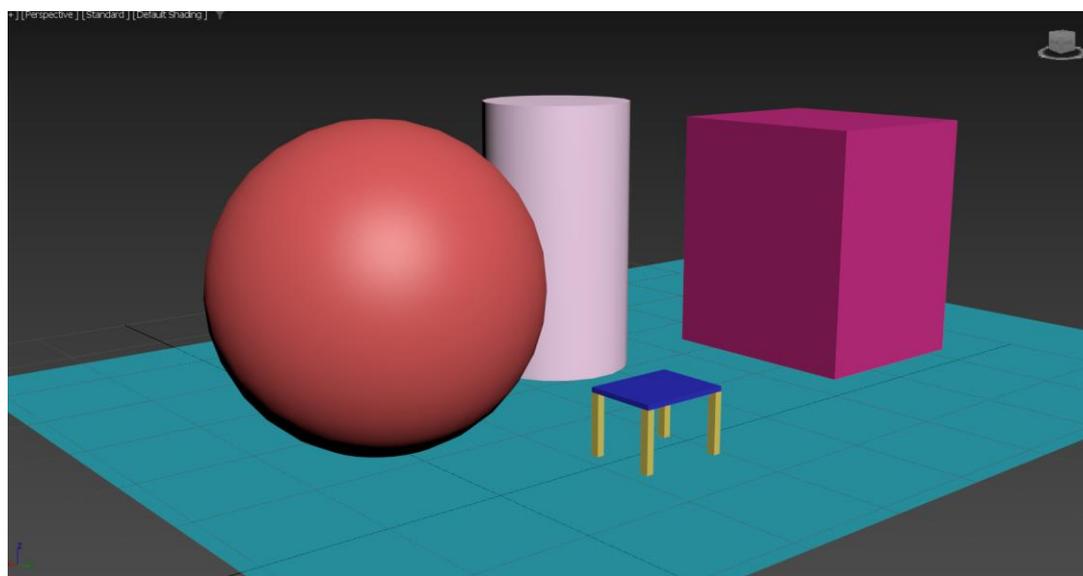


Рисунок 1.3 – Прimitives и стол, созданный при помощи них

Перечисленные выше методики в основном используются для моделирования твердых поверхностей, то есть, например, каких-то технических изделий, архитектуры и так далее. Пример такой модели можно увидеть на рисунке 1.4.

Для создания органических поверхностей, например, создание лица (рисунок 1.5), человека, используется методика скульптурирования или по-простому «лепка». Смысл данной методики заключается в том, чтобы из кого-то объекта примитивной формы производится моделирование 3D модели при помощи лепки путем вдавливания и выдавливания. И данная методика очень схожа с процессом из реальной жизни, когда желаемая модель лепится из глины или пластилина, и из-за этого порог вхождения в 3D-скульптинг гораздо ниже, чем в вышеперечисленные методики моделирования.

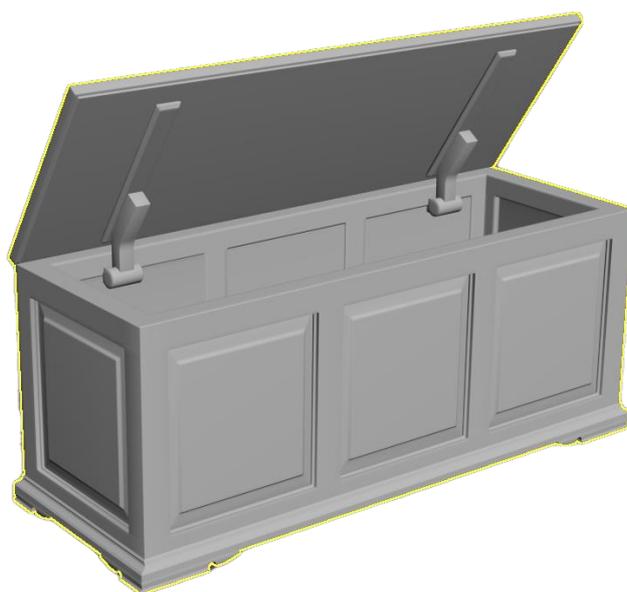


Рисунок 1.4 – Пример твердотельной модели



Рисунок 1.5 – Пример органической модели

Основные направления, где 3D моделирование используется:

- Визуализация. Это одно из самых больших направлений в компьютерной графике, которое включает в себя предметную визуализацию (рисунок 1.6), визуализацию интерьеров, ландшафтов, фасадов зданий. На этапах проектирования дизайнеры, архитекторы, проектировщики создают массу технической документации, по итогу которой будет построен интерьер, дом или целый

район. Но заказчику или клиенту нет дела разбираться в массе документации, потому что ему необходим конечный продукт, то есть видение того, как будет он выглядеть. Для этого служит визуализация, которая позволяет создавать фотореалистичное изображение того, чего не существует в реальном мире;



Рисунок 1.6 – Пример предметной визуализации

- Анимация. До прихода 3D графики в анимацию, в ней использовался в большинстве своем ручной труд. Использовались ручные отрисовки, то есть каждый кадр рисовался по отдельности, куклы, пластилиновые фигуры, окружения, созданные с помощью макетов. И это все накладывало ограничения на то, чтобы создать то, что задумывал автор, потому что все это требовало огромных ресурсов, а так как анимация в большинстве своем коммерческий продукт, то и никто не был готов тратить огромных денег несоизмеримых с потенциальной прибылью. После того, как трехмерную графику начали применять в анимации, все эти ограничения были сняты, потому что с помощью неё процесс создания во многом автоматизировался;

- Киноиндустрия. Компьютерная графика есть практически во всех фильмах и применение её позволяет не только автоматизировать и оптимизировать процесс создания фильмов, но и выйти за рамки реальности, путем создания

фантастических миров, существ, визуализации природных катаклизмов и так далее;

- Игровая индустрия. В начале пути графические игры для персональных компьютеров или для других программируемых устройств представляли собою двумерное изображение, но после прихода трехмерной графики они вышли на новый уровень. На сегодняшний день компьютерная графика в игровой индустрии используется повсеместно;

- 3D печать. Относительно молодое направление, которое появилась благодаря появлению технологии 3D-печати и дало толчок развитию машиностроения, дизайну, кулинарии, ювелирному делу, медицине и так далее. Например, 3D печать в медицине открыла новые возможности, которые были недоступными до её появления, это такие как печать протезов (рисунок 1.7), органов и так далее.



Рисунок 1.7 – Пример использования 3D печати в медицине

Так же стоит отметить роль 3D-моделирования в сферах, которые прямо с ним не связаны.

Трёхмерное моделирование в науке. Для любого ученого очень важно уметь прототипировать изучаемый объект или какое-либо явление посредством моделирования. Будь это какое-то физическое явление или симуляция работы организма, 3D моделирование позволит это явление визуализировать и сделать максимально понятным для человека. Например, можно увидеть анимацию трёхмерной модели вируса SARS-CoV-2 (рисунок 1.8) и то, как происходит заражением им человека, в мельчайших деталях, или же симуляцию астрономических явлений, то, как распределяются магнитные линии и так далее.

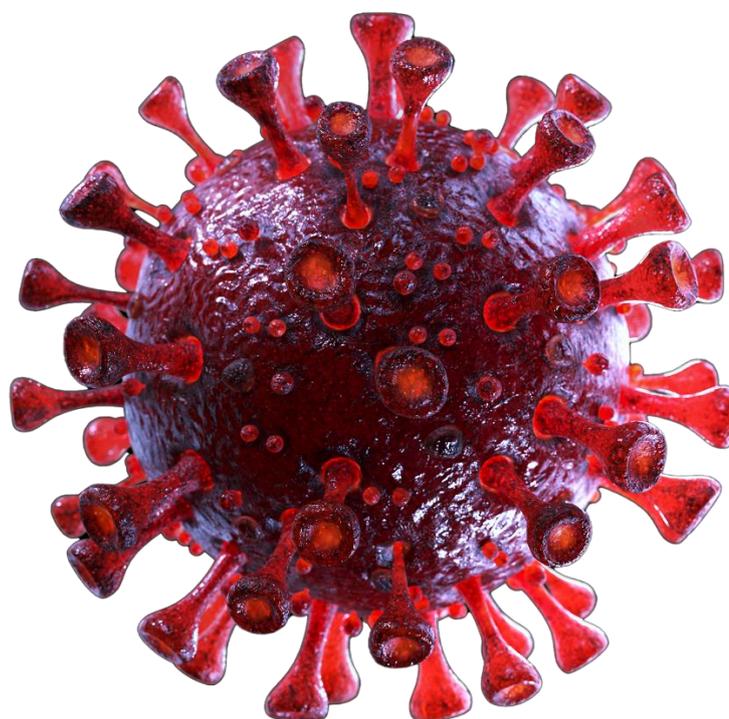


Рисунок 1.8 – 3D модель SARS-CoV-2

3D-моделирование в образовании. В процессе обучения для лучшего понимания и усвоения информации очень важно, чтобы изучаемое было не чем-то абстрактным, а наглядным, чтобы его можно было увидеть, а лучше всего потрогать и покрутить. И трёхмерная графика решает проблему наглядного представления информации при помощи визуализации.

Например, существует множество ресурсов с интерактивными моделями скелета человека, где можно покрутить её, разобрать и прочитать описание любой кости, и это все сопровождается приятной для глаза человека анимацией.

Или же при помощи VR-оборудования можно увидеть 1к1 строение скелета человека и при помощи рук взаимодействовать с ним. И таких примеров огромное количество.

3D-моделирование в медицине. Последнее десятилетие вклад 3D-графики в медицине значительно вырос из-за развития технологии 3D-печати, но также она используется для обучения студентов, так как, как раз таки в медицине, наглядность является неотъемлемой при обучении будущих врачей. Но также графика используется в медицине и при решении прикладных задач, например, компьютерная томография строит 3D-модель исследуемого участка организма на основе серии снимков, то есть КТ является в какой-то мере 3D сканером. В добавок к этому при помощи 3D-печати изготавливают ткани и органы, печатают протезы, импланты и анатомические модели и так далее.

## **1.2 Использование фотограмметрии в 3D-графике**

В настоящее время существует множество способов трехмерного сканирования. Любое устройство, которое будет способно измерять объекты из реального мира при помощи лазера, звука, источников света или рентгеновских лучей, на основе которых можно будет получить облако точек или трехмерную сетку, можно назвать трехмерным сканером.

Существует два основных типа сканеров: контактные и бесконтактные. Бесконтактные сканеры можно поделить еще на две группы – активные и пассивные.

Контактные сканеры базируются на непосредственном контакте с объектом цифровизации, то есть такие сканеры зондируют объект пока он пребывает на поверочной плите.

Показательный пример контактного сканера – это координатно-измерительная машина, которая используется преимущественно в технологическом производстве и её измерения являются очень точными. Недостатком такого прибора является потребность прямого контакта с поверхностью объекта цифровизации, так как, например, при цифровизации памятника или любого ценного

предмета, которому необходима реставрация, очень важно, чтобы был минимальный контакт. а также стоимость данной системы. Вдобавок к минусам можно отнести скорость сканирования и стоимость. Пример данного сканера можно увидеть на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 – КИМ FALCIO-APEX Mitutoyo

Бесконтактные активные сканеры базируются на определённых видах излучениях: свет, ультразвук или рентгеновские лучи. Например, лазерный 3D-сканер, который использует лазерный луч или компьютерная томография, которая использует рентгеновские лучи.

Времяпролетный (Time-of-Flight) лазерный трехмерный сканер относится к активным сканерам, который базируется на лазерных импульсах, с помощью которых вычисляется расстояние от датчика до объекта.

К плюсам данного типа сканера можно отнести то, что с помощью них можно сканировать объекты на очень больших расстояниях, вплоть до несколь-



Ситуация с преимуществами и недостатками триангуляционных лазерных сканеров является полярной относительно времяпролетных сканеров, так как область диапазона сканирования составляет несколько метров, а точность считается довольно-таки высокой.

Бесконтактные пассивные сканеры базируются на естественном освещении, то есть у них нет своих источников света. Как правило, такие сканеры используют камеру или видеокамеру.

Примером бесконтактного пассивного сканера является фотометрическая система, образец которой можно увидеть на рисунке 1.11, которая при помощи одной камеры при помощи фотографирования производит сканирование объекта, который вращается на платформе, при естественном освещении. С помощью вычисления изменений при известной скорости вращения происходит построение трехмерной модели объекта цифровизации.



Рисунок 1.11 – 3D сканер EinScan-SE

Логичным продолжением фотометрической системы служит фотограмметрическая методология, которая на основе технологии, которая позволяет при помощи специальных меток с большой точностью определить, что и с какого ракурса было сфотографировано.

Фотограмметрия – это научно-техническая дисциплина, которая занимается созданием 3D модели объекта из реального мира, то есть определение формы, размера и положения объекта, на основе их фотографий.

Название данной методики происходит из греческого языка: слово photos означает свет, слово грамма – запись, а metreo – мерить, что, если дословно перевести, то означает измерять записанный свет.

Выделяют следующие основные направления использования фотограмметрии:

- фототопография – это создание 3D-моделей карт, планов земли, а также в данном направлении выделяют и создание трехмерных моделей небесных тел,

- прикладная фотограмметрия – это создание трехмерных моделей для решение прикладных задач в различных областях науки: в архитектуре, строительстве, медицине, робототехнике, геологии, археологии, криминалистике, и так далее.

Использование фотограмметрии для создания цифровых копий объектов из реального мира имеет ряд следующих преимуществ:

- по фотографиям объекта моделирования имеется возможность получить количественную информацию в более точном виде, в отличия от классического методов измерений;

- получение количественной и визуальной информации об объекте моделирования без надобности вступления с ним в прямой контакт, т.е. когда объект недостижим для человека или находится в неблагоприятной среде, которая представляет для него опасность;

- человек, который выполняет съемку объекта цифровизации, находится в максимально возможных комфортных для себя условиях. Например, съемку объектов можно выполнять с помощью любого дрона на дистанционном управлении.

Учитывая все вышеперечисленные преимущества, фотограмметрия полезна и используется в разных сферах науки, техники, медицине, архитектуре, строительстве и так далее. Например:

- в строительстве или технике появляется проблема в виде деформаций конструкций или отдельных их частей, и фотограмметрия позволяет определять наличие деформаций или любых каких-то изменений отличных от того, как объект наблюдения выглядел в изначальном виде. Например, цифровая копия моста до нагрузки, во время нагрузки и после нагрузки позволяет определить степень их деформации, которая зависит от степени нагрузки;

- при проектировании строительства инфраструктуры в виде железных дорог, линий электропередач, автомобильных дорог и так далее;

- при необходимости реконструкции памятников архитектуры так же возможно использование цифровизации при помощи фотограмметрии, так как, она позволяет запечатлеть объект в том текущем виде, в котором находится на тот момент и в дальнейшем использовать эти данные для реставрации;

- при изучении рельефов каких-либо объектов при помощи электронного микроскопа так же можно создавать их цифровую копию;

- в медицине при изготовлении различных протезов, а также при изучение внутренних органов людей. Например, при построении 3D изображения зубов человека, возможно использование фотограмметрии для дальнейшего анализа зубов для планирования и проведения процесса лечения несъемными конструкциями зубных протезов.

В научно-технической дисциплине фотограмметрия важна среда, где производится фотосъемка объекта цифровизации и типы съемки бывают следующими: подводный, космический, аэро и наземный. Съемку в пределах электромагнитного излучения (таблица 1.1) происходят в воздушной и безвоздушной средах.

При всем этом съемку земли из космоса сквозь атмосферу можно производить только при следующих длинах волн:

- в оптическом диапазоне от 0.3 до 4.0 мкм, то есть исходя из таблицы, которая представлена выше, в оптический диапазон входят: ближняя зона ультрафиолетовой области, все зоны видимой области, ближняя и где-то половина средней зоны инфракрасной области;

- в радиодиапазоне от 1 мм до 30м.

Таблица 1.1 – Виды съемок

Диапазон	Область	Зона	Длина волны в мкм	Вид съемки
Радио-			Свыше 1000	Радиолокационная
Оптический	Инфракрасная	дальняя	1000 – 7,00	Инфракрасная (тепловая)
		средняя	7,00 – 1,70	
		ближняя	1,70 – 0,77	
	Видимая	Красная	0,77 – 0,62	Фото-съемка
		Оранжевая	0,62 – 0,59	
		Желтая	0,59 – 0,56	
		Зеленая	0,56 – 0,50	
		Голубая	0,50 – 0,48	
		Синяя	0,48 – 0,45	
		Фиолетовая	0,45 – 0,39	
	Ультрафиолетовая	ближняя	0,39 – 0,30	Ультрафиолетовая
		средняя	0,30 – 0,20	
		дальняя	0,20 – 0,01	
Рентгеновский			$10^{-2} - 10^{-5}$	Рентгеновская

То есть, если резюмировать, то при создании карт местностей используется съемка в видимой области оптического диапазона, но также при всем этом, в дополнение к этой съемке есть возможность, для создания специальных карт, использовать инфракрасные и ультрафиолетовые съемки.

Например, инфракрасная или по-другому именуемая тепловая съемка дает возможность качественно опознать объекты учитывая разницу их температур. В ближней зоне съемка производится днем и на фотографиях видны объекты, расположенные на земле. В средней инфракрасной зоне съемка производится в темное время суток и это делается для того, чтобы исключить воздействие солнечных лучей и в результате этого получают изображение, которое показывает изменение температуры на поверхностных слоях воды и земли. Смысл съемки в дальней зоне заключается в том, что её можно производить как в дневное время, так и в ночное, потому что солнечные лучи не оказывают никакого влияния.

Радиолокационная съемка используется тогда, когда объект моделирования не виден из-за тумана, облаков и так далее или же из-за кромешной тьмы. Такие условия характерны для полюсов земли, космических объектах или, например, на планете Венере.

Рентгеновская же съемка используется для изучения внутренних структур каких-либо объектов, например, это используется в компьютерной томографии, где при помощи рентгеновских снимков получают трехмерное изображения внутренних органов человека, которые используются для последующего изучения.

Для прикладной фотограмметрии используется видимая область, которая находится в оптическом диапазоне, то есть это съемка на обычное фотографическое оборудование, которое доступно практически любому человеку из-за чего доступность трехмерной фотограмметрии очень высокая, так как её можно производить даже на камеру мобильного телефона, но со своими нюансами.

### **1.3 Цифровизация произведений искусства**

Важнейшая роль искусства в жизни человека неоспорима, потому что в той или иной мере оно начало проявляться с самого появления человека, как вида, и

в течение всей истории человечества ступает с ним бок о бок. Время идет, мир меняется, одно поколение людей сменяется другим, а искусство живет вечно. Искусство помогает людям открыть, реализовать себя, уйти в свой внутренний мир – своих представлений и мечт. Оно помогает оторваться от той действительности, какая она есть, и попасть совсем в другой, противоположный мир. Именно поэтому роль искусства бесценна в жизни человека.

Сквозь века и тысячелетия проходят произведения искусства и никогда не теряют актуальность, но для определенных типов произведений появляется проблема старения и необходимость их реконструкции. И так же всегда существовала проблема доступности произведений искусства, так как, например, не у каждого есть возможность съездить Италию и увидеть воочию Колизей, Пантеон или же Римский форум – грандиозные произведения искусства античного Рима – и даже прогуляться по ним, то есть появляется необходимость создание их копий в максимально достоверном виде, при чем в таком виде, который не будет подвергнут старению.

Появляется проблема создания копий искусства и эта проблема решается при помощи созданий цифровых копий, но, конечно, это не позволит обезопасить предмет цифровизации абсолютно от всего, например, от техногенных катастроф, войн, природных стихийных бедствий, но позволит запечатлеть этот объект в момент создания копии таким, каким оно было и данную копию будет проще пронести сквозь века, тысячелетия и оставить культурное наследие нашим потомкам и даже возможно в будущем появится возможность воссоздания данные объекты в таком виде, котором они были на тот момент, когда происходила их цифровизация.

И, конечно же, самым доступным и эффективным инструментом для цифровизации памятников архитектурного искусства, скульптурного искусства и так далее, является трехмерная фотограмметрия, так как, данный инструмент позволяет запечатлеть не только формы и объемы объекта цифровизации, но и саму текстуру.

## 2 ОБЗОР ПРОФИЛЬНОГО ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

### 2.1 Анализ программного обеспечения для фотограмметрии

#### 2.1.1 Облачный сервис ReCap Pro

ReCap Pro – это сервис разработанный компанией Autodesk, который базируется на облачных технологиях. Он позволяет воссоздать трехмерную модель объекта реальной жизни из фотографий. Конечный результат, полученный при помощи ReCap Pro, состоит из облака точек или трехмерной модели, готовую для дальнейшей доработки в других программных продуктах для 3D моделирования.

ReCap Pro содержит следующий функционал:

- преобразование фотографий в облако точек;
- обработка лазерного сканирования и получения облака точек за считанные минуты;
- содержит в себе облачное хранилище, к которому можно получить доступ из любой точки земли, где есть интернет, и в этом хранилище сохраняются наши результаты фотограмметрии;
- преобразование аэроснимков и фотографий в облако точек для последующего получения 3D-карты местности.

Данная программа распространяется по платной подписочной схеме, но она имеет бесплатную лицензию для некоммерческого использования в учебных целях для студентов и преподавателей.

В отличие от других программных продуктов для фотограмметрии ReCap Pro имеет ряд преимуществ относительно них:

- условно-бесплатная для тех, кто хочет научиться работать с фотограмметрией;
- высокая скорость преобразования фотографий в облако точек и дальнейшее преобразование в 3D-модель;

- хорошее качество моделей на выходе, которые требуют минимальной доработки;
- интуитивно понятный интерфейс и вся программа в целом, и из этого следует, что нет необходимости тратить огромное количество времени на изучение инструкций;
- наличие минимально-необходимого функционала для работы с облаком точек;
- для работы в ней не нужно дорогостоящее оборудование.

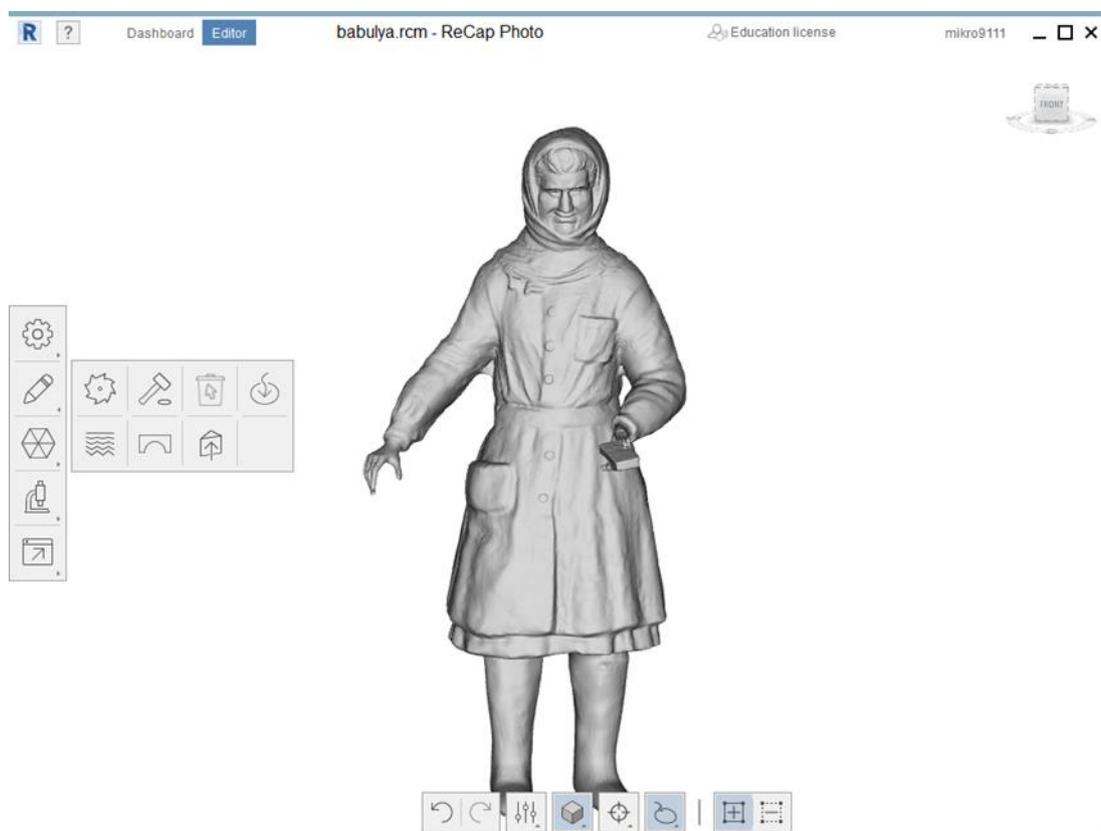


Рисунок 2.1 – Пример интерфейса ReCap Pro

При всех этих преимуществах она имеет один существенный недостаток для тех, кто использует студенческую лицензию, – в виде ограниченного количества фотографий для одного проекта: не более 100 штук.

Пример интерфейса программы представлен на рис. 2.1. Как можно увидеть на примере, интерфейс программы не перенасыщен огромным количеством кнопок и содержит в себе интуитивно понятный интерфейс.

Данная модель была получена при помощи этой программы с помощью специального алгоритма, который позволяет обойти ограничение в 100 фотографий на проект.

### **2.1.2 Программа для фотограмметрии Agisoft Metashape**

Agisoft Metashape – это программное обеспечение, разработанное компанией Agisoft, позволяющее создавать 3D модели объектов из реальной жизни на основе цифровых фотографий.

Данная программа всеядна и имеет возможность работать с любыми фотографиями снятых с любых ракурсов. И в отличие от ReCap Pro не имеет ограничения на количество фотографий на один проект, то есть оно есть и зависит от производительности вашего оборудования, где будут происходить вычисления. Так же в отличие от ReCap Pro данный программный продукт производит обработку и создание модели непосредственно на компьютере пользователя программы.

Agisoft Metashape имеет следующие возможности:

- фотограмметрическая триангуляция – программные вычисления, при помощи которых происходит обработка снимков, полученных с помощью различного оборудования для фотосъемки следующими сценариями: съемка с рук, съемка с воздуха, съемка со спутников;
- работа с облаком точек – возможность редактирования, сформированного облака точек для последующих этапов обработки;
- цифровая модель местности – построение модели местности со всем необходимым инструментарием для этого;
- интеграция данных наземного лазерного сканирования – возможность работы с лазерным сканированием, а также возможность совмещения лазерного и фотограмметрического сканирования;
- поддержка опорных точек, которые необходимы для точности построения требуемой модели;
- измерение расстояний, площадей и объемов на основе полученной модели, а также последующий экспорт этих данных;

- API для Python и Java – это позволяет расширить возможности автоматизации и тонкой настройки процесса.

К плюсам данной программы можно отнести:

- программа имеет дружелюбный по отношению к пользователям интерфейс;
- высокое качество итоговой фотограмметрии;
- большое количество возможностей и огромный функционал;

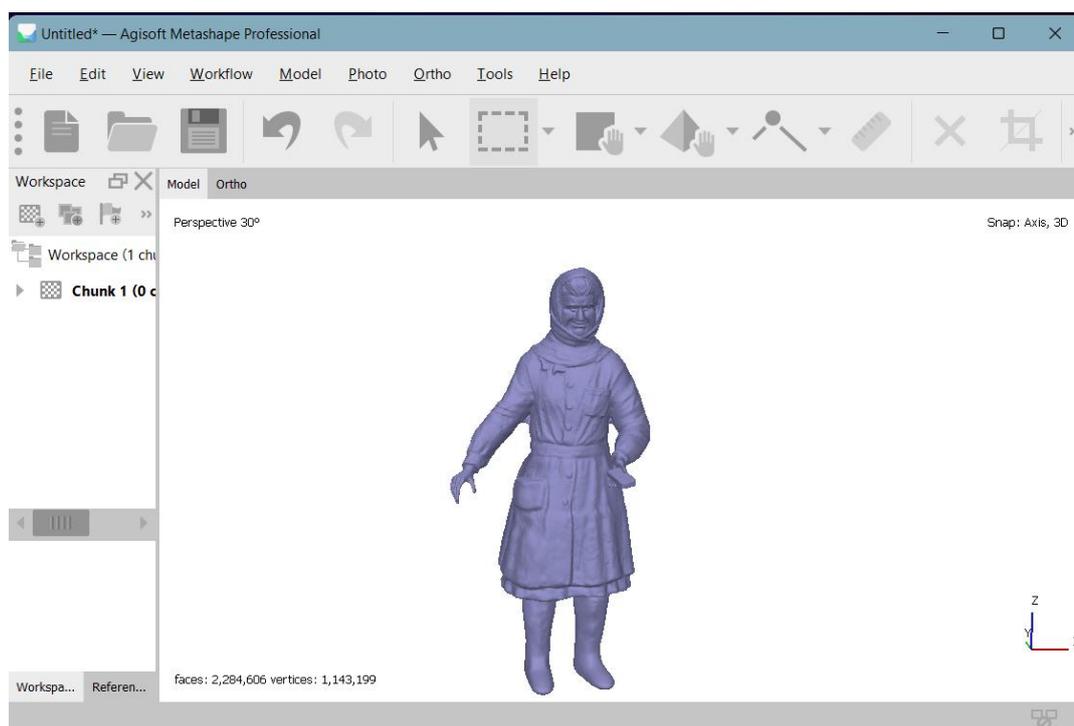


Рисунок 2.2 – Пример интерфейса Agisoft Metashape

Но этот программный продукт имеет несколько существенных недостатков, если вы решили заняться обучением фотограмметрии:

- огромное количество функций и настроек, в которых можно запутаться;
- все вычисления производятся там, где программа запущена, из-за чего требование к оборудованию довольно-таки высокие.

Пример интерфейса можно увидеть на рисунке 2.2.

### 2.1.3 Программа для быстрой фотограмметрии Reality Capture

Reality Capture – это программное обеспечение, разработанное компанией Capturing Reality, позволяющее создавать 3D модели объектов из неупорядоченных фотографий или лазерного сканирования.

На данный момент данная программа наиболее распространена в областях культурного наследия (искусство и архитектура), полное сканирование тел людей, играх, геодезии, картографирование, визуальных эффектах и виртуальной реальности в целом.

Функционал данного программного средства включает в себя:

- пакетное выравнивание изображений;
- автоматическая калибровка изображений;
- расчет полигональной стеки;
- окраска и текстурирование;
- параллельные проекции;
- географические привязки;
- сглаживание, измерение;
- и так далее.

Из преимуществ Reality Capture стоит отметить следующие:

- возможность совмещения лазерного сканирования и фотограмметрии, что позволяет добиться геометрической точности и сохранить мельчайшие детали;
- управление процессом из командной строки;
- легкость программы и нетребовательность к техническому оборудованию, где будет производиться расчет облака точек и трехмерной сетки, из-за чего можно делать “быструю” фотограмметрию на месте на не сильно производительном компьютере, например, на ноутбуке;
- большой функционал инструментов для обработки облака точек, полигональной сетки, работы с текстурой, картами нормалей, смещений и так далее.

Так же стоит отметить довольно-таки прогрессивную модель распространения «Ray-Per-Input», в которой нет необходимости платить сотни тысяч рублей в месяц для использования, а нужно приобретать некую валюту, которая тратится конкретно на проект, и цена вычисляется из количества фотографий и их качества.

Пример интерфейса можно увидеть на рисунке 2.3 и 2.4.

На рисунке 2.3 была сделана тестовая фотограмметрия фонаря, которых находится у центрального входа в главный корпус Амурского государственного университета.

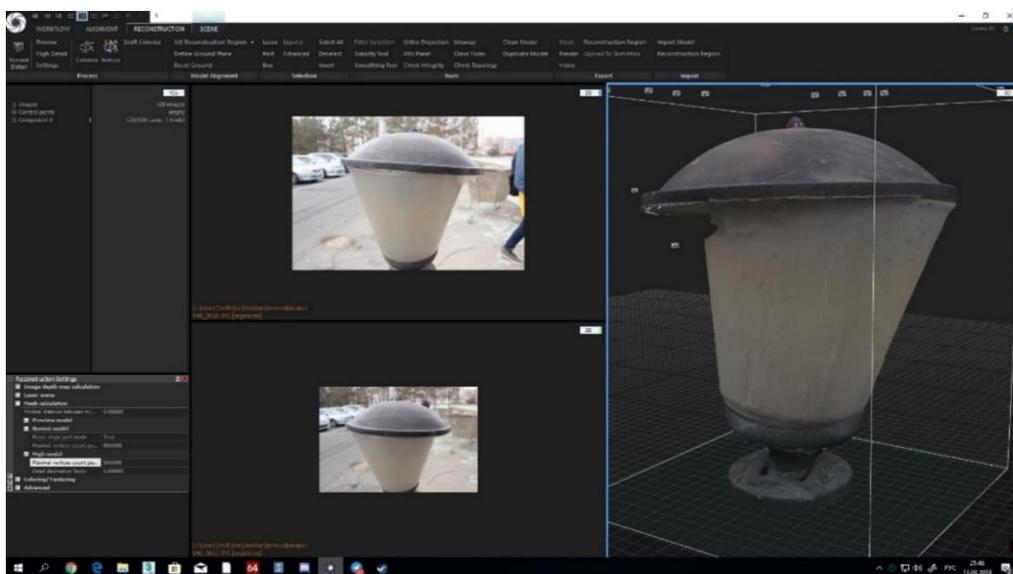


Рисунок 2.3 – Пример интерфейса с фотограмметрией фонаря

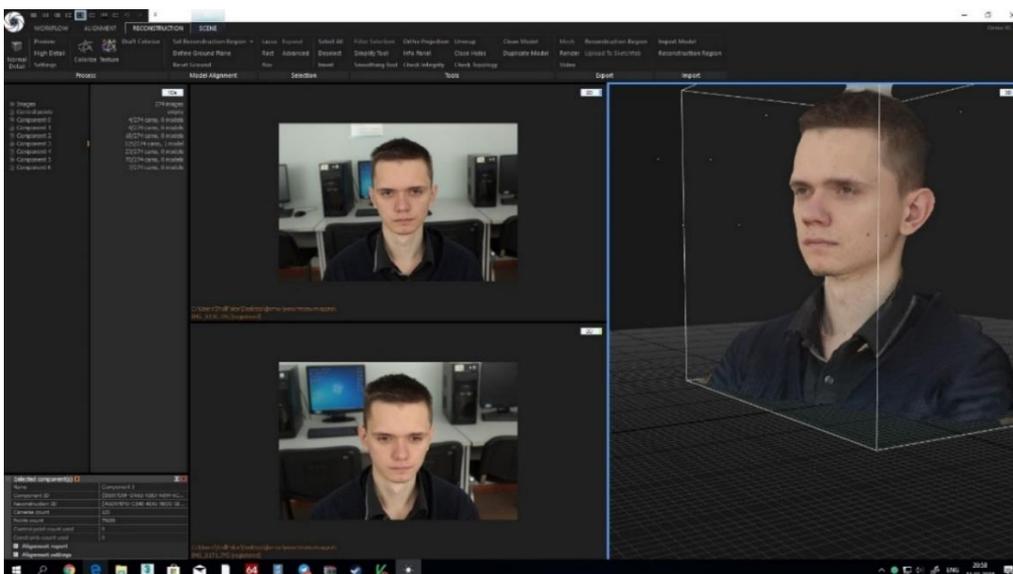


Рисунок 2.4 – Пример интерфейса с фотограмметрией головы человека

На рисунке 2.4 была сделана тестовая фотограмметрия человеческой головы.

#### **2.1.4 Программа с открытым исходным кодом MeshRoom**

Meshroom — это программное обеспечение, с открытым исходным кодом, написанное на Python, позволяющее создавать 3D модели объектов из набора фотографий объекта цифровизации.

Программа имеет бесплатную лицензию и ей может воспользоваться каждый желающий, но недостатком является то, что она требовательна к железу и так же, для её работоспособности необходимо устройство с видеокартой Nvidia, которая поддерживает технологию CUDA.

Интерфейс программы прост для понимания, так как он максимально минималистичен и имеет скудное количество настроек и инструментов и это является одновременно главным минусом программы, так как, например, нет возможности редактирования облака точек для последующих итераций из-за чего нагрузка возрастает еще сильнее, так как моделируется не только сам объект моделирования, но и все его окружение.

Данная программное обеспечение обладает следующим набором функций:

- CameraInit. Создание информации и камере: размере матрицы, типе объектива и так далее;
- FeatureExtraction. Извлечение элементов из изображений;
- ImageMatching. Данный этап предварительно находит соответствия между фотографиями и убирает ненужные;
- FeatureMatching. На данном этапе происходит поиск соответствий между всеми загруженными изображениями, которые не были удалены на предыдущем этапе;
- StructureFromMotion. Определение положений камер в пространстве и создание облака точек;
- PrepareDenseScene. На этом этапе программа обрабатывает облако точек и избавляется от искажений;
- DepthMap. Генерация карты глубины;

- DepthMapFilter. Оптимизация карт глубин;
- Meshing. Создание трехмерной сетки;
- MeshFiltering. Оптимизация трехмерной сетки;
- Texturing. Создание текстуры, т.е. создается UV-развертка и проецируется на неё текстура.

Пример интерфейса с результатом в виде облака точек и определением положений камер в пространстве можно увидеть на рисунке 2.5.

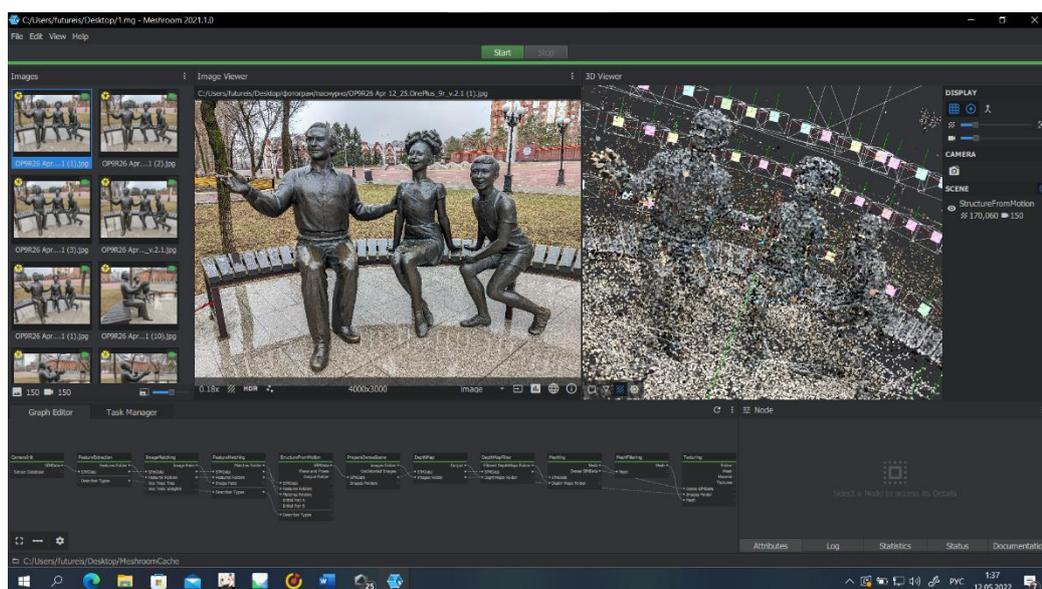


Рисунок 2.5 – пример интерфейса программы Meshroom

## 2.2 Анализ программ для 3D-моделирования

### 2.2.1 Программа для 3D-моделирования 3ds Max

3ds Max – это программный продукт, который позволяет заниматься 3D-моделированием, 3D анимацией, а так е создавать фотореалистичные изображения на основе 3D сцен.

Данное программное обеспечение охватывает огромное количество сфер, где можно её применить: архитектура, проектирование, строительство, дизайн изделий и производства, создание визуальных эффектов в киноиндустрии, разработка моделей для игровой индустрии.

Кроме того, 3ds Max позволяет создавать поистине масштабные локации, а затем использовать физически корректный рендеринг, который позволяет создавать фотореалистичные фотографии, моделируя поток света, как в реальном мире.

Программа обладает следующими видами моделирования:

- полигональное моделирование – самая популярная методика моделирования, которая используется, как для создания низкополигональных моделей для игр, так и высокополигональных сложных моделей;
- моделирование на основе поверхностей Безье (editable patch) – предназначено для создания тел вращения;
- моделирование при помощи встроенных параметрических объектов и модификаторов;

Методики для моделирования могут пересекаться друг с другом.

Данный программный продукт является условно-бесплатным, так как для работы в нем необходима студенческая лицензия и она предназначена только для использования в некоммерческих целях, то есть для обучения.

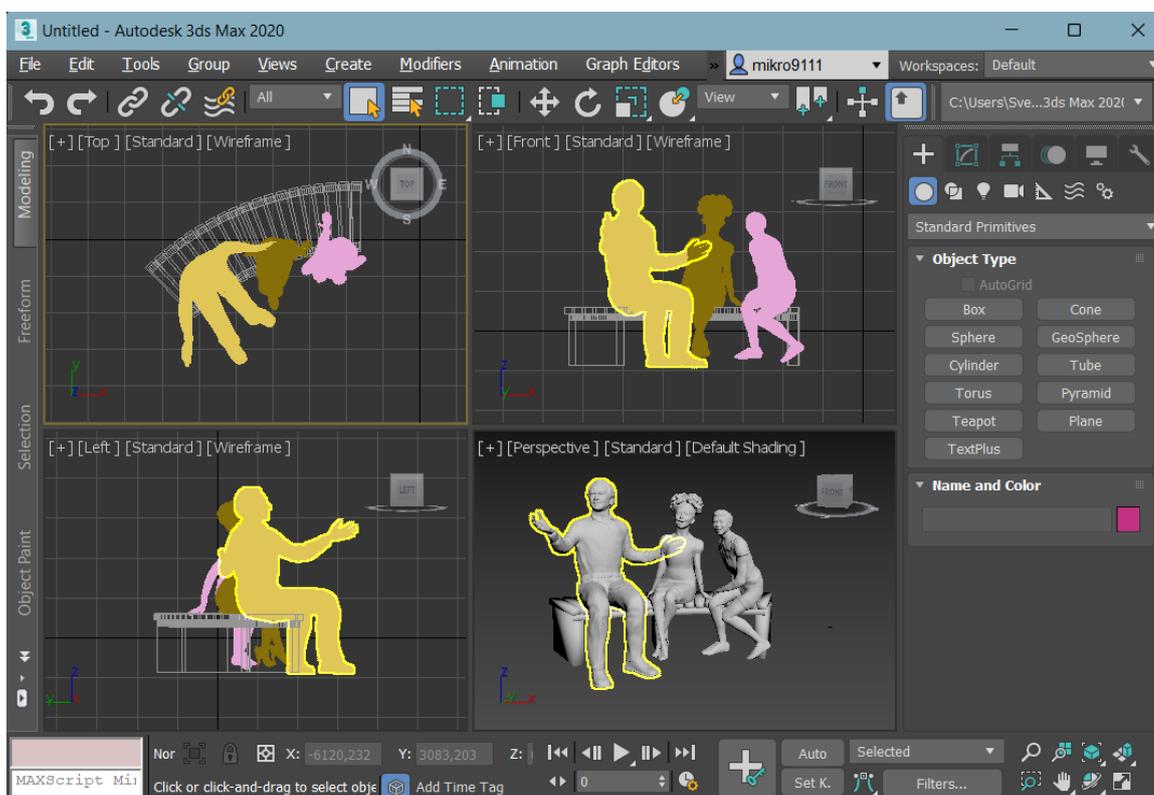


Рисунок 2.6 – Интерфейс программы 3ds Max

Из плюсов 3ds Max можно отметить следующее:

- огромный функционал;
- простой импорт данных;
- поддержка физически корректного рендеринга;
- интеграция с другим программным обеспечением Autodesk;
- гибко настраиваемый интерфейс;
- удобное управление в рабочем пространстве;
- огромное количество модификаторов;
- поддержка пользовательских модификаций, которые расширяют и так огромный функционал программы.

К минусам можно отнести следующее:

- сложность. Из-за того, что программа имеет огромный функционал, это сказалось на том, что интерфейс в программе очень сильно перегружен, а также, так как программа профессиональная, она требует навыков и знаний;
- высокие требования к оборудованию, на котором данная программа будет использоваться.

Интерфейс программы можно увидеть на рисунке 2.6.

### **2.2.2 Программа для 3D-моделирования Blender**

Blender – это профессиональный бесплатный пакет для создания 3D графики с открытым исходным кодом, включающий в себя средства моделирования, рендеринга, постобработки, симуляции, скульптинга, анимации, а так же с помощью него можно создавать и 2D-анимацию.

Он поддерживает весь цикл разработки проектов с трехмерной графикой:

- моделирование;
- риггинг – создание скелета для нашего моделируемого объекта для последующей анимации;
- симуляция – физически корректная анимация поведения жидкостей, шерсти, процесса горения и т.п.;
- рендеринг;

- композитинг – создание изображения при помощи совмещения нескольких слоев изображений.
- редактирование видео.

В последние годы Blender набрал огромную популярность из-за того, что его код полностью открыт и это позволяет модифицировать программу под свои нужды, а также этот факт дал толчок его развитию, потому что к его работе может присоединиться любой желающий и многие из инструментов были добавлены абсолютно разными людьми, которые создавали их для решения задач.

До недавнего времени в Blender был один существенный недостаток – запутанный громоздкий интерфейс и неудобное управление, но так как он не стоит на месте и бурно развивается, это было исправлено и на данный момент это программное обеспечение является одним из лучших на всем рынке программного обеспечения для моделирования, а если взять бесплатный рынок, то он бесспорно лучший.

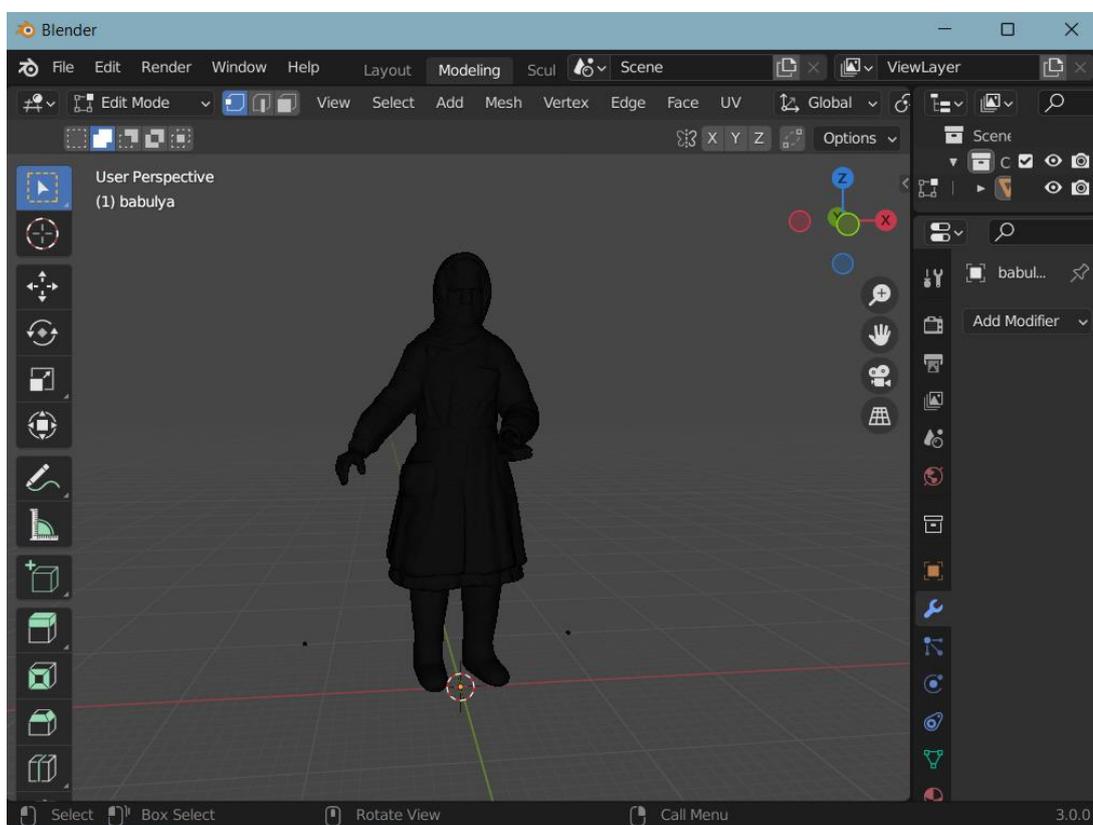


Рисунок 2.7 – Пример интерфейса Blender

К основным преимуществам Blender относятся следующие:

- открытый исходный код;
- огромное количество плагинов;
- бесплатная модель распространения;
- кроссплатформенность;
- быстрое действие;
- бурное развитие;
- содержит в себе полный цикл разработки.

К недостаткам относится следующее:

- не все инструменты достаточно мощные из-за чего его приходится совмещать с другим программным обеспечением;
- из-за того, что Blender довольно-таки часто обновляется, появляются ошибки, мешающие работать;
- низкие требования к оборудованию.

Пример интерфейса можно увидеть на рисунке 2.7.

### **2.2.3 Программа для 3D-скульптинга ZBrush**

ZBrush – программа для 3D моделирования посредством скульптинга от компании Pixologic.

Это одно из самых популярных и мощных программных обеспечений, которое используется для создания и редактирования трехмерной графики. Первоначально данная программа предназначена для работы с так называемой «цифровой глиной», из которой можно посредством огромного инструментария «вылепить» что душе угодно и из этого следует, что программа больше предназначена для создания органических поверхностей, то есть моделей с неровными геометрическими формами, например, людей, животных и в целом любого органического чего-то из реального мира. Но несмотря на это, Zbrush так же может использоваться и для твердотельного 3D-моделирования, и у него есть все необходимые инструменты для этого.

Для достижения реализма и по-настоящему впечатляющей детализации в Zbrush присутствует огромное количество кистей (Рисунок 2.8), которые к тому же можно создавать как самому, так и находить на просторах интернета и это

достигается в совокупности с поистине огромнейшим инструментарием в программе.

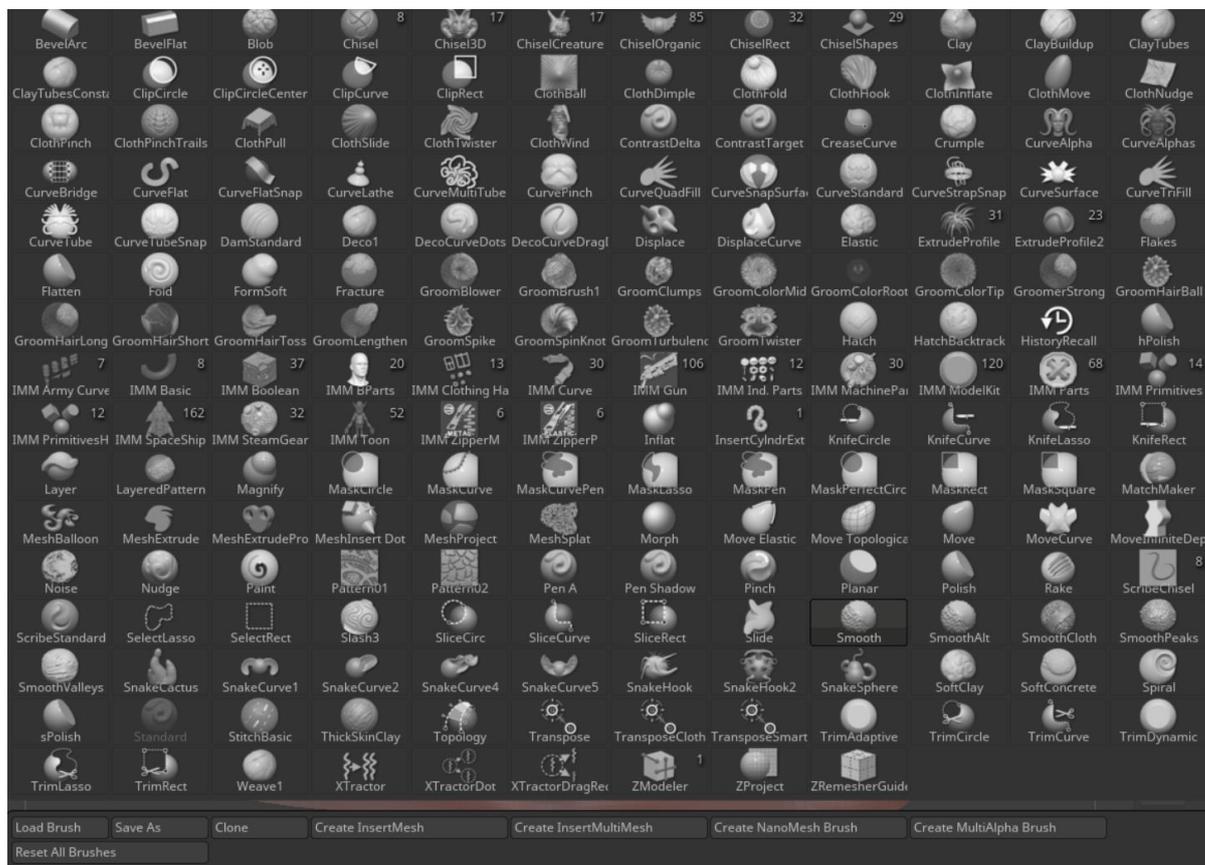


Рисунок 2.8 – Пример кистей в Zbrush

3D-модели, которые были созданы в данном программном обеспечении, востребованы в многих областях, но в первую очередь в игровой индустрии и в киноиндустрии, где для полного погружения важны детализация и реалистичность моделей.

Так же существенным преимуществом является нетребовательность к производительности компьютера, которая достигается при помощи псевдотрехмерности, по другому именуемой 2.5D, из-за чего снижается нагрузка на самую дорогостоящую часть компьютера видеокарту, но вместо этого используется оперативная память, которая куда доступнее. То есть, в отличие от других рассматриваемых пакетов для работы с трехмерной графикой, данный продукт позволяет оперировать с моделями, которые состоят из десятков миллионов полигонов, без ущерба качеству процесса.

Стоит отметить, что Zbrush – это очень гибкое программное обеспечение для работы с 3D графикой и эта гибкость выражается в полностью программируемому интерфейсу программы. Например, можно даже настроить свой шрифт.

Примеры самых полезных и популярных инструментов в Zbrush:

- DynaMesh. Данный инструмент используется для выравнивания всей полигональной сетки или отдельно выбранной части, и он помогает избавиться от артефактов, например, фотограмметрии;

- FiberMesh. Инструмент, который используется для создания волос, травы, шерсти и прочей растительности. Очень актуальный инструмент для обработки фотограмметрии, так как, на данный момент, она не умеет создавать качественную модель волос, растительности и так далее;

- Projecting. Позволяется перенести детализацию с высокополигональной модели на низкополигональную. Так же используется в фотограмметрии, если есть необходимость перенести модель в какой-то игровой движок, который будет рендерить модель в реальном времени и актуальна проблема количества полигонов;

- NanoMesh. Удобный способ, который позволяет добавить большое количество каких-либо деталей на модель, но в основном это используется с твердыми поверхностями;

- PolyPaint. С помощью этого инструмента возможно в прямом смысле раскрашивать трехмерную модель;

- ZModeler. Этот же инструмент позволяет создавать твердотельные объекты;

- Alphas. В программе есть возможность использования альфа карт для нанесения на объекты или для использования в виде кистей. При этом, возможно, использования не только альфа-карт, но и рисунков, текстур, трехмерных моделей и так далее.

Пример интерфейса программы можно увидеть на рисунке 2.9.

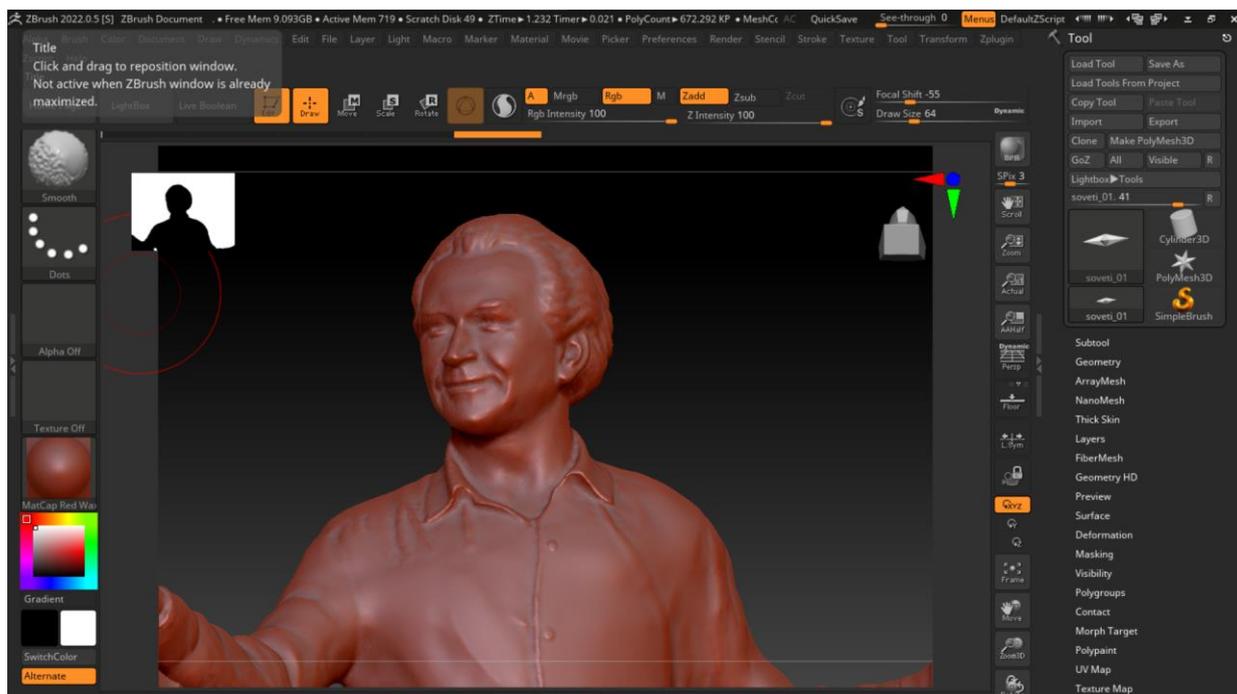


Рисунок 2.9 – Пример интерфейса Zbrush

### 2.3 Необходимое оборудование для фотограмметрии

Главным инструментом для фотограмметрии является оборудование, которое производит фотосъемку, и оно бывает разным, например:

- Беззеркальная или зеркальная камера. Зеркальная камера отличается от беззеркальной тем, что в ней присутствует видовой глазок, который получает изображение из объектива посредством системы зеркал в конструкции камеры, поэтому какой-то качественной разницы между ними нет. Так же неотъемлемой частью камеры является объектив, который желательно должен обладать постоянным фокусным расстоянием, либо нужно будет необходимо выбрать верхний и нижний предел фокусировки и сохранять на всем протяжении съемки, чтобы объект моделирования был всегда в фокусе и четким. Оптимальным фокусным расстоянием объектива будет являться 50мм, так как будет минимальное искажение;
- Дрон с камерой. Данная система используется в основном для труднодоступных мест, когда нет возможности снять самому с земли;
- Смартфон с вменяемой камерой. Такой себе компромисс, но, если других вариантов нет, то при должном профессионализме можно получить хороший результат;

- И так далее.

Так же при предметной фотограмметрии, в дополнение к инструменту для фотографирования, могут использоваться следующие инструменты:

- Пульт для камеры. Особенно полезен, когда необходимо скрыть тень фотографирующего;
- SD-карта. Чем больший объем памяти, тем лучше, так как необходимо снимать в максимально доступном качестве в разрешение RAW;
- Монопод с 3-х осевой стабилизацией. Необходим для съемки в сложных условиях, когда выдержка камеры начинает смазывать фотографий. Монопод же компенсирует это. Так же он помогает для съемки со всех углов объекта моделирования;
- Штатив. Используется с той же целью, что и монопод;
- CPL. Кросс-поляризационная фотография – это техника, которая позволяет избавиться от бича вспышек – яркий свет и соответственно из-за этого появляются пересветы, да и в целом фотограмметрия любит рассеянный свет;
- Масштабная линейка. Этот инструмент необходим для минимизации искажений;
- Спрей. Фотограмметрия не поддается прозрачные поверхности, поверхности с бликами и прочими отражающими поверхностями. Спрей позволяет сделать поверхность матовой в ущерб текстуре;
- Поворотный стол. Используется для фотограмметрии маленький объектов, которые можно разместить на этом столе. Он позволяет перемещать не камеру вокруг оси объекта фотограмметрии, а просто вращать стол и после каждого круга меняя высоту и наклон у камеры;
- ColorChecker. Это матрица из разработанных на основе научных исследований естественных, хроматических, первичных и монохромных окрашенных квадратов с большим спектром цветов. Многие из этих квадратов копируют цвета реальных объектов: человеческой кожи, зелени листвы и голубого неба. Так как они воспроизводят цвета своих прототипов и отражают свет во всех ча-

стях видимого спектра в точности так же, цвета квадратов будут совпадать с цветами объектов естественной среды под любым освещением и при любом процессе воспроизведения цвета. Этот инструмент необходим для корректировки правильной цветопередачи на фотоснимках, а в последствии на выходе получаем 3D модель с текстурой максимально близкой из реальной жизни.

## 3 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦИФРОВИЗАЦИЯ АРТ-ОБЪЕКТОВ Г. БЛАГОВЕЩЕНСКА

### 3.1 Цифровизация памятника В.В. Белоглазову

В процессе изучения научной дисциплины фотограмметрии было принято решение сделать цифровую копию памятника В.В. Белоглазову, который находится в Амурской области г. Благовещенске, возле центра эстетического воспитания, недалеко от площади Победы. Объект цифровизации можно увидеть на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Памятник В.В. Белоглазову

Первым делом необходимо было разобраться в методологии съемки объекта цифровизации, для последующей обработки в фотограмметрическом программном обеспечении, а также выбрать и настроить оборудование для фотосъемки.

Проанализировав некоторое количество инструкций по фотосъемке для объектной фотограмметрии, были выделены следующие основные критерии:

а) Настройка оборудования;

- 1) Необходимо использовать максимально доступное разрешение фотографий, но не менее 5 МПикс;
- 2) Для минимизации искажений пропорций объекта цифровизации необходимо использовать объектив с фокусным расстоянием 50 мм. Изменения фокусного расстояния допускается от 20 до 80 мм;
- 3) Не рекомендуется использовать сверхширокоугольные объективы или объективы, на которых наблюдается дисторсия объектива;
- 4) Рекомендуется использовать объективы с фиксированным фокусным расстоянием, иначе необходимо зафиксировать фокусное расстояние, на все время фотосъемки, на одно из крайних положений – ближнее или дальнее;
- 5) Для минимизации шумов на получаемых фотографиях необходимо понизить значение ISO до минимально возможного, так как при высоких значениях на фотографиях появляется «цифровой шум» и качество заметно падает, по сравнению с снимками, сделанных на минимальных значениях;
- 6) Для повышения уровня резкости на фотографиях необходимо использовать минимально возможный размер диафрагмы, так как при уменьшении данного значения повышается глубина резкости и наоборот, при повышении, глубина резкости понижается;
- 7) Искажение, в любом виде, снимков не допускается, так как необходимо, чтобы объект цифровизации на всех фотографиях был идентичен;
- 8) Необходимо использовать сохранение снимков в формате RAW, так как этот формат универсален для последующего редактирования.

- б) Требование к объектам съемки;
- 1) Во время съемки объекта цифровизации важным требованием является то, что объекты не должны иметь отражающие и прозрачную текстуру, так как одним из главных требований фотограмметрии является необходимость того, чтобы модель, которую снимают, была абсолютно одинаковой на всех фотографиях, а тот факт, что модель будет под разным углом бликовать и её текстура будет выглядеть по-разному, не подходит под это требование;
  - 2) Необходимо избегать попадания в кадр, на переднем плане, объектов, которые не являются объектами цифровизации. Также, если объектом для сканирования является объект, который состоит из нескольких частей, которые могут перемещаться относительно друг друга в пространстве, то такие части запрещается перемещать относительно друг друга;
  - 3) Избегать объектов, которые имеют плоскую текстуру, так как фотограмметрия таких объектов затруднительна;
  - 4) Необходимо использовать пространство кадра максимально оптимально, так, чтобы объект цифровизации был полностью в кадре.
- в) Сценарии объектной съемки с близкого расстояния;
- 1) При съемке плоских объектов цифровизации необходимо, чтобы камера была перпендикулярна относительно поверхности объекта. Пример такой съемки можно увидеть на рисунке 3.2;
  - 2) При съемке интерьера помещения маршрут съемки построить так, чтобы при фотографировании вы находились спиной к стене, а камера была направлена в противоположную стену относительно стены, у которой вы стоите. Пример такой съемки можно увидеть на рисунке 3.3;



Рисунок 3.2 – Алгоритм съемки плоских объектов

- 3) При съемке изолированного объекта необходимо фотографировать так, чтобы объект был полностью в кадре и желательно выбирать маршрут, который полностью охватывает объект со всех доступных сторон. Так же необходимо менять высоту и относительно неё угол съемки так, чтобы расстояние до объекта цифровизации было одинаково. Пример такой съемки можно увидеть на рисунке 3.4.

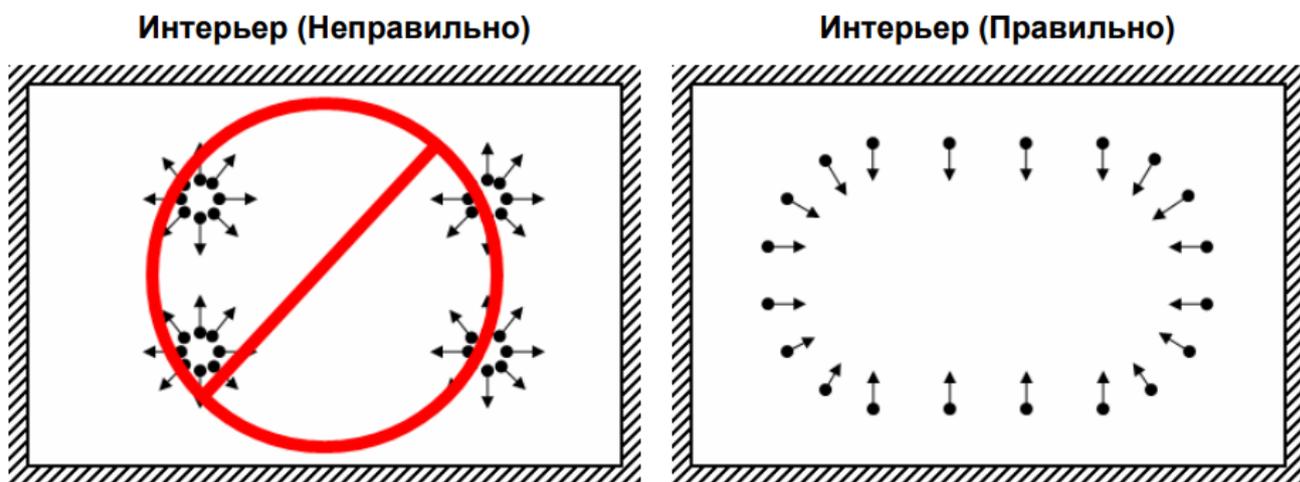
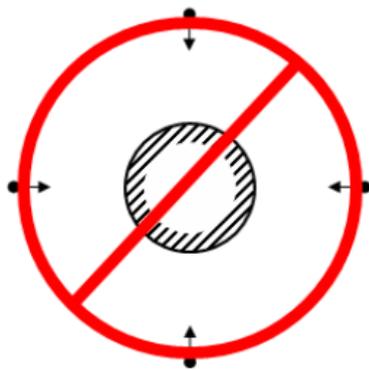


Рисунок 3.3 – Алгоритм интерьерной съемки

Изолированный объект (Неправильно)



Изолированный объект (Правильно)

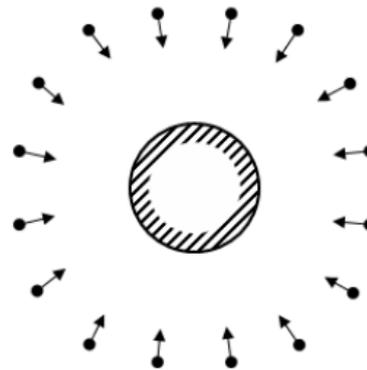


Рисунок 3.4 – Алгоритм съемки изолированного объекта

Далее был выбран инструмент для фотосъемки в виде зеркальной камеры Canon EOS 600D, в комплекте со стандартным 58 мм объективом, со следующими характеристиками в виде:

- разрешение снимков в 18 мегапикселей;
- диапазоном чувствительности ISO от 100 до 6400;
- диапазон диафрагмы F/3.5-8.0;
- возможность получения фотографий в RAW формате;
- и т.д.

Данные характеристики фотоаппарата полностью подходят под рекомендуемые.

Для съемки необходимо было дождаться облачной погоды, так как рассеянный свет полностью минимизировал недостаток того, что объект цифровизации имеет немножко блестящую текстуру, из-за чего, если бы фотосъемка производилась в солнечную погоду, то фотограмметрия получилась бы со множественными артефактами в виде дыр в местах, где находятся блики от солнца.

Для съемки на зеркальную камеру были выбраны следующие настройки в виде:

- разрешение 18 мегапикселей;
- сохранение снимков в формате RAW;
- значение ISO – 400;
- значение выдержки – 1/100.



Рисунок 3.5 – Маршрут съемки памятника

Объект цифровизации позволил построить маршрут в виде трех этапов: серия снимков на средней, нижней, и верхней высоте со сменой угла таким образом, чтобы объект цифровизации был полностью в кадре, а также, чтобы маршрут покрывал полностью 360 градусов вокруг модели. Маршрут съемки можно увидеть на рисунке 3.5. Очень важно было менять высоту, так как объект очень сложный и, если камера не заснимет какие-то участки, то они просто не будут смоделированы.

Важным критерием при съемке является необходимость, чтобы каждый последующий кадр перекрывал не менее 60 % предыдущего кадра, так как именно эти перекрывающиеся области будут формировать нашу модель, но при этом не возбраняется уменьшать шаг съемки так, чтобы процент перекрытия повышался и при этом качество фотограмметрии будет повышаться

Следующим этапом необходимо было произвести пакетную обработку таким образом, чтобы повысить резкость объекта, так как наша модель имеет текстуру металла, которую можно воспроизвести вручную, поэтому нет необходимости в воспроизведении её с помощью сканирования, то есть нам важен непосредственно рельеф модели. При редактировании фотографий важно, чтобы объект цифровизации оставался одинаковым на всех снимках, так как, если они будут значительно отличаться, то при определении облака точек, области, которые отличаются, просто не будут браться в расчет и из-за этого качество значительно упадет.

Далее создается проект в программном обеспечении для фотограмметрии. Ниже перечисляются все необходимые этапы работы в программе, которые позволят получить цифровую модель конкретного объекта, а в нашем случае – это памятник В.В. Белоглазову.

Название	Выровнено	Качество
OP...	✓	0.865148
OP...	✓	0.864074
OP...	✓	0.871086
OP...	✓	0.869511
OP...	✓	0.869468
OP...	✓	0.870896

Рисунок 3.6 – Пример оценка качества фотографий

Первое, что необходимо сделать – это оценить качества снимков. Это можно сделать вручную, но, так как фотографий в проекте может быть большое количество, то эта функция призвана автоматизировать данный процесс. Данная оценка производится программными встроенными средствами для того, чтобы исключить фотографии плохого качества, так как такие снимки могут повлиять

на результат выравнивания камер. Оценка производится на основе сравнения каждого снимка относительно других и если он будет значительно отличаться, то такой снимок отбрасывается. Пример результата данной операции можно увидеть на рисунке 3.6.

Выравнивание снимков – данный этап необходим для определения положений камер в пространстве относительно друг друга. Для данной функции, пример которой можно увидеть на рисунке 3.7, а результат выравнивания на рисунке 3.8, существуют следующие параметры настройки:

- Точность. Чем выше точность, тем лучше, но при этом возрастает нагрузка на компьютер, на котором производятся вычисления, а также время, которое нужно для выполнения данной функции;

Выровнять снимки

Основное

Точность: Высокая

Общая преселекция

Преселекция по привязке Исходные значения

Сбросить текущее выравнивание

Дополнительно

Макс. количество точек: 80,000

Макс. количество проекций: 4,000

Маскировать: Отключено

Локальное отождествление снимков

Адаптивное уточнение модели камеры

ОК Отмена

Рисунок 3.7 – Параметры выравнивания снимков

- Общая преселекция. Опция, которая повышает скорость выравнивания камер при помощи отбора с низкой точностью отождествления;
- Преселекция по привязке. Данная настройка используется, если предыдущего пункта недостаточно;
- Сбросить текущее выравнивание. Данную настройку следует использовать в случае, если существует текущее выравнивание, то есть выравнивание производится с нуля;
- Максимальное количество точек. Ограничение характерных точек, которые получают на каждом снимке, то есть, если установить значение данного параметра в ноль, то ограничения не будет и возможно появление ненадежных характерных точек;
- Максимальное количество проекций. Данный параметр ограничивает количество связующих точек между каждым снимком. Если выставить данное значение в ноль, то данный параметр будет означать, что количество точек может быть сколько угодно, в зависимости от того, сколько вычислит программа;
- Подавлять неподвижные связующие точки. Данный параметр следует использовать, если задний фон остается неизменный, то есть, когда камера остается на одном месте, но вместо этого вращается объект цифровизации;
- Локальный поиск соответствий. Данный параметр необходимо использовать, если качество фотографий очень высокого уровня;
- Адаптивное уточнение модели камеры. Настройка предназначена для случаев, когда производится цифровизация больших архитектурных сооружений, например, зданий или для случаев, если фотосъемка производилась при помощи беспилотного летательного средства.

Построение плотного облака точек – данная функция на основе карт глубин, при помощи фототриангуляционного метода, позволяет получить плотное облако точек.

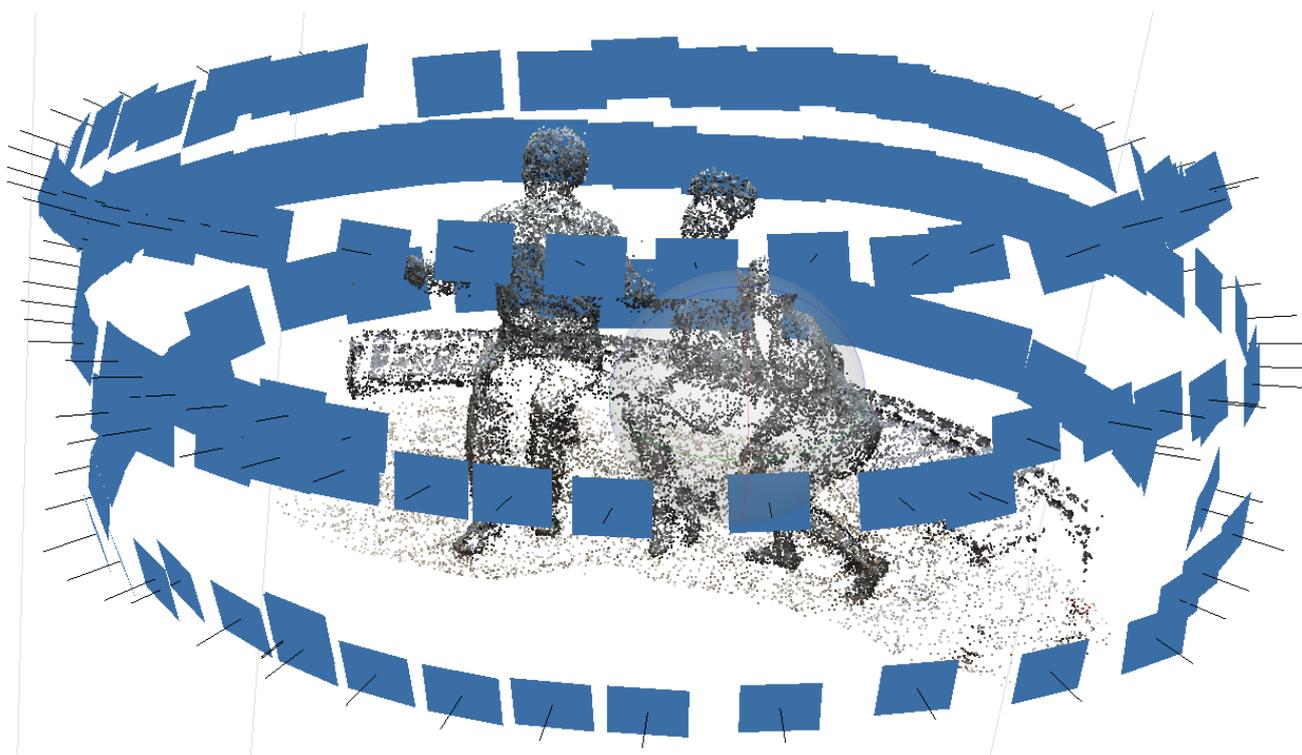


Рисунок 3.8 – Результат выравнивания снимков

Результат построения плотного облака точек изображен на рисунке 3. 10. Для данной функции, пример настроек можно увидеть на рисунке 3.9, существует следующие параметры настройки:

- Качество. Данная настройка позволяет установить необходимое качество для получаемого плотного облака точек. Чем выше качество, тем больше нужно ресурсов системы, где будет вычисляться облако точек, и времени на обработку. Качество «Очень высокое» использует снимки без сжатия, при снижении качества на один параметр, размер используемого снимка понижается в 4 раза;
- Рассчитывать цвета точек. Данная функция окрашивает точки в зависимости от объекта цифровизации;
- Рассчитывать достоверность точек. Данный параметр позволяет производить оценку карт глубин относительно облака точек;
- Режим фильтрации карт глубин. Данный параметр позволяет установить режим использования карт глубин. Настройка «мягкая» и самая оптимальная, так как подходит для объектов цифровизации, где есть множество мелких деталей;

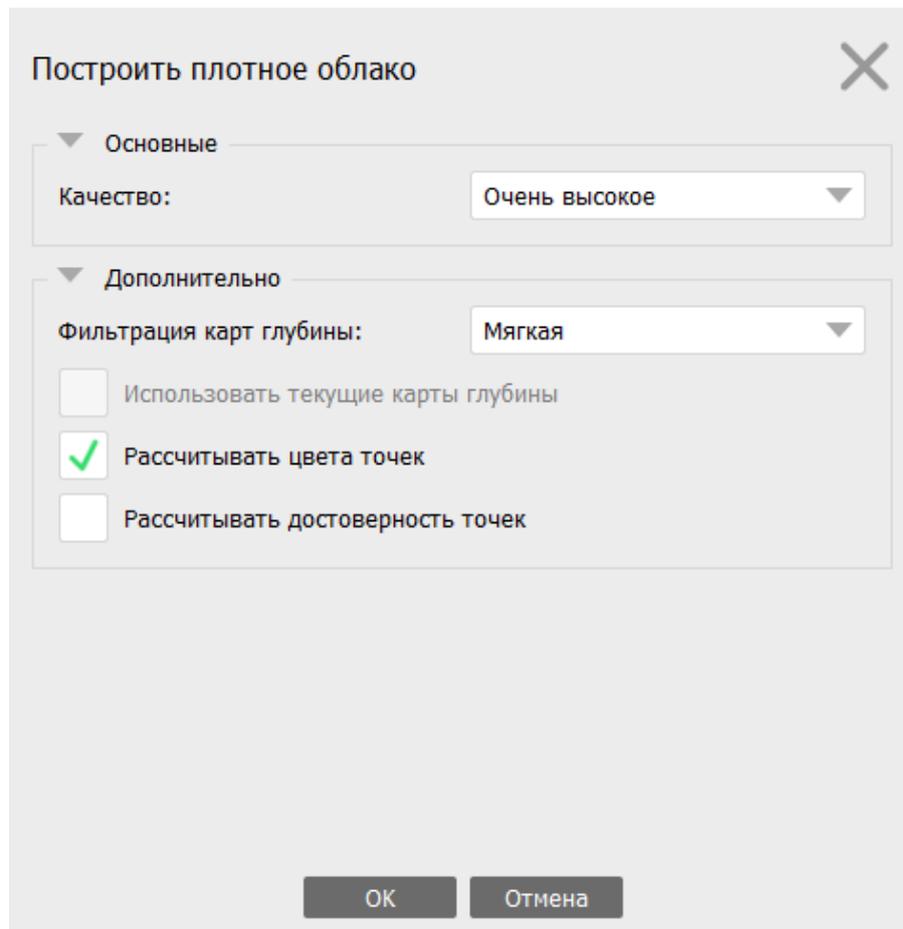


Рисунок 3.9 – Параметры построение плотного облака точек

- Использовать текущие карты глубины. Данная опция позволяет использовать уже существующие вычисленные глубины, если их не будет, то смысла ставить эту опцию нет, так как все равно данные карты будут вычислены с нуля. Данную настройку стоит использовать в случае, если необходимо произвести заново расчет, с расчетом на то, что до этого были произведены изменения.

Перед тем как переходить к следующему этапу, необходимо произвести очистку плотного облака точек от всего, что не относится к предмету цифровизации. Это необходимо делать для того, чтобы на следующем этапе, при построении модели в виде трехмерной сетки, которая состоит из полигонов, не производилось лишних вычислений, тем самым снизим нагрузку на компьютер, уменьшим время, которое необходимо для вычисления, а также повысим качество модели, так как оно исчисляется в количестве полигонов и это количество не будет тратиться на лишние детали. С помощью инструмента «произвольное

выделение» выделяем все лишние точки и удаляем из рабочего пространства. Результат очистки можно увидеть на рисунке 3.11.



Рисунок 3.10 – Результат построения облака точек



Рисунок 3.11 – Результат очистки плотного облака точек

Построение трехмерной полигональной модели – эта функция предоставляет возможность преобразовать полученное на прошлом этапе облако точек в трехмерную модель. Результат построения трехмерной модели можно увидеть на рисунке 3.13. Для данной функции, пример настроек которой можно увидеть на рисунке 3.12, существуют следующие параметры настройки:

а) Исходные значения. Данный параметр позволяет выбрать данные, на основе которых будет производиться постройка трехмерной модели, а именно:

- 1) Связующие точки. Для построения трехмерной сетки использует облако связующих точек и данный параметр полезен в основном, когда необходимо быстро построить модель, чтобы оценить примерное её качество;
- 2) Плотное облако точек. В данном случае построение трехмерной сетки базируется на плотном облаке точек и данный параметр является основным для предметной фотограмметрии, так как именно на нём достигается самое высокое качество трехмерных моделей;
- 3) Карты глубин. Данный параметр базируется на картах глубин с исходных изображений и предполагается его использование в тех случаях, когда плотное облако точек не будет редактироваться.

б) Тип поверхности. Данная настройка определяет тип построения модели и в данном случае их два:

- 1) Произвольный. Данный тип построения используется для создания замкнутых моделей, то есть для предметной фотограмметрии;
- 2) Карта высот. Параметр предназначен для случаев, когда происходит построение топографических трехмерных моделей местности и в нашем случае он не интересен.

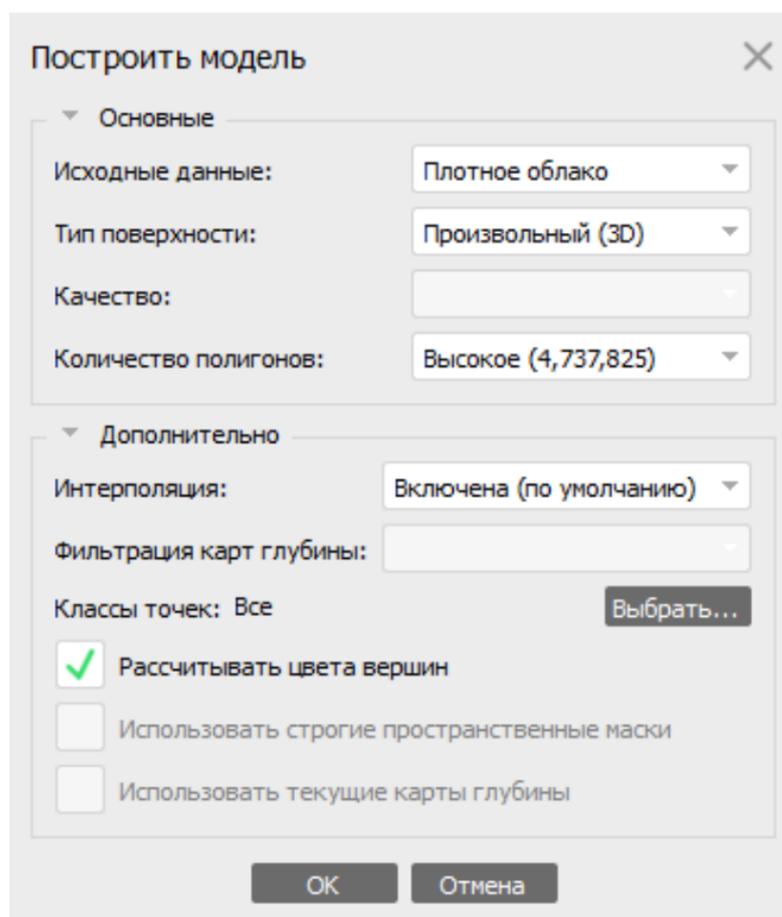


Рисунок 3.12 – Параметры построение модели

в) Качество. Данный параметр регулирует качество построения трехмерной сетки в случаях, когда в параметре «исходные значения» выбрана настройка «карты глубин», в ином случае данная настройка неактивная;

г) Количество полигонов. Параметр, который позволяет определить какое количество полигонов будет использоваться при построение трехмерной модели. Заранее программой предлагается 3 параметра, которые основываются на плотном облаке точек, а именно: высокое (1/5 от количества точек), среднее (1/15 от количества точек) и низкое (1/45 от количества точек). Так же этот параметр можно задать вручную, но при этом не стоит использовать слишком большие числа, так как, чем больше полигонов, тем больше мощности нужно компьютеру для дальнейшей работы с моделями, и слишком маленькие, так как модель будет деформирована. При создании модели памятника В.В. Белоглазову использовалось число, которое в 5 раз больше, чем число в рекомендуемом параметре качества «высокое»;



Рисунок 3.13 – Результат построения трехмерной модели

д) Интерполяция. Данный параметр позволяет закрывать отверстия в генерируемой трехмерной модели. Если его отключить, то отверстия не будут закрываться;

е) Классы точек. Данный параметр используется, если заранее была произведена классификация точек и он используется в случаях построения трехмерных моделей топографических карт и нам не особо интересна;

ж) Рассчитать цвета вершин. Данная опция позволяет рассчитать цвета вершин полигонов на основе облака точек.

Следующим шагом, после построения трехмерной модели, необходимо экспортировать модель в формате «obj» используя следующие параметры мастера экспорта модели, которые изображены на рисунке 3.14.

После экспорта далее необходимо избавиться от лавочки, так как это простой объект и его проще смоделировать, чем заниматься обработкой итоговой фотограмметрии, а так нужно разделить объект на три модели.

В результате применения моделирования при помощи примитив, была смоделирована упрощенная модель лавочки, так как основную ценность несут именно скульптуры людей, и результат можно увидеть на рисунке 3.15.

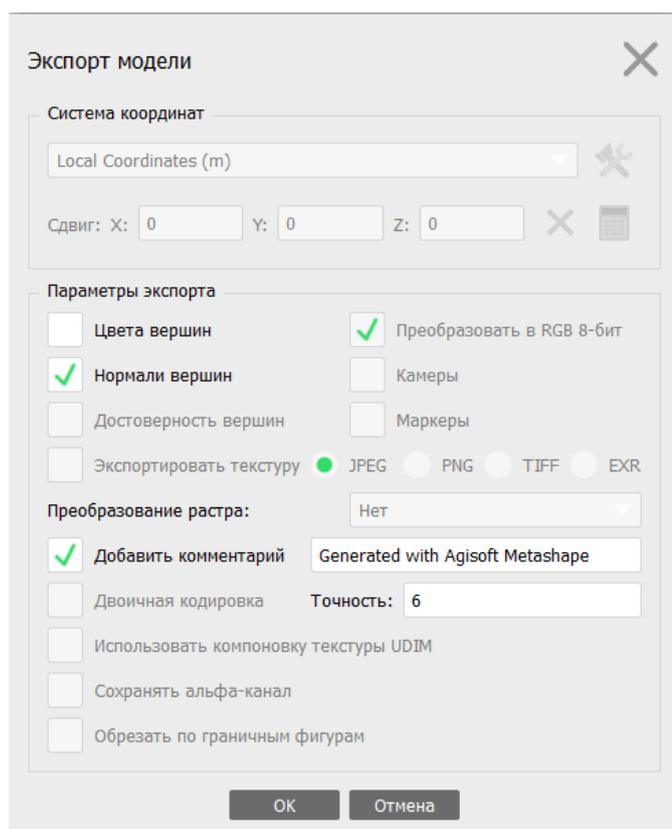


Рисунок 3.14 – Экспорт модели

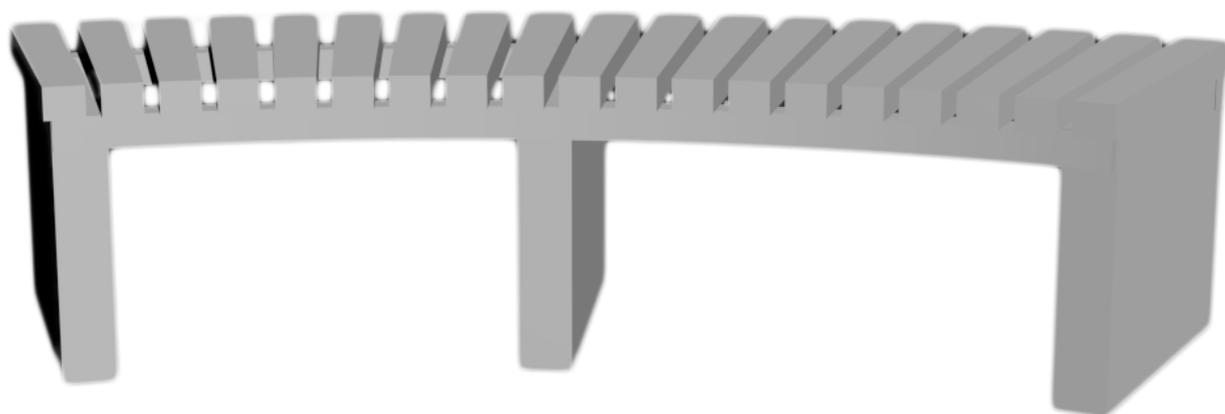


Рисунок 3.15 – Трехмерной модель упрощенной лавочки

Далее при помощи моделирования посредством скульптинга необходимо отредактировать модели памятника, чтобы избавиться от огрехов фотограмметрии в виде неровностей, зияющих дыр, а также подобрать оптимальное количество полигонов. Модель была условно разделена на мужчину, девушку и мальчика и результат обработки можно увидеть на рисунке 3.16, 3.17, 3.18.



Рисунок 3.16 – Результат обработки модели



Рисунок 3.17 – Результат обработки модели



Рисунок 3.18 – Результат обработки модели

Последним шагом необходимо собрать все 4 полученные трехмерные модели в одну. Чтобы объективно оценить качество модели была процедурно сгенерирована металлическая текстура бронзы с помощью редактора материалов в Autodesk 3Ds Max. Заключительным этапом, для презентации результата создания цифровой копии памятника В.В. Белоглазову, является рендер трехмерной модели, который можно увидеть на рисунке 3.19.

Результат, который был смоделирован при помощи трехмерного сканирования посредством фотограмметрии, получился высокого качества и очень достоверным, относительно оригинала.



Рисунок 3.19 – Результат создания цифровой копии памятника В.В. Белоглазову

### **3.2 Цифровизация памятника «Снегурочка»**

Следующим объектом цифровизации является памятник под названием «Снегурочка», который был посвящен продавщице мороженого Зинаиде Синицыной, которая на протяжении 20 лет торговала мороженым до позднего вечера возле городского парка. Памятник находится по адресу Амурская область г. Благовещенск на пересечение улиц Мухина и Ленина. Данный объект можно увидеть на рисунке 3.20.

На данном объекте было принято решение проверить гипотезу, что можно произвести фотограмметрию на основе фотографий, которые будут сделаны на телефон.



Рисунок 3.20 - Памятник «Снегурочка»

Фотографии делались на телефон Xiaomi mi 9, камера которого имеет следующие характеристики:

- разрешение снимков в 48 мегапикселей;
- диапазоном чувствительности ISO от 100 до 6400;
- диафрагмы f/1.75;
- возможность получения фотографий в RAW формате.

Из-за особенностей модуля, который отвечает за фотографирование, нет возможности изменять размер диафрагмы, поэтому использовалось стандартное значение. Фотографии делались при следующий параметрах:

- значение ISO – 100;
- выдержка – 1/200.

По аналогии, как и с предыдущим объектов цифровизации, фотографирование памятника производилось в пасмурную погоду, так как это обязательно, потому что он имеет текстуру блестящего металла, из-за чего, если бы фото-съемка производилась в солнечный день, то на поверхности объекта были бы блики, но при всем этом даже в пасмурную погоду они наблюдались.

Первый этап, перед началом фотографирования памятника, был разработан маршрут съемки, который можно увидеть на рисунке 3.21.



Рисунок 3.21 – Маршрут съемки

В итоге фотографирования получилось 300 фотографий. Из-за особенностей стоит отметить, что было затруднительно фотографировать нижнюю часть памятника, так как модель стоит в непосредственной близости с одним из объектов композиции, но на итоговую обработку это не повлияло. После обработки фотографий, они были обработаны в программе для фотограмметрии Rescap Pro в 3 этапа:

- цифровизация области головы;
- цифровизация области туловища и рук;
- цифровизация области ног.

Из-за особенностей модели распространения программы проект имеет ограничение в 100 фотографий, поэтому и было принято решение, ради повышения детализации модели, разбить модель на 3 части.

После вышеперечисленных действий было получено 3 части, которые в итоге, посредством скульптинга, были объединены в одну модель. Результат можно увидеть на рисунке 3.22.

Предпоследним этапом была произведена обработка модели от погрешностей фотограмметрии, которые получились из-за особенностей текстуры модели, а заключительным этапом является рендер памятника, который изображен на рисунке 3.23.



Рисунок 3.22 – Объединенные результаты фотограмметрии

В заключение, стоит отметить, что результат, который был смоделирован посредством 3D сканирования на основе фотограмметрии, получился хорошего качества, несмотря на то что фотосъемка производилась на камеру мобильного телефона.



Рисунок 3.23 – Результат создания цифровой копии памятника «Снегурочка»

### **3.3 Цифровизация памятника челноку**

Заключительным объектом цифровизации является памятник челноку, который установлен по адресу Амурская область г. Благовещенск на пересечение улиц 50 лет октября и Амурская, возле Амурской ярмарки. Памятник, который можно увидеть на рисунке 3.24, изображает человека, который в одной руке держит баул, а в другой придерживает большую коробку, которую несет на плече – неперенные атрибуты челноков, которые в 90-х годах были распространены в городе Благовещенске.

Для фотосъемки, как и в проекте по созданию цифровой копии памятника В.В. Белоглазову, использовалась камера Canon EOS 600D со следующими настройками:

- разрешение 18 мегапикселей;
- сохранение снимков в формате RAW;
- значение ISO – 200;

- значение выдержки – 1/150;
- значение диафрагмы – f/8.0.



Рисунок 3.24 – Памятник челноку

Для съемки объекта был разработан следующий маршрут, который можно увидеть на рисунке 3.25. Как и в других случаях, съемка производилась в пасмурную погоду, в обеденное время, так как солнце находится сверху и из-за этого памятник равномерно освещен, а также маршрут был разбит на три этапа:

- съемка с верхней высоты;
- съемка со средней высоты;
- съемка с нижней высота.

В итоге съемки вышло 100 фотографий, которые были обработаны, а после этого на основе этих фотографий была создана фотограмметрия, результат которой изображен на рисунке 3.26.



Рисунок 3.25 – Маршрут съемки



Рисунок 3.26 – Фотограмметрия памятника челноку

Следующим шагом необходимо было обработать результат сканирования, с помощью 3D моделирования, а конкретно избавиться от всех огрехов фотограмметрии так, чтобы результат был максимально приближен к оригиналу. Чтобы объективно оценить результат был сделан трехмерный рендер, который изображен на рисунке 3.27.



Рисунок 2.27 – Результат создания цифровой копии памятника челноку

В результате создания цифровой копии памятника челноку были закреплены профессиональные навыки трехмерного сканирования. Цифровая копия, также как и в предыдущих случаях, получилась высокого качества.

## 4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 4.1 Безопасность

#### 4.1.1 Анализ потенциальных опасностей

Технология трехмерного сканирования заключается в обработке фотографий и в трехмерном моделировании на ПЭВМ, поэтому необходимо рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут воздействовать на человека во время работы на ПЭВМ.

Работа за персональным компьютером не так безопасна, как кажется и эта информация подтверждается стандартом ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Данный стандарт описывает основные вредные и опасные факторы данного процесса и в их список, например, входит:

- большая температура, которая характерна для некоторых отдельных составляющих персональных компьютеров, создающая высокий уровень температуры по всему рабочему помещению;
- рутинный и монотонный рабочий процесс;
- возможный риск поражения статическим током при контакте с некоторыми элементами компьютера;
- плохая освещенность рабочего места;
- избыточный уровень напряженности магнитных и электрических полей на рабочем месте;
- высокий уровень шума;
- и т.д.

Все вышеперечисленные факторы могут привести к следующим последствиям для здоровья человека:

- а) нарушение сна;
- б) проблемы со здоровьем, а именно:
  - 1) нарушение осанки;
  - 2) туннельный синдром кистевых суставов

- 3) ожирение
- 4) и т.д.
- в) повышенная утомляемость
- г) депрессия и стрессы
- д) и т.д.[1]

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

Для предотвращения пагубных воздействий на здоровье и психологическое состояние человека, а также вредных факторов производственной среды во время работы за ПЭВМ следует придерживаться правил, которые позволят нивелировать все пагубные воздействия.

Для работы за компьютером необходимо правильно организовать своё рабочее место. Рабочий стол должен иметь достаточный размер для размещения компьютера, монитора, клавиатуры и прочей компьютерной периферии, которая необходима для работы. Клавиатуру нужно расположить на рабочем столе таким образом, чтобы пользователю было куда облокотить руки (на расстоянии не менее чем 300 мм от края, обращенного к работнику). Расстояние между экраном монитора и работника должно быть не менее 500 мм, а оптимальное считается от 600 до 700 мм. То есть, если резюмировать, то системный блок и компьютерную периферию нужно расположить так, чтобы пользователю ничего не препятствовало во время работы за нею, то есть, например, должна быть возможность регулировки поворота монитора в горизонтальном и вертикальном направлениях. Так же поверхность устройств должна быть матовой, с коэффициентом отражения 0,4 – 0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. Конструкция монитора должна предусматривать регулирование яркости и контрастности.

Согласно нормативам, площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с монитором на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>, с монитором на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) – 4,5 м<sup>2</sup>. При использовании ПЭВМ с монитором на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств – принтер, сканер и др.), отвечающих

требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4-х часов в день допускается минимальная площадь 4,5 м<sup>2</sup> на одно рабочее место пользователя.

Также рабочее пространство, где находятся рабочие места с компьютерами, необходимо оборудовать защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации. Если же в помещении находится несколько рабочих мест, то их необходимо располагать так, чтобы от одного монитора до тыла другого было не менее 2 м, а расстояния между ближайшими друг к другу гранями – 1.2 м.

Само рабочее место необходимо располагать так, чтобы естественный свет, из окна, падал сбоку и желательно слева. Если же окно находится в поле зрения работника, когда он сидит на рабочем месте, то есть естественный свет попадает ему прямо в глаза, то необходимо оборудовать окна жалюзи или плотными шторами. Согласно пункту 251 СП 2.2.3670-20, компьютеры необходимо располагать так, чтобы показатели освещенности не превышали установленных гигиенический норм, которые содержатся в СанПиН 1.2.3685-21 раздел V, таблицы под номерами 5.23-5.25, и при всем этом не должно противоречить нормам из СП 52.13330.2016 приложение Л таблица Л.1.

Искусственное же освещение, в зависимости от типа работы, которая выполняется работником за компьютером, может быть общим равномерном или комбинированным – к общему равномерному освещению добавляются локальными светильниками. Комбинированное, как правило, добавляют в случаях, когда пользователь работает, помимо работы за компьютером, работает с документами. В остальных случаях при работе за компьютером достаточно общего равномерного освещения.

Так же для рабочей мебели, которая необходима при работе за компьютером, рекомендуются следующие параметры:

- высота стола, на котором располагается компьютер, должна быть 725 мм, но также, если допускается регулировки уровня высота, то пределы регулировки рекомендуются 680-800 мм;

- для комфорта ног необходимо, чтобы у стола было пространство для ног: высота от 600 мм, ширина от 500 мм, глубина для колен от 450 мм, глубина для вытянутых ног от 650 мм;

- стул, на котором сидит работник, должен иметь возможность регулировки по следующим критериям: регулировка наклона спинки, регулировка высоты сиденья, возможность вращения стула вокруг своей оси. И при всем этом необходимо, чтобы регулировка легко осуществлялась.

- так же при возможности возможно использование подставки для ног, для которой рекомендуются следующие параметры: ширина от 300 мм, глубина от 400 мм, регулировка высоты до 150 мм и угол наклона до 20°.

В рабочих помещениях, где располагается компьютер, необходимо проводить каждый день влажную уборку, а также проветривание после каждого часа работы за компьютером [5].

Во избежание поражения электрическим током необходимо, чтобы компьютер использовался только в стандартных сетях переменного тока 220 В. Розетки должны быть оборудованы заземлением (класс защиты прибора 01 – евро-вилка). Запрещается использовать компьютер, если кабель питания поврежден или он не является оригинальным. При функционировании компьютера запрещается выключать его посредством извлечения кабеля питания. Если же возникнет такая ситуация, когда это необходимо будет сделать, то сначала нужно отключить системный блок с помощью кнопки, которая находится на задней его части, а после этого уже извлекать кабель питания из розетки или из самого системного блока. В тех ситуациях, когда необходимо использовать удлинитель, то необходимо, чтобы розетка была двухполюсная, которая рассчитана на ток до 10 А, а также присутствовал заземляющий провод. Так же, при подключении компьютера к сети переменного тока, необходимо использовать только качественный сетевой фильтр с функцией стабилизации напряжения, а лучше – через блок бесперебойного питания, так как при скачках напряжения процесс печати может прерваться без возможности его возобновления [1].

В помещении, где должен быть установлен принтер, не должно быть высоких (и опасных) уровней напряженности электрического и магнитного поля, так как они также могут вызвать из-за помех сбой в работе систем управления и датчиков контроля. Это одновременно обеспечит нормальные условия труда работникам.

#### **4.2 Экологичность**

При производстве одного компьютера и его периферии, вес которых составляет 24 кг, необходимо технологических ресурсов на 240 кг ископаемого невозобновимого топлива для необходимых энергоносителей, 22 кг химических веществ и 1500 кг воды [4].

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

Для обеспечения электроэнергией, для работы компьютеров, во всем мире необходимо использование топлива, которое приводит к следующим пагубным последствиям:

- для топлива используются источники, которые не восстанавливаются и в итоге когда-нибудь могут закончиться;
- при получении энергии увеличивается количество углекислого газа (CO<sub>2</sub>);
- так же выделяются огромное количество вредных веществ;
- и т.д. [3]

Чтобы предотвратить дальнейшее экологическое загрязнение, которое происходит в результате развития компьютерной техники и с каждым годом её

количество пропорционально растет, необходимо создание «экологически чистых» компьютеров.

Разработка и производство «экологически чистых» компьютеров может быть обеспечено складывающимися следующими направлениями [2]:

- уменьшение использования элементов таблицы Д.И. Менделеева на этапах производства отдельных деталей компьютерной техники;
- создание новых технологий конструктивных решений и нового программного обеспечения, которое будет понижать меру использования энергоносителей, а также понижение эмиссионных факторов (электромагнитные поля, ионизирующие и рентгеновские излучения);
- разработкой конструкций отдельных узлов, упрощающих переработку компьютерного лома и исключая вредных вещества (хлористо-фтористые соединения и бромосодержащие вещества: кадмий, свинец, ртуть и т.д.);
- изобретение новых разработок технологических процессов, которые будут обеспечивать прецизионное извлечение элементов таблицы Д.И. Менделеева из отдельных узлов, деталей, печатных плат или замены элементов новыми материалами;
- разработкой комбинации материалов, которая позволяет создавать дешевые сверхплотные электронные устройства памяти, которые совместят в себе органические материалы электропроводящий полимерный материал и неорганические компоненты.

Согласно стандарту (EPA Energy Star VESA DPMS), монитор должен поддерживать три энергосберегающих режима – ожидание (Standby), приостановку (Suspend), и «сон» (off). Такой монитор, при долгом простоем компьютере, переводится в соответствующий режим с низким энергопотреблением.

На этапе утилизации и переработки «компьютерного лома» появляются сложные научно-технические задачи из-за отсутствия надежной и эффективной технологии изготовления элементов из деталей ПЭВМ.

Наличие в составе материалов ПЭВМ фтористо-хлористых соединений углерода, бромосодержащих средств защиты от возгорания, а также наличие

пластмасс отрицательно влияют на природу. Из пластмасс только 20 % может быть переработано, остальное требует захоронения [3].

В процессе разборки изделий средств вычислительной техники образуется медьсодержащий лом (в частности, провода), алюминий и его сплавы, оловянно-свинцовые припои, содержащиеся в печатных платах. Металлический лом может быть реализован и переработан.

Стекла люминесцентных экранов электронно-лучевых трубок используют в качестве сырья при производстве керамики и новых трубок.

Также в процессе разборки компьютерной техники пластмассы сортируют по видам термопласт (поливинилхлорид, полистирол, полиэтилен) и подвергают дальнейшей переработке:

- прямая переработка отходов пластмасс ПЭВМ во вторичное сырье, материалы, изделия, включая и использование в различных композициях;
- термическое разложение с получением целевых продуктов;
- термическое обезвреживание с регенерацией выделяемой теплоты;
- разработка биоразрушаемых пластмасс

Важным параметром таких отходов, как пластмасса, является их энергетическая ценность. И по химическому составу, и по теплоте сгорания пластмассы подобны основным ископаемым топливам, природному газу, нефти, углям. Но это не всегда возможно в связи с присутствием в них примесей, приводящих к образованию при сжигании токсичных соединений.

Одной из перспективных технологий переработки отходов пластмасс является их использование в металлургическом производстве в качестве источника энергии и восстановителей, прежде всего – в доменных печах [3].

### **4.3 Чрезвычайные ситуации**

Самая распространенная чрезвычайная ситуация, которая может случиться при работе за компьютером – это пожар. Для того, чтобы предотвратить такую ситуацию, необходимо соблюдать следующие правила:

- наблюдение за исправностью всего технического оборудования и при первой же возможности устранять её, во избежание возгорания;

- при каждом окончании работы за компьютером, необходимо убираться за рабочими местами и во всем помещении, а также при необходимости нужно отключать электроэнергию и свет;

- должно быть обеспечено исправное содержание и постоянную готовность к действию имеющихся средств пожаротушения, связи, сигнализации.

При возникновении возгорания необходимо сообщить о чрезвычайной ситуации по телефону: 01; 112, отключить все электронное оборудование, обеспечить оперативную эвакуацию людей, принять меры для ликвидации возгорания.

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

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

В замкнутых помещениях объемом до 50 м<sup>3</sup> вместо переносных огнетушителей (или в дополнение к ним) можно использовать подвесные само-срабатывающие порошковые огнетушители (ОСП и другие).

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

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения квалификационной работы были решены все поставленные задачи. Исследовав и проанализировав область трехмерного моделирования, были изучены основные методики моделирования, в том числе и то, какие бывают типы моделей. Кроме того, было получено понимание о том, в каком ключе, в настоящее время, развивается 3D моделирование и в каких областях оно наиболее популярно. Также проанализировав использование трехмерного сканирования, было получено понимание того, что фотограмметрия является доступным и достаточно эффективным относительно других методик, так как, для получения данных, которые необходимы для сканирования, необходим инструмент для фотосъемки, который есть практически у любого человека, и вдобавок к этому, на данный момент, существует огромное количество бесплатного программного обеспечения для обработки фотографий посредством фотограмметрических методик. Данный аргумент подтверждается результатами исследования, которые были получены с помощью трехмерного сканирования посредством фотограмметрии, а именно:

- цифровая копия памятника В.В. Белоглазову;
- цифровизация копия памятника «Снегурочка»;
- цифровая копия памятника челноку.

В заключение хочется отметить, что трехмерное сканирование при помощи фотограмметрии является очень перспективным, так как с каждым годом совершенствуется, как сама методология, так и инструментарий для получения данных, и поэтому данная методика с каждым годом находит все более широкое применение.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- 1 Шумилин, В.К. ПЭВМ. Защита пользователя. М., 2001. С. 15.
- 2 Шумилин, В.К. Охрана труда и охрана окружающей среды в технологиях художественного литья. М., 2019. С. 115.
- 3 Шумилин, В.К. Экология компьютерной техники. М., 2017. С. 17.
- 4 Rcycle.net: Информационный портал [Электронный ресурс]. URL: <https://rcycle.net/tehnika/bytovaya-i-orgtehnika/utilizacija-staryh-kompyute-rov>.  
(дата обращения: 10.05.2019)
- 5 Ohranatruda.ru: Информационной портал [Электронный ресурс]. М., 2019. URL: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/instructions/index.php?sort\\_order=date\\_up&search\\_text](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/index.php?sort_order=date_up&search_text) (дата обращения: 10.05.2019)

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Горлач, С. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн [Электронный ресурс]: материалы конф. / С. Горлач [и др.]; под ред. В. А. Немтинов; Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2015. – 375 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63844.html>. – 25.03.2022.
- 2 ГОСТ Р 50948-2001. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности. – Взамен ГОСТ 7.53–86 ; введ. 2002-07-01. – Москва : Московским гос. институтом электроники и математики ; М. : Стандартинформ, 2008.
- 3 Исследование фотограмметрии [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/339464/>. – 12.04.2022.
- 4 Кардаш, Т. А. Эргономика рабочих мест служащих и инженерно-технических работников, оснащенных ПЭВМ : учеб. пособие / Т. А. Кардаш ; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2002. - 60 с.
- 5 Кизилов, Е.Е. Применение 3D-моделирования в кино и видео-индустрии [Электронный ресурс] /Е.Е. Кизилов // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 1. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2017/01/77658>. – 25.03.2022.
- 6 Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Б. В. Краснопевцев. – М : УПП "Репрография" МИИГАиК, 2008. – 160 с. – Режим доступа: <https://miiigaik.ru/upload/iblock/eec/eec5799a3ead6011d48e5c3c2e4a7f2c.pdf>. – 25.03.2022.
- 7 Лабораторный практикум по курсу «3D-моделирование и прототипирование изделий»: учеб.-метод. пособие / А. Н. Сергеев [и др.]. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. – 162 с.
- 8 Медведев, М.П., Фомина, М.А. 3D-печать как новая эпоха в медицине // Новая наука: от идеи к результату. – 2016. – № 11-4. – С. 16-19

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

10 Шумилин, В.К. Охрана труда и охрана окружающей среды в технологиях художественного литья [Электронный ресурс]: учеб. пособие для академического бакалавриата / В. К. Шумилин, В. Б. Лившиц, Е. С. Бобкова. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 404 с. – Режим доступа : <https://biblioonline.ru/bcode/439057>. – 10.05.2022.

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

12 Эльдиб, И. С. Разработка методики совершенствования технологического процесса холодной штамповки изделий на основе оптического 3D-сканирования и численного моделирования : дис. канд. тех. наук : 02.10.20 / П. А. Михаил ; Московский политех. – Москва, 2020. – 173 с.

13 Шумилин, В. К. Экология компьютерной техники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.К. Шумилин, И.Г. Гетия ; МГУ, ЭиБЖ. – Москва : Издательство Юрайт, 2017. – 18 с. – Режим доступа: <https://biblioonline.ru/bcode/439057>. – 10.05.2022.

14 Agisoft Metashape Documentation [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro>. – 12.04.2019.

15 Blender Documentation [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://docs.blender.org>. – 12.04.2022.

16 MakeHuman Community [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <http://www.makehumancommunity.org>. – 10.04.2022.

17 Ohranatruda.ru: Информационный портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/instructions/index.php?sort\\_order=date\\_up&search\\_text](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/index.php?sort_order=date_up&search_text) – 10.05.2022.

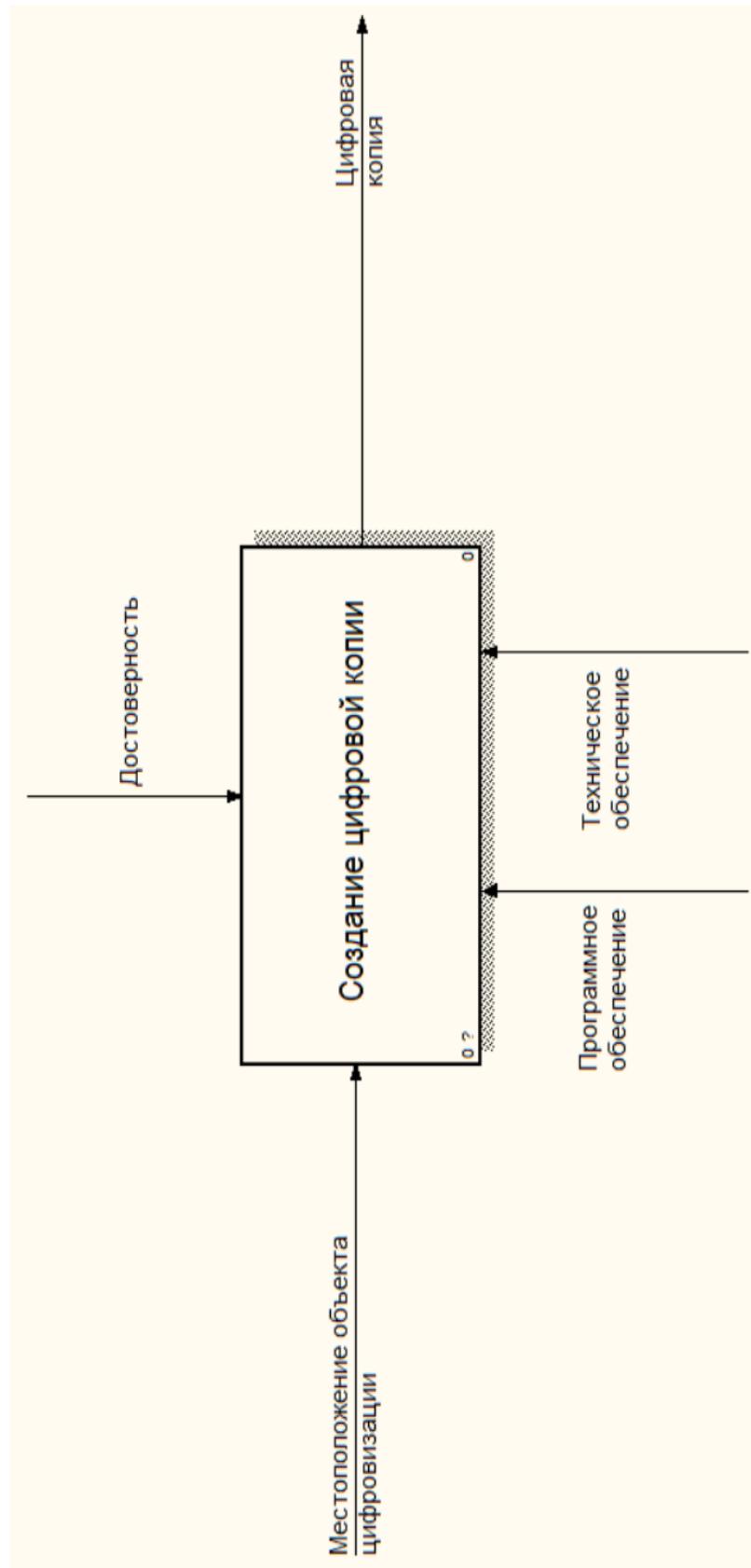
18 Rcycle.net: Информационный портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rcycle.net/tehnika/bytovaya-i-orgtehnika/utilizacija-staryh-kompyutero>. – 10.05.2022.

19 Rcycle.net: Информационный портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rcycle.net/tehnika/bytovaya-i-orgtehnika>. – 10.05.2022

20 3Ds Max Help [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://help.autodesk.com/view/3DSMAX>. – 12.04.2022.

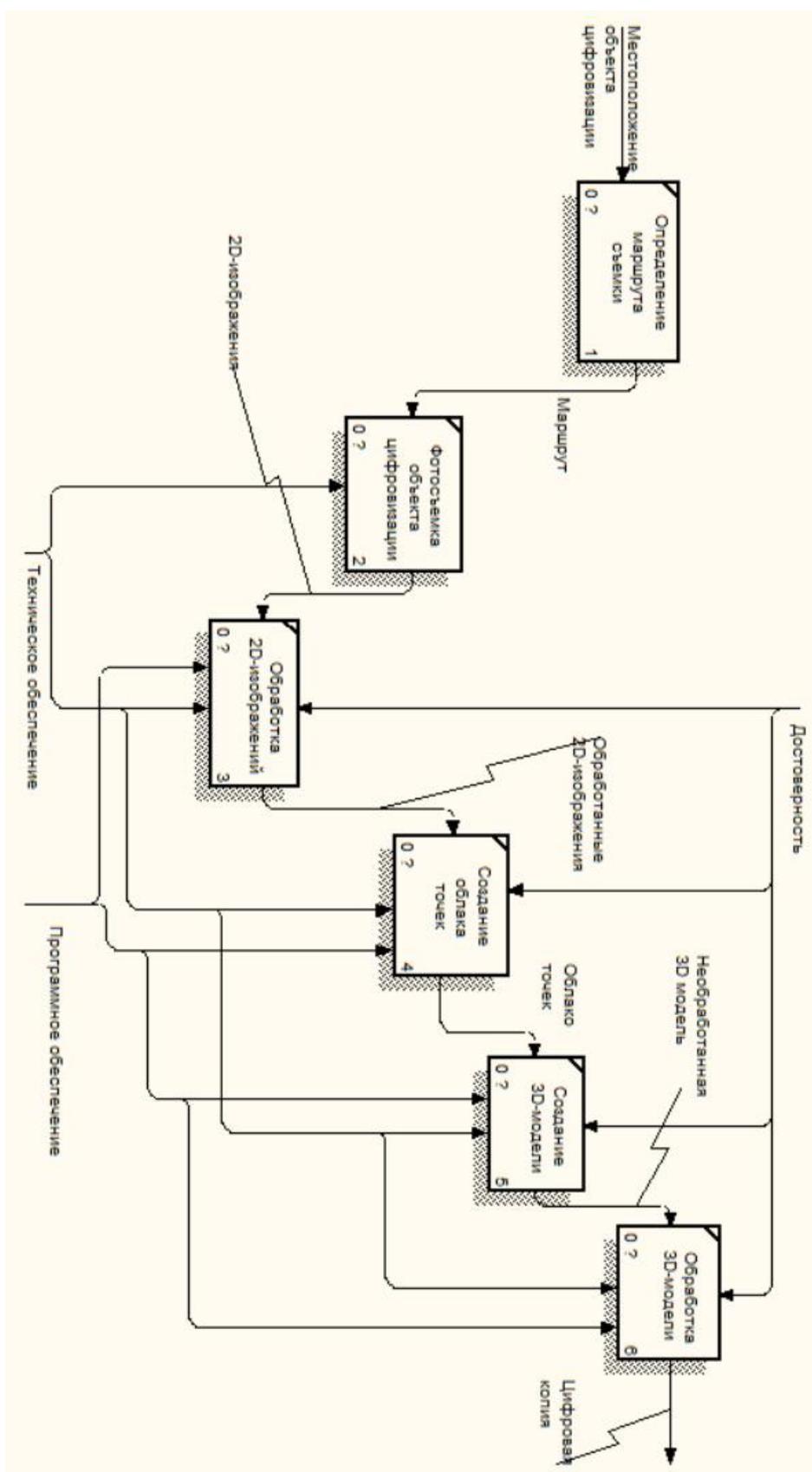
# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Контекстная диаграмма процесса создания цифровой копии



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Декомпозиция контекстной диаграммы процесса создания цифровой копии



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Характеристики программного обеспечения для 3D-моделирования

Название	Особенности	Стоимость
Autodesk 3DsMax	Поддерживает весь цикл разработки трехмерной графики. В основном используется для твердотельного моделирования. Имеет поддержку плагинов. Огромный функционал.	Подписка: Месяц 7767,24 руб., 1 год 64 450.53 руб., 3 года 183 572.38 руб.
Blender	Поддерживает весь цикл разработки трехмерной графики. В основном используется для твердотельного моделирования. Имеет поддержку плагинов. Огромный функционал. В последнее время из-за большой популярности данное ПО начало стремительно развиваться.	Бесплатно
Zbrush	В основном используется для создания органических поверхностей, так как основное направление данной программы – скульптинг.	Подписка: Месяц 2746,45 руб., 1 год 25 400.33 руб., 3 года 76 461 руб.

Таблица В.2 – Характеристики программного обеспечения для фотограмметрии

Название	Особенности	Стоимость
Autodesk ReCap Pro	Отличительной особенностью является то, что процесс фотограмметрирования производится в облаке и из-за этого снижаются требования к технической составляющей, но из минусов стоит отметить скудный функционал относительно другого программного обеспечения. Высокое качество на выходе.	Подписка: 1 год 13200 руб., 3 года 35 566 руб.
Agisoft Metashape	Поддерживает весь цикл фотограмметрического сканирования. Огромный функционал. Высокие требования к технической составляющей. Высокое качество на выходе.	Бессрочная лицензия: 297 000 руб.
RealityCapture	Поддерживает весь цикл фотограмметрического сканирования. Огромный функционал. Низкие требования к технической составляющей. Быстрая скорость. Высокое качество на выходе.	Плавающая цена, которая зависит от количества фотографий.
MeshRoom	Поддерживает все этапы фотограмметрирования. Необходимы идеальные фотографии для достойного результата.	Бесплатно

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1 – Краткое описание этапов трехмерного моделирование при помощи фотограмметрии

Название этапа	Описание этапа
Съемка	<p>Определение маршрута съемки, который зависит от типа объекта. Фотосъемка объекта цифровизации строго в облачную погоду, так как необходим рассеянный свет. Настройки фотоаппарата необходимы следующие: значение ISO не больше 400, значение выдержки ~1/200, размер диафрагмы f8, объектив 50 мм. Объект необходимо снимать так, чтобы фотографии пересекались друг с другом минимум на 60%, но чем больше, тем лучше качество. Объект необходимо снимать со всех сторон и со всех углов, так как, если какой-то информации не будет на фотографиях, то это просто не смоделируется.</p>
Обработка снимков	<p>Обработка снимков для повышения четкости объекта и это в дальнейшем повлияет на качество 3D-сетки.</p>
Создание плотного облака точек	<p>Добавление фотоснимков, которые преобразуются в камеры и их выравнивание. Если неправильно определена какая-то из камер, то необходимо воспользоваться опорными точками. Далее создается плотное облако точек. После необходимо отредактировать плотное облако точек так, чтобы остались лишь точки объекта цифровизации.</p>
Создание 3D-модели	<p>Генерация 3D-модели с нужным количеством полигонов. Чем больше объект и чем качественнее нужна детализация, тем большее количество полигонов необходимо указывать. Далее происходит создание текстуры.</p>
Обработка результата фотограмметрии	<p>Чтобы избавиться от неровностей и огрехов фотограмметрии, например, когда поверхность имеет блеск, необходимо отредактировать её с помощью скульптинга и это необходимо делать, руководствуясь фотографиями объекта цифровизации или трехмерной моделью с наложенной текстурой.</p>