

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»



Н. Н. Попок
С. А. Портянко
Д. А. Шелепень

ТРЕХМЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И ОСНОВЫ РАБОТЫ СО СКАНЕРОМ EINSKAN PRO 2X 2020

Методические указания к лабораторной работе
для студентов специальности 6-05-0722-05
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой
2026

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 004.352 (075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией
механико-технологического факультета (протокол № 4 от 29.10.2025)

Кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства

©Попок Н. Н., Портянко С. А., Шелепень Д. А., 2026
© Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой, 2026

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Трехмерное сканирование и основы работы со сканером EinScan Pro 2x 2020» Н. Н. Попок, С. А. Портянко, Д. А. Шелепень использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

ПОПОК Николай Николаевич
ПОРТЯНКО Сергей Анатольевич
ШЕЛЕПЕНЬ Дмитрий Александрович

**ТРЕХМЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И ОСНОВЫ РАБОТЫ
СО СКАНЕРОМ EINSCAN PRO 2X 2020**

Методические указания к лабораторной работе
для студентов специальности 6-05-0722-05
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Подписано к использованию 26.01.2026.
Объем издания 1,35 Мб. Заказ 31.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИБОРЫ	5
2 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	8
3 РЕЖИМЫ СКАНИРОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 3D-СКАНЕРА EINSKAN PRO 2X 2020	12
4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	14
4.1 Подготовка к подключению устройств	14
4.2 Калибровка	16
4.3 Сканирование	17
4.4 Постобработка	22
4.5 Измерение	24
5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	28
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	29
ЛИТЕРАТУРА	31

Трехмерное сканирование и основы работы со сканером EinScan Pro 2x 2020 входит в образовательный стандарт для специальности 6-05-0722-05 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» модуля «Технология и оборудование» учебной дисциплины «Оборудование для трехмерных технологий».

Цель работы: усвоение принципов работы и получение практических навыков использования 3D-сканера EinScan Pro 2X 2020 для создания цифровых моделей физических объектов. В процессе выполнения работы рассматриваются основные режимы сканирования, проводится калибровка оборудования, выполняется позиционирование геометрии объекта, а также осваиваются базовые методы постобработки полученной 3D-модели в программном обеспечении EXScan Pro 2X.

1 ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИБОРЫ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие технические средства:

1. **3D-сканер EinScan Pro 2X 2020** – устройство для захвата геометрии физических объектов с высокой точностью.
2. **Персональный компьютер** с установленным программным обеспечением:
 - **EXScan Pro 2X** – основная программа для управления сканером, калибровки, захвата и обработки 3D-данных;
 - дополнительно: программное обеспечение для постобработки (по необходимости) – MeshLab, Blender, SolidWorks, Simplify3D и др.
3. **Калибровочная панель (калибровочная пластина)** – используется для настройки точности сканера перед началом работы.
4. **Кабель подключения (USB 3.0)** – соединение сканера с ПК.
5. **Блок питания сканера** – адаптер питания с необходимыми параметрами.
6. **Штатив и поворотный стол (опционально)** – используются при фиксированном режиме сканирования для повышения точности и стабильности.
7. **Набор маркеров (если используется режим с маркерами)** – для улучшения отслеживания положения объекта при ручном сканировании.
8. **Матовый скан-спрей (по необходимости)** – применяется для улучшения качества сканирования темных, прозрачных или глянцевых поверхностей.

9. Образец (объект сканирования) – модель небольшого размера, подходящая по форме и материалу для демонстрации всех этапов сканирования.

Список устройств в стандартном наборе включает (рисунок 1): корпус сканера, адаптер питания, кабель питания, калибровочная панель, поддержка для калибровочной панели, маркеры, usb-накопитель, средство для удаления маркеров / съемник крышки порта модуля, крепление для экрана телефона, кабельный зажим.

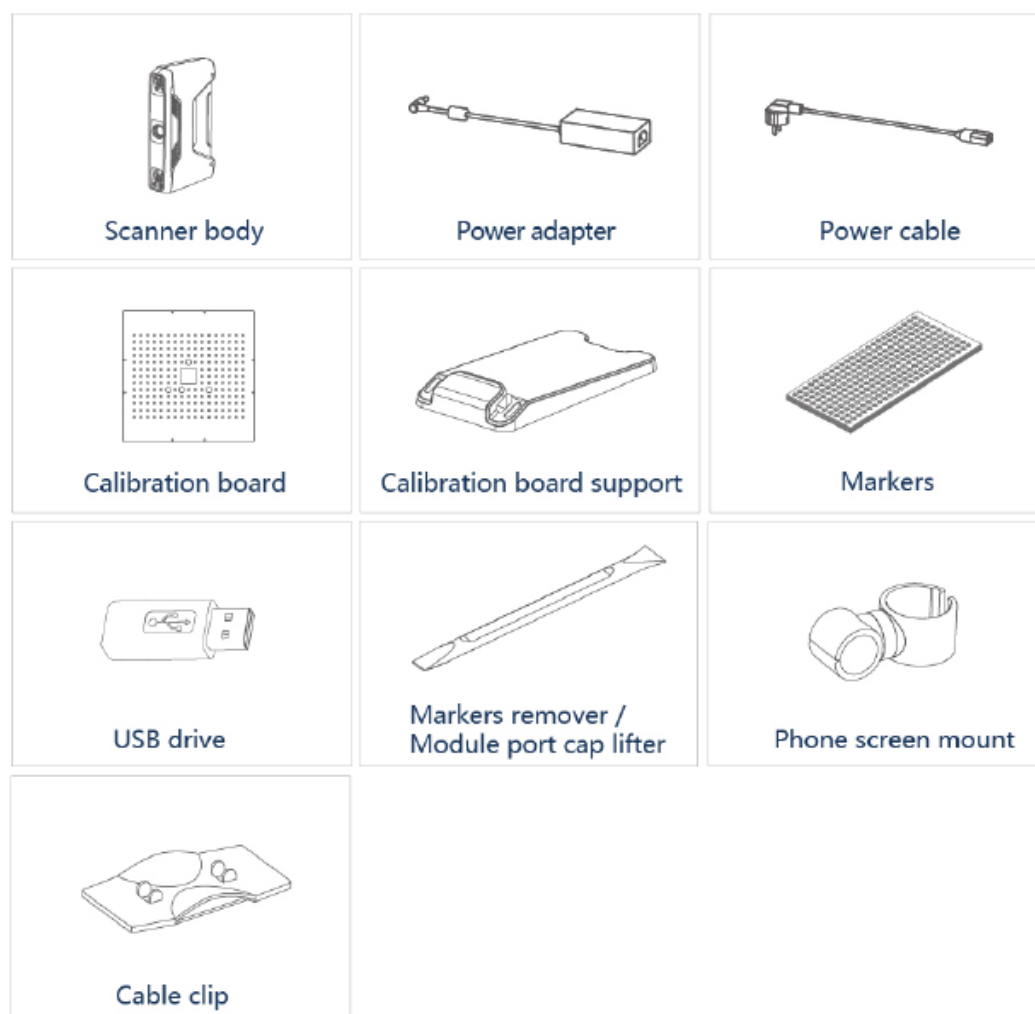


Рисунок 1. – Стандартный набор устройств

В список устройств в промышленном наборе входит (рисунок 2): поворотный стол, штатив (тренога), лоток для сканера, usb-кабель, адаптер питания и кабель питания для поворотного стола.

Для цветного отображения (рисунок 3) поставляется текстурная камера. Общий комплект 3D-оборудования представлен на рисунке 4.

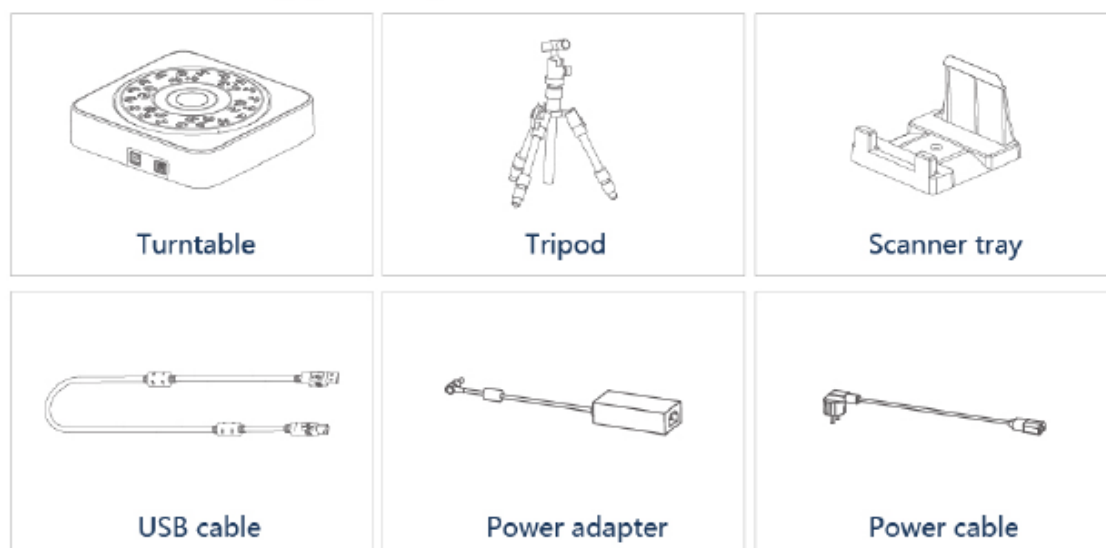


Рисунок 2. – Устройства в промышленном наборе



Рисунок 3. – Устройство для передачи цвета



Рисунок 4. – Комплект 3D-оборудования в общем виде

2 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

3D-сканирование (3D-оцифровка) (3D scanning, 3D digitizing): способ получения данных о форме и размерах объекта в пространственном представлении путем записи x , y и z координат точек поверхности объекта и преобразования набора точек в электронную геометрическую модель при помощи специализированного программного обеспечения [1].

Оптические методы 3D-сканирования основаны на регистрации отраженного или преломленного излучения с целью восстановления геометрии объекта.

На рисунке 5 представлены различные методы получения информации, которые делятся на активные и пассивные [2]. Активные методы требуют внешнего источника света, который излучает сигнал и измеряет отраженный или возвращенный сигнал, в то время как пассивные методы этого не делают.



Рисунок 5. – Таксономия оптических методов получения 3D-изображений

Структурированный свет – это один из самых распространенных и эффективных методов оптического 3D-сканирования, применяемый во многих коммерческих сканерах, включая EinScan Pro 2X 2020.

Метод основан на проецировании определенного светового шаблона (обычно полос, решетки или точек) на поверхность объекта. При попадании на неровности и формы объекта шаблон искажается. Камеры, расположенные под углом к проектору, фиксируют эти искажения (рисунок 6). Далее на основе триангуляции и калибровки системы рассчитывается трехмерная координата каждой точки на поверхности объекта [3].

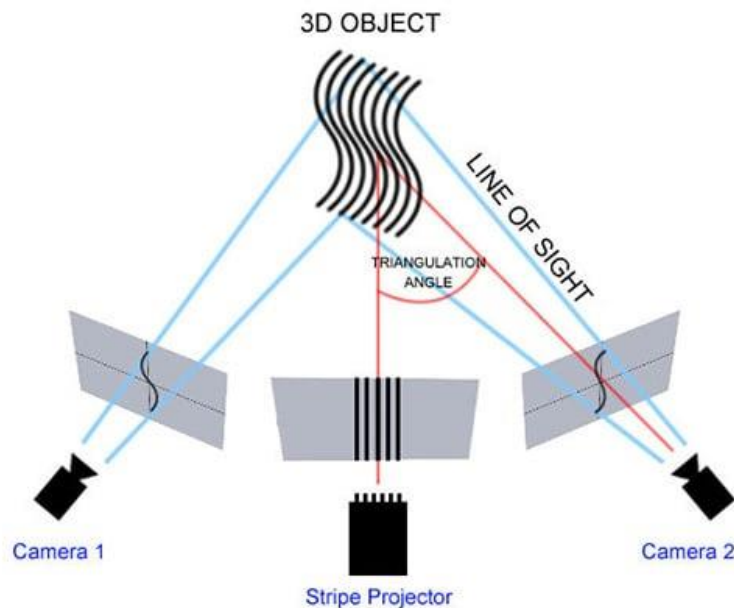


Рисунок 6. – Принцип работы структурированного света

В зависимости от цели и алгоритма обработки, системы структурированного света используют различные шаблоны:

1. Полосы с постоянным шагом (sinusoidal / binary stripes):

- применяются для фазового анализа (Phase Shifting Method);
- позволяют точно определять положение точек, особенно при высоком разрешении.

2. Псевдослучайные узоры (speckle / dot patterns):

- хорошо работают при текстурных или геометрически сложных поверхностях;
- устойчивы к небольшим движениям объекта.

3. Кодированные шаблоны (Gray Code, Binary Code):

- используются для пошагового сканирования с высокой точностью;
- обычно сочетаются с фазовыми шаблонами для повышения надежности.

Основные компоненты системы структурированного света:

- **проектор**. Источник света, который формирует и проецирует шаблон на поверхность объекта;
- **камера (или несколько камер)**. Оптический сенсор, регистрирующий искаженное изображение шаблона;
- **контроллер / ПО**. Выполняет синхронизацию проекции и захвата, обрабатывает данные, строит 3D-модель;
- **калибровочный модуль**. Используется для настройки системы и точного соответствия координат камеры и проектора.

Таблица 1. – Источники погрешности и пути их устранения/компенсации

Источник погрешности	Описание	Тип погрешности	Способы устранения / компенсации
Некачественная калибровка	Несовпадение координат камеры и проектора	Систематическая	Повторная калибровка перед каждой съемкой
Слишком яркое внешнее освещение	Засветка проекционного шаблона	Случайная	Затемнение помещения, использование защитных экранов
Глянцевые/зеркальные поверхности	Свет отражается, создавая «шумы»	Локализованная	Матирующий спрей, порошковое покрытие
Прозрачные или полупрозрачные материалы	Преломление и рассеивание света	Локализованная	Покрытие матирующим составом, подбор других методов сканирования
Темные поверхности	Недостаточное отражение света	Локализованная	Увеличение яркости проекции, использование спрея
Быстрое движение сканера или объекта	Система не успевает захватить данные	Случайная	Плавные движения, настройка скорости захвата
Неправильное положение сканера	Нарушение угла или расстояния до объекта	Систематическая	Следовать рекомендациям производителя по рабочей дистанции и углу
Недостаточное перекрытие между сканами	Ошибки при совмещении фрагментов	Кумулятивная	Обеспечить достаточное перекрытие ($\geq 30\%$), использование маркеров
Отсутствие или плохое качество текстуры	Сложности при выравнивании сканов	Кумулятивная	Использование маркеров или режима с высокой текстурной чувствительностью
Тени и труднодоступные участки объекта	Пропуски в данных (дыры в сетке)	Локализованная	Изменение угла сканирования, дополнительный проход с другого направления

Точность результатов 3D-сканирования напрямую зависит от множества факторов, как технических, так и внешних. Понимание источников погрешности позволяет минимизировать их влияние и обеспечить высокое качество получаемых моделей (см. таблицу 1).

Результатом процесса 3D-сканирования являются цифровые представления геометрии объекта в виде облаков точек или поверхностных моделей. Сохранение данных осуществляется в различных форматах, каждый из которых предназначен для конкретных задач: обработки, анализа, визуализации или производства.

Основные типы сохраняемых данных:

1. Облако точек (Point Cloud). Часто используется для анализа формы, построения поверхности, измерений:

- совокупность трехмерных координат точек, полученных в результате сканирования;
- может содержать также цветовую информацию (RGB).

2. Полигональная сетка (Mesh). Используется в инженерном моделировании, 3D-печати, анимации и визуализации:

- поверхность, построенная на основе облака точек. Представляется как совокупность треугольников (или других многоугольников).

3. Текстурированные модели. Актуально для архивации объектов культурного наследия, визуализации, VR/AR:

- модели, совмещенные с цветовой информацией в виде изображения, наложенного на геометрию.

4. Проекты (внутренние форматы программ). Позволяют вернуться к обработке в исходном ПО:

- хранят все данные сканирования: параметры, выравнивание, промежуточные результаты.

Наиболее распространенные форматы файлов описаны в таблице 2.

Таблица 2. – Распространенные форматы файлов

Формат	Тип данных	Особенности
.asc, .xyz	Облако точек	Простой текстовый формат, содержит координаты точек
.ply	Облако точек / Сетка	Может содержать цвет, нормали, структуру
.obj	Сетка + текстура	Поддерживает геометрию и цвет (через отдельный файл .mtl)
.stl	Сетка	Стандарт для 3D-печати, не содержит цвета
.3mf	Сетка + метаданные	Современный формат, включает цвет, единицы измерения
.e57, .las, .pts	Облако точек	Применяются в лазерном сканировании, геодезии

Рекомендации по выбору формата:

- для **3D-печати**: .stl (если цвет не нужен) или .3mf (если требуется цвет и дополнительные параметры);
- для **визуализации и анимации**: .obj или .ply с текстурами;
- для **анализа, измерений, реконструкции**: облака точек .ply, .asc, .xyz;
- для **долгосрочного хранения и редактирования**: сохранять проект в формате, поддерживаемом используемым ПО.

3 РЕЖИМЫ СКАНИРОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 3D-СКАНЕРА EINSKAN PRO 2X 2020

Сканер EinScan Pro 2X 2020 поддерживает несколько режимов сканирования, которые отличаются принципом работы, уровнем детализации и типом позиционирования. Правильный выбор режима позволяет добиться оптимального соотношения точности, скорости и удобства.

1. Ручной HD-режим (Handheld HD Scan).

Особенности:

- повышенная точность за счет плотной реконструкции;
- требует использования маркеров на объекте (или геометрии с высокой детализацией).

Применение:

- для объектов со сложной формой, где важна детализация;
- когда недоступна установка на поворотный стол.

Плюсы:

- высокая точность (до 0,05 мм);
- можно сканировать большие объекты.

Минусы:

- более медленный процесс;
- требуется стабильное движение и фиксация маркеров.

2. Ручной быстрый режим (Handheld Rapid Scan).

Особенности:

- более высокая скорость сканирования;
- позиционирование по маркерам, текстуре или геометрии.

Применение:

- для быстрого захвата формы крупных объектов;
- в случаях, где точность не критична.

Плюсы:

- удобен для сканирования «в поле» или при ограниченном времени;
- можно использовать без маркеров (при наличии текстуры или сложной геометрии).

Минусы:

- ниже точность (до 0,1 мм);
- больше шумов и погрешностей.

3. Стационарный режим (Fixed Scan).

Особенности:

- сканер закреплен на штативе;
- объект неподвижен или установлен на поворотный стол;
- сканирование с автоматическим совмещением кадров.

Применение:

- для мелких и средних объектов;
- когда нужна высокая точность и стабильность.

Плюсы:

- максимальная точность (до 0.04 мм);
- автоматизация процесса (особенно с поворотным столом).

Минусы:

- ограниченные размеры объекта;
- требуется подготовка и точная калибровка.

4. Стационарный режим с поворотным столом (Fixed Scan with Turntable).

Особенности:

- объект автоматически вращается, создавая серию сканов под разными углами;
- идеален для симметричных или компактных объектов.

Применение:

- ювелирные изделия, мелкие детали, анатомические модели и т.п.

Плюсы:

- полуавтоматическое сканирование;
- высокая точность и воспроизводимость.

Минусы:

- ограничения по массе и размеру объекта (обычно до 5 кг и ~20 см);
- требуется центрирование объекта.

Основные характеристики 3D-сканера EinScan Pro 2x 2020 представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Характеристики рассматриваемого 3D-сканера

Параметр	Значение
Технология сканирования	Структурированный свет (белый свет)
Режимы сканирования	<ul style="list-style-type: none"> – ручной HD-режим; – ручной быстрый режим; – стационарный режим; – режим с поворотным столом (опционально)
Точность (до)	до 0,04 мм (в стационарном режиме с маркерами)
Разрешение сканирования (точечная дистанция)	от 0,2 мм до 3 мм в зависимости от режима
Скорость сканирования	до 1 500 000 точек/с в ручном режиме
Область сканирования (рабочее поле)	до 312 × 204 мм в одном кадре (в зависимости от расстояния до объекта)
Рабочее расстояние	~ 400 мм
Минимальный размер объекта	от 30 мм (в зависимости от режима и точности)
Регистрирование геометрии	<ul style="list-style-type: none"> – по маркерам; – по текстуре; – по геометрии
Цветное сканирование	Опционально (с модулем Color Pack)
Форматы экспорта	.stl, .obj, .ply, .asc, .3mf, .ply, .xyz и др.
Поддерживаемое ПО	<ul style="list-style-type: none"> – EXScan Pro; – Solid Edge SHINING 3D Edition; – возможность интеграции в сторонние CAD и CAM
Интерфейс подключения	USB 3.0
Питание	12 В, через адаптер питания
Совместимость	Windows 10 / 11 (64-bit)
Размеры	37 × 36.5 × 13.5 см
Вес	~ 1 кг (без аксессуаров)

3D-сканер EinScan Pro 2X 2020 представляет собой универсальное устройство, сочетающее высокую точность, мобильность и гибкость настройки. Благодаря поддержке различных режимов работы (ручных и стационарных), он подходит как для сканирования крупных объектов, так и для получения высокоточных моделей мелких деталей.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Подготовка к подключению устройств

Для подготовки к подключению сканера EinScan Pro 2X 2020 к компьютеру необходимо сначала распаковать устройство и убедиться в наличии всех комплектующих: самого сканера, кабеля USB 3.0, адаптера питания (если он

предусмотрен), калибровочной панели и установочного носителя или ссылки на программное обеспечение.

Затем следует установить программу EXScan Pro, предварительно скачав ее с официального сайта производителя или воспользовавшись носителем из комплекта поставки. Во время установки необходимо согласиться на установку всех драйверов, после чего рекомендуется перезагрузить компьютер.

После завершения установки программного обеспечения нужно подключить сканер к компьютеру через порт USB 3.0, избегая использования удлинителей и концентраторов. Подключение должно выполняться напрямую к разъему на материнской плате, желательно – с задней панели стационарного ПК. Также необходимо подключить питание к сканеру, если это требуется.

При первом запуске программы EXScan Pro сканер должен быть подключен к компьютеру через USB и включен. Программа автоматически распознает устройство и предложит активировать его. Для этого потребуется интернет-соединение.

На экране появится окно с предложением авторизовать сканер. Необходимо нажать кнопку **«Authorize»** (или **«Активировать»**, если интерфейс на русском языке). После этого программа подключится к серверу производителя и проверит серийный номер устройства. Если активация проходит успешно, на экране появится сообщение об успешной авторизации, и сканер будет готов к работе. Эта процедура выполняется один раз, при последующих запусках активация не требуется.

Если автоматическая авторизация не удалась (например, из-за отсутствия Интернета), возможна ручная активация. Для этого в окне авторизации выбирается соответствующий пункт, генерируется файл запроса, который необходимо передать через другой компьютер с интернет-доступом на сайт производителя, где будет получен файл ответа. Этот файл затем загружается в программу для завершения авторизации.

Без прохождения авторизации работа со сканером будет заблокирована, поэтому рекомендуется выполнить этот шаг сразу после установки и подключения устройства.

При корректном подключении в интерфейсе программы появится возможность выбора режимов сканирования, что свидетельствует о готовности оборудования к работе. Если программа не обнаруживает сканер, следует проверить физическое подключение, исправность кабеля, питание устройства и наличие необходимых драйверов.

4.2 Калибровка

Калибровка позволяет обеспечить точность и стабильность данных сканирования, особенно если устройство используется впервые, было перемещено или длительное время не эксплуатировалось.

Для калибровки используется специальная шахматная калибровочная панель, входящая в комплект поставки. Панель устанавливается на ровную поверхность или на штатив, после чего сканер наводится на нее с расстояния около 40–50 см (рисунок 7). В программе EXScan Pro выбирается режим калибровки, и на экране отображается изображение с камеры сканера. Необходимо совместить изображение шахматного поля с шаблоном на экране и начать процесс, нажав соответствующую кнопку.

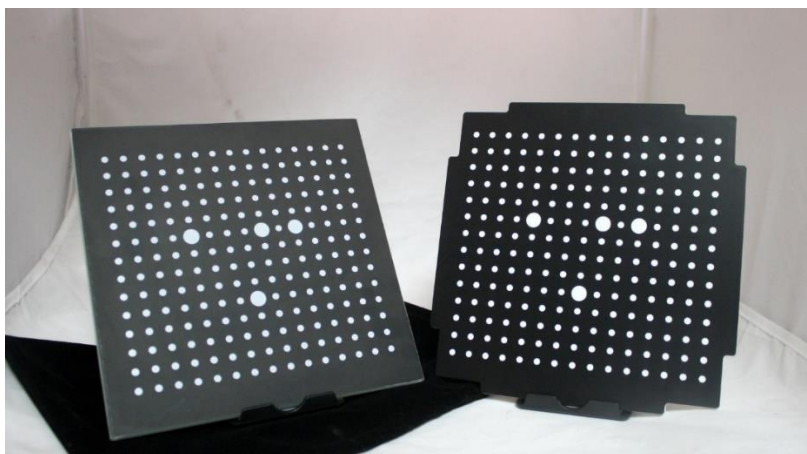


Рисунок 7. – Варианты калибровочных панелей

Сканер последовательно собирает информацию под разными углами, и оператор должен плавно перемещать устройство, не выходя за пределы углов, обозначенных в интерфейсе. Когда все необходимые данные собраны, программа уведомляет об успешной калибровке. При наличии установленного модуля цветной камеры (Color Pack) будет предложено также откалибровать ее. Этот этап выполняется аналогично, с использованием цветовой мишени.

Процедура калибровки занимает всего несколько минут, но обеспечивает точность всех последующих сканов. Рекомендуется выполнять ее не только перед первым использованием, но и периодически в процессе эксплуатации, особенно при снижении точности результатов или изменении условий работы.

4.3 Сканирование

После выбора режима сканирования в программе EXScan Pro (рисунок 8) необходимо переходить к этапу настройки параметров съемки и непосредственного сбора данных. Сначала необходимо убедиться, что сканер правильно ориентирован относительно объекта – расстояние между сканером и поверхностью должно соответствовать рекомендуемому (обычно от 30 до 50 см в зависимости от режима). В окне предварительного просмотра появляется изображение с камеры, что позволяет отрегулировать положение и освещение объекта перед началом сканирования.

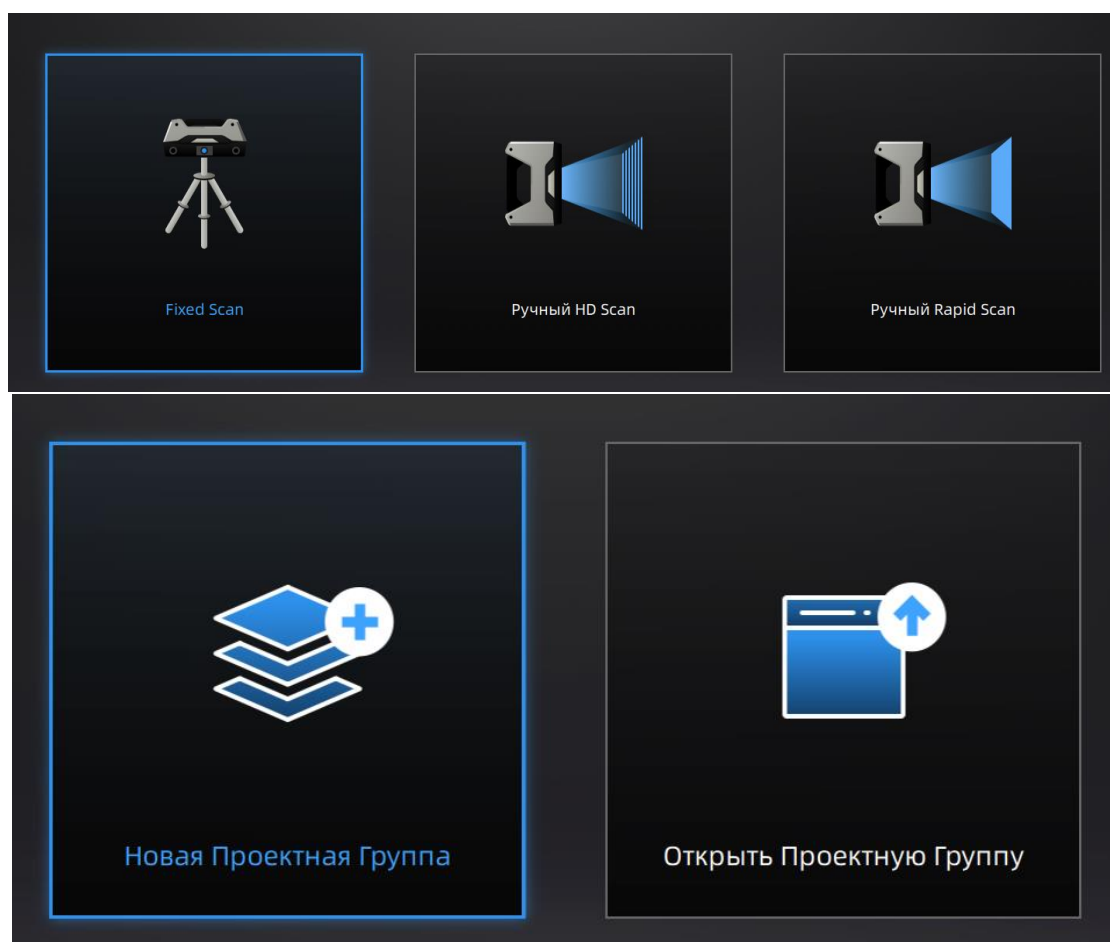


Рисунок 8. – Выбор режима сканирования и создание проектной группы

Система в реальном времени отображает построенную модель, помогая оценить полноту покрытия. При необходимости сканирование можно приостановить, изменить положение объекта или оператора, а затем продолжить съемку без потери данных.

По завершении сканирования пользователь нажимает кнопку остановки, после чего полученная модель обрабатывается: выполняется выравнивание, автоматическое совмещение фрагментов, удаление лишних данных. При необходимости можно провести дополнительную очистку вручную, обрезать скан по границам, а также заполнить отверстия в сетке (рисунок 9).

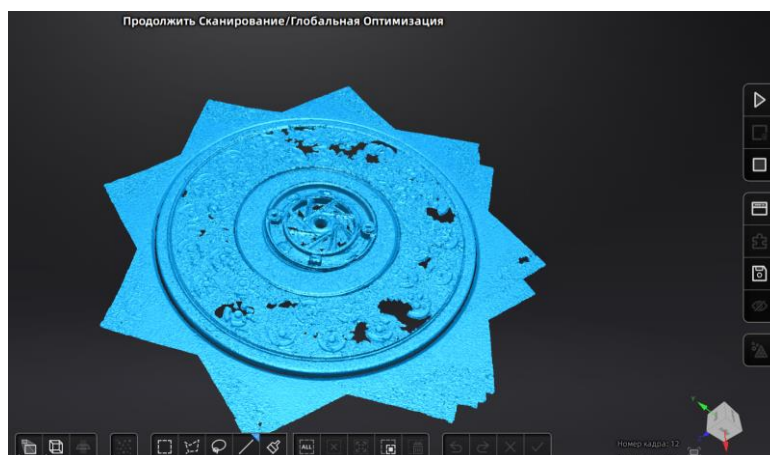


Рисунок 9. – Отсканированный объект в редакторе

Глобальная оптимизация (рисунок 10) представляет собой математическую процедуру, при которой программа пересчитывает положение всех захваченных кадров (сканов) для обеспечения их наилучшего совмещения между собой. Это особенно важно при ручном сканировании, где перемещение сканера может привести к небольшим смещениям. Оптимизация позволяет устранить накопленные ошибки позиционирования, закрыть возможные зазоры между частями сканируемого объекта и выровнять геометрию модели.

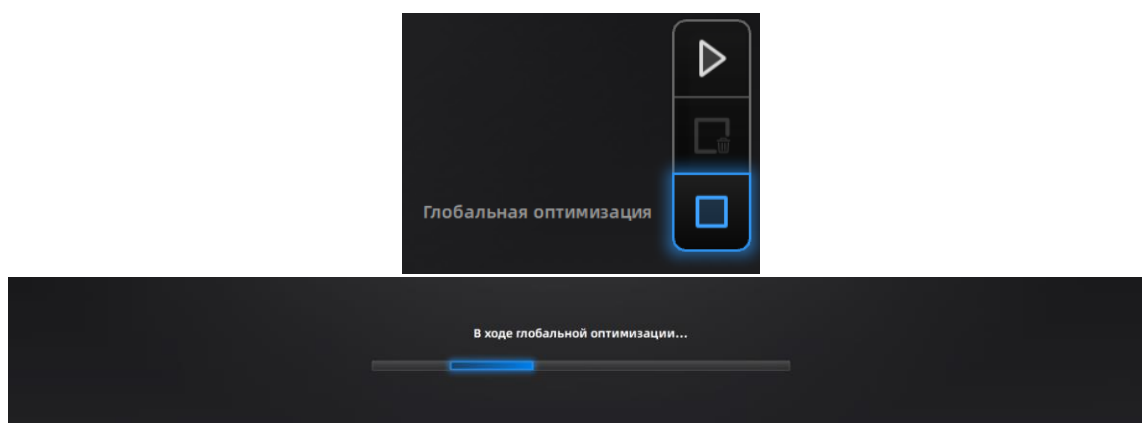


Рисунок 10. – Устранение ошибок позиционирования

После глобальной оптимизации пользователю доступны базовые инструменты для редактирования и подготовки модели (рисунок 11):

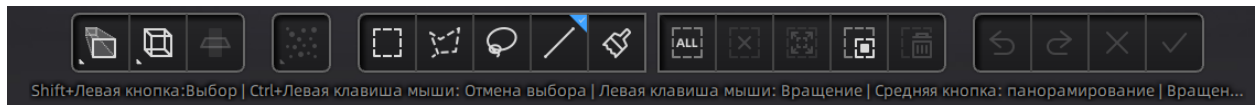


Рисунок 11. – Базовые инструменты редактирования

- обрезка (Cut Plane): позволяет вручную или автоматически удалить лишние части модели (например, рабочую поверхность или подставку);
- удаление шумов (Noise Removal): автоматически удаляет мелкие фрагменты, которые не относятся к основному объекту;
- заполнение отверстий (Hole Filling): позволяет автоматически закрыть небольшие пробелы в модели, создавая непрерывную сетку;
- выравнивание (Align): используется при работе с несколькими сканами одного объекта, чтобы совместить их в единую модель.
- простая сглаживающая фильтрация: устраняет неровности на поверхности модели;
- ретопология (в некоторых версиях): упрощает сетку модели, уменьшая количество полигонов без потери формы;
- текстурирование (если используется модуль Color Pack): наложение текстур на модель, полученных с цветной камеры.

После завершения сканирования, когда программа собрала данные о поверхности объекта, происходит создание **триангулированной сетки**, которая описывает геометрию сканированного объекта. Эта сетка состоит из множества **треугольников** (или многоугольников), которые представляют собой основную структуру для 3D-объекта (рисунок 12).

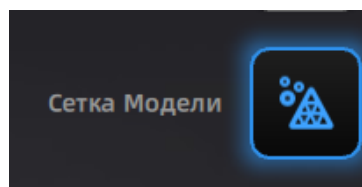


Рисунок 12. – Иконка в приложении

Сетка – это упрощенная геометрия объекта, которая используется для представления его поверхности в 3D-пространстве. Каждый треугольник в сетке представляет собой часть поверхности объекта и имеет три вершины,

соединенные ребрами. Количество треугольников зависит от разрешения сканирования, что влияет на точность и детализацию модели.

Процесс формирования сетки (рисунок 13):

1. **Облако точек:** На первом этапе сканирования создается облако точек, где каждая точка содержит данные о положении в 3D-пространстве. Это предварительный шаг, в котором каждая точка является просто координатой.

2. **Преобразование в сетку:** Программа EXScan Pro преобразует облако точек в сетку. В этом процессе точки соединяются в треугольники, образуя поверхность объекта.

3. **Оптимизация сетки:** После построения сетки можно провести ее оптимизацию – удаление лишних или избыточных точек, уменьшение числа полигонов, чтобы облегчить работу с моделью и улучшить производительность в дальнейшем.

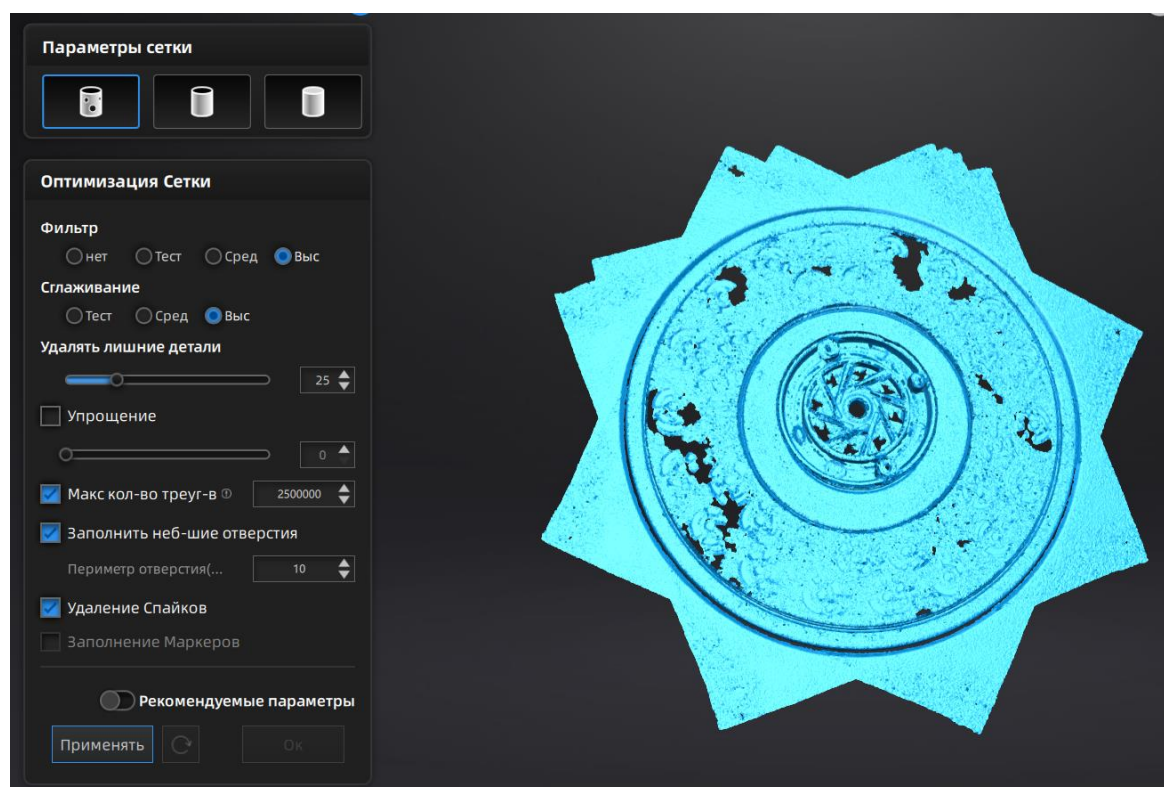


Рисунок 13. – Настройка параметров сетки

1. Открытая модель.

Открытая модель представляет собой 3D-объект, который не имеет закрытых или непрерывных поверхностей. Она может содержать отверстия, пробелы или вырезы. Это типичные случаи для сканирования объектов с явными полыми частями, где внутренние поверхности не сканируются или

не могут быть правильно захвачены. Такие модели часто используют для визуализации внешней геометрии объекта, но они не годятся для последующего применения в инженерии или 3D-печати, так как отсутствует целостная поверхность.

Пример: модель внешней оболочки автомобиля или каркас, где важна только внешняя форма.

Применение: обычно используется для быстрых визуализаций или для создания декоративных элементов.

2. Полузакрытая модель.

Полузакрытая модель – это модель, которая включает в себя части с закрытыми поверхностями, но также содержит области с открытыми границами или отверстиями. Такой тип модели часто встречается при сканировании сложных объектов, где внутренние части не всегда доступны для захвата (например, полые объекты или детали с тонкими стенками). В таких моделях внешняя поверхность замкнута, но некоторые внутренние или скрытые участки могут быть не сканированы или неполно представлены.

Пример: модель коробки, у которой есть крышка, но боковые стенки могут быть открытыми или отсутствовать на части модели.

Применение: используется в инженерии, когда важна только внешняя часть объекта, но внутренняя полость может быть несущественна для дальнейшего использования (например, при моделировании упаковок).

3. Герметичная (замкнутая) модель.

Герметичная модель (или замкнутая модель) – это модель, у которой все поверхности полностью закрыты, без отверстий или разрывов. Все внешние и внутренние области объекта сканированы, и модель является полноценной геометрической формой, которая представляет замкнутую поверхность. Такие модели необходимы для 3D-печати, инженерного анализа или создания физической модели, т.к. только замкнутые модели могут быть использованы для вычислений, например, в симуляциях потоков или механических тестах.

Пример: модель бутылки, где и внутренняя, и внешняя поверхности сканированы, что позволяет создать полноценную трехмерную модель.

Применение: используется в 3D-печати, создании физических прототипов, а также в инженерных приложениях, где важна точность и целостность объекта.

После применения параметров, идет обработка сетки (рисунок 14). Далее следует постобработка.

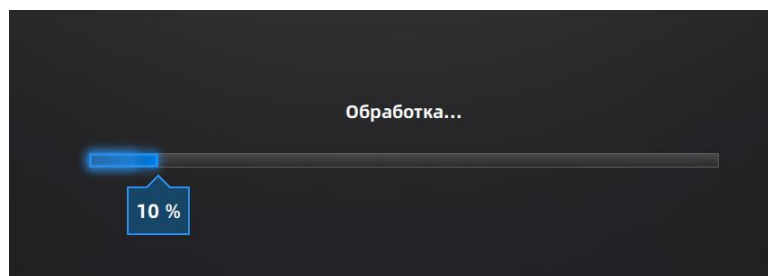


Рисунок 14. – Настройка параметров сетки

4.4 Постобработка

Одним из первых шагов в постобработке является удаление нежелательных данных и шумов, которые могут быть результатом ошибки сканирования, воздействия внешнего света или отражений на поверхности объекта (рисунок 15).

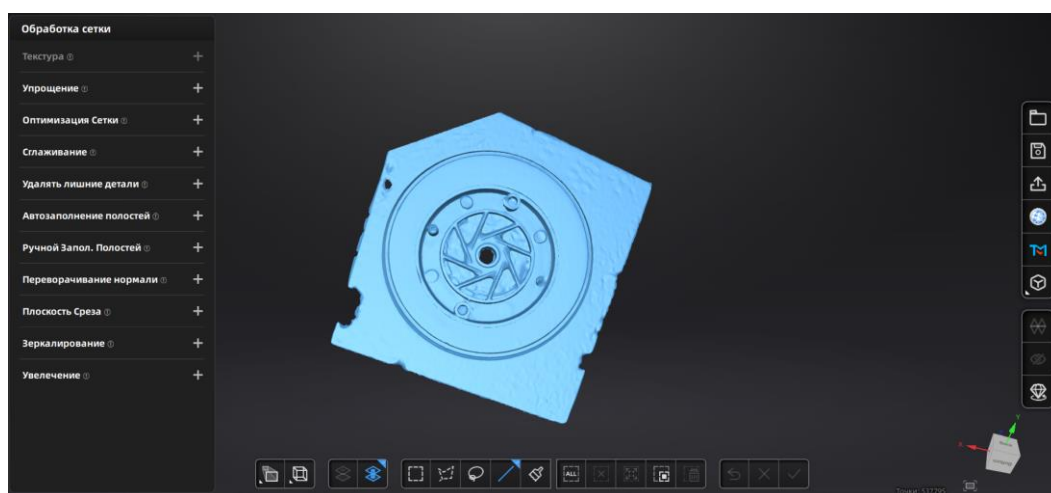


Рисунок 15. – Обработка сетки

Включает следующие этапы:

1. Очистка сетки:

- **удаление точек шума:** часто в процессе сканирования возникают случайные точки, не относящиеся к объекту. Эти точки могут быть удалены с помощью инструмента удаления шума;
- **удаление лишних фрагментов:** если сканирование проводилось в нескольких проходах, могут остаться лишние части облака точек или фрагменты, которые не принадлежат объекту. Эти фрагменты удаляются для очистки модели.

2. Заполнение отверстий (Hole Filling).

Во время сканирования, особенно при сканировании сложных объектов, могут появляться пробелы в сетке (отверстия), из-за которых модель становится неполной. Эти отверстия нужно заполнить, чтобы получить замкнутую и цельную поверхность:

- **автоматическое заполнение отверстий:** используются алгоритмы, которые анализируют окрестности отверстия и создают соответствующие треугольники для его заполнения. Это помогает улучшить качество модели без необходимости ручной работы;
- **ручное заполнение:** в случае крупных или сложных отверстий может потребоваться ручное вмешательство для восстановления отсутствующих участков модели.

3. Сглаживание сетки (Smoothing):

После создания сетки могут быть видны неровности, шероховатости или «зубчатые» участки, особенно если сканирование происходило с низким разрешением или объект имеет сложную форму. Для улучшения визуальной привлекательности и точности модели применяется сглаживание:

- **гладкая фильтрация:** процесс сглаживания удаляет «прыщики» или острые углы на поверхности модели, создавая более ровные и плавные переходы между треугольниками;
- **сглаживание с учетом геометрии:** важно учитывать, что сглаживание не должно сильно искажать форму модели, особенно если она имеет сложные контуры.

4. Оптимизация сетки (Decimation).

Для уменьшения размера файла и улучшения производительности сетку можно оптимизировать. Оптимизация включает сокращение количества полигонов в модели, что полезно, когда модель слишком тяжелая или сложная для дальнейшего использования:

- **редукция полигонов:** это процесс, при котором количество треугольников в модели уменьшается, но сохраняются основные формы и контуры. Редукция помогает облегчить работу с моделью без потери ключевых характеристик;
- **уменьшение сложности:** при этом важно не потерять важные детали, которые могут повлиять на точность или функциональность модели, особенно если она будет использоваться для инженерных расчетов.

5. Выравнивание и объединение сеток (Aligning and Merging).

При сканировании сложных объектов, состоящих из нескольких частей или сессий сканирования, необходимо правильно выровнять и объединить сетки для получения единой целостной модели:

- **выравнивание (Aligning):** программа использует специальные алгоритмы для совмещения нескольких частей или фрагментов в одно целое. Это важный этап, если объект был отсканирован в нескольких положениях;
- **объединение сеток (Merging):** после выравнивания сетки объединяются в одну модель, с учетом всех данных, чтобы получилась полная, связанная структура.

6. Генерация текстур (Texturing).

Если для сканирования использовалась цветная камера, на модель можно наложить текстуры, что делает ее более реалистичной и подходящей для визуализаций:

- **маппинг текстур (UV Mapping):** программа накладывает фотографии или изображения на поверхность модели, создавая текстуры. Этот процесс важен для создания визуально правдоподобных моделей;
- **текстурная ретушь:** иногда текстуры требуют дополнительной обработки, чтобы избежать искажений или перекрытий, особенно если модель сложная и требует высокой детализации.

7. Проверка герметичности модели (Manifold Check).

Для успешного использования модели в 3D-печати, инженерных расчетах или других приложениях важно, чтобы модель была **герметичной** (замкнутой). Это означает, что модель не должна содержать дыр, разрывов или ошибочных соединений в сетке:

- **проверка целостности:** программа автоматически проверяет, замкнут ли объект, не содержатся ли в модели незамкнутые участки;
- **исправление ошибок:** если найдены такие ошибки, они могут быть исправлены с помощью инструментов для восстановления целостности модели (например, закрытие отверстий или исправление несоответствий в сетке).

4.5 Измерение

В программе доступны следующие инструменты для измерения параметров модели:

- **измерение расстояния между точками (Distance):** Этот инструмент позволяет измерить расстояние между двумя точками на модели. Необходимо

выбрать две точки на поверхности модели, и программа автоматически вычислит расстояние между ними. Это полезно для проверки размеров и расстояний между различными частями объекта (рисунок 16);

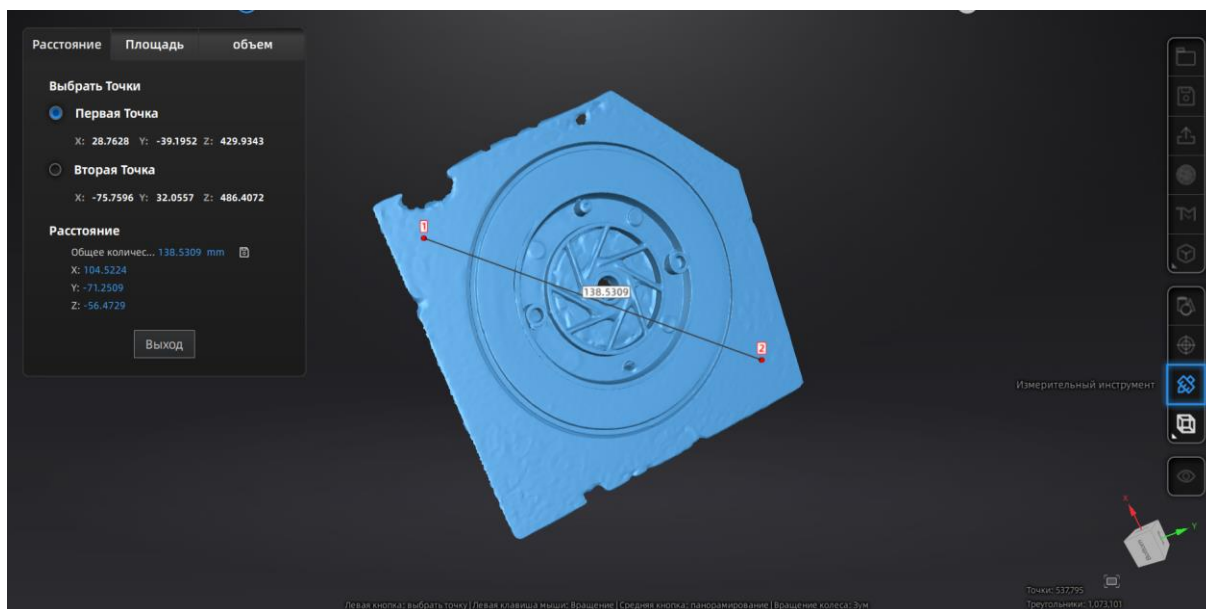


Рисунок 16. – Общий вид измерения объекта в программе

— для измерения **площади** поверхности объекта в EXScan Pro необходимо выполнить несколько шагов (рисунок 17):

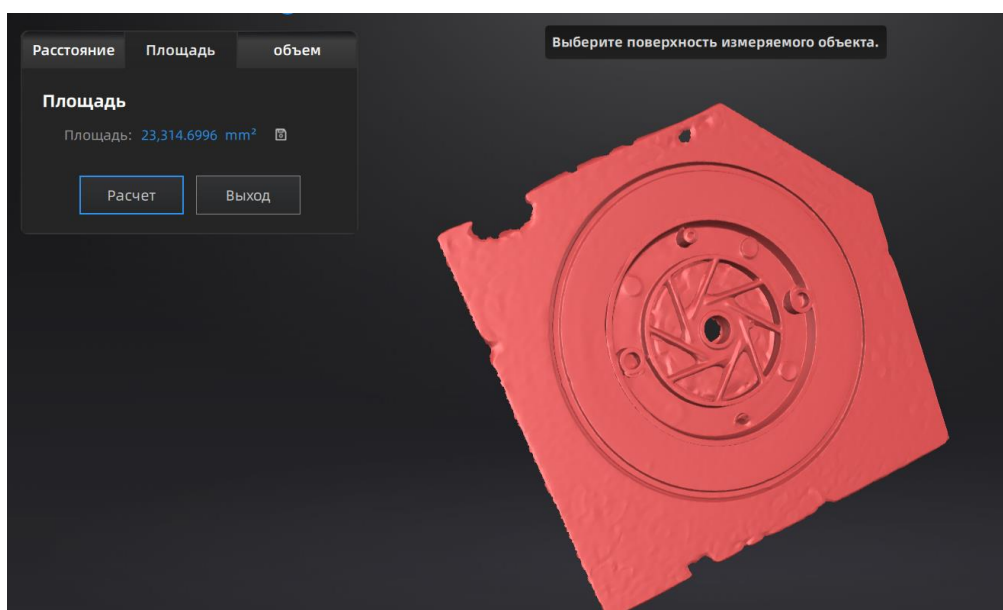


Рисунок 17. – Общий вид измерения объекта в программе

1. Выбор участка модели: для начала нужно выбрать часть модели, площадь которой нужно измерить. Это может быть как отдельный участок поверхности, так и вся модель целиком. Выбор можно осуществить с помощью выделения области или поверхности модели. В некоторых случаях для упрощения можно использовать инструменты для автоматического выделения (например, по цвету или по геометрии).

2. Использование инструмента для измерения площади: в панели инструментов программы нужно выбрать инструмент «Измерение площади» (Площадь). Этот инструмент позволяет определить площадь выбранной области на поверхности модели. После активации инструмента программа будет автоматически рассчитывать площадь выделенной области.

3. Просмотр результата измерения: после вычисления программа отобразит результат в виде значения площади, обычно в выбранных единицах измерения (например, в мм² или см²). Результат может быть представлен как текстовая информация в окне программы или в виде визуального отображения на модели.

В случае если стандартные инструменты, доступные в **EXScan Pro** или аналогичных программах, не удовлетворяют требованиям пользователя для более детализированного или специфичного измерения, можно использовать сторонние программные решения для анализа и измерений 3D-моделей. Эти программы могут предложить дополнительные функции и возможности для работы с моделью, а также обеспечить более гибкие инструменты для измерений и анализа геометрии объектов.

Существует множество специализированных программ для работы с 3D-моделями, которые предлагают функции измерений, анализа и оптимизации моделей. Вот некоторые из них:

MeshLab – это бесплатная и открытая программа для обработки и анализа 3D-моделей. Она поддерживает различные форматы файлов и предоставляет множество инструментов для анализа сеток, измерений и обработки.

Blender – популярная бесплатная программа для 3D-моделирования и анимации, которая поддерживает широкий набор функций, включая инструменты для измерений.

Geomagic Control X – профессиональная программа для проверки качества 3D-данных, включая облака точек и 3D-модели. Она предназначена для более точного контроля и измерений, особенно в промышленности и инженерии.

CloudCompare – бесплатная и открытая программа для обработки облаков точек, используемая для геопространственного анализа и моделирования.

Как работать с измерениями в сторонних программах:

1. Импорт модели: переносите 3D-модель, созданную в EXScan Pro или других программах, в выбранную стороннюю программу. Для этого используйте стандартные форматы, такие как STL, OBJ, PLY, или другие, поддерживаемые программой.

2. Выбор инструмента измерений: в каждой из программ есть набор инструментов для измерений (дистанция, угол, площадь, объем и т.д.). Для точного измерения нужно выбрать подходящий инструмент, чтобы провести анализ геометрии.

3. Выбор участков для измерений: в зависимости от задачи выделяйте участки модели для точных измерений. Программы позволяют выбирать отдельные элементы сетки или области поверхности для вычислений.

4. Проверка результатов: после измерений программа выведет результаты в удобном формате, обычно в виде числовых значений с указанием единиц измерения.

Преимущества и недостатки использования сторонних программ:

Преимущества:

- более детализированный анализ: сторонние программы часто предлагают более точные и специализированные инструменты для измерений и анализа;

- интеграция с другими процессами: программы типа AutoCAD или Geomagic Control X часто используются в промышленности и проектировании, что позволяет seamlessly интегрировать данные в общий рабочий процесс;

- гибкость и расширяемость: множество программ имеют плагины, аддоны или открытые API для дополнительных настроек и оптимизации.

Недостатки:

- сложность интерфейса: некоторые программы, например, Blender или AutoCAD, могут быть сложными для новичков и требовать времени для освоения;

- стоимость: многие профессиональные программы, такие как Geomagic Control X, имеют платные лицензии, что может быть дорого для индивидуальных пользователей;

— совместимость форматов: в некоторых случаях может возникнуть проблема с совместимостью между различными форматами, особенно при работе с облаками точек и различными типами 3D-данных.

5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Основные понятия, методы и технологии 3D-сканирования.
4. Описание конструкции и принципа работы оптического 3D-сканера EinScan Pro 2X 2020.
5. Результаты постобработки и измерение сканируемого объекта оформить в виде таблицы.
6. Выводы о влиянии постобработки на сканируемый объект и его измерении.

Таблица. – Результаты сканирования образцов и сравнения их с физической копией

№ образца	Наименование образца	Вид модели (открытая/полузакрытая/герметичная)	Расстояние от выбранных поверхностей (точек)		Площадь поверхности измеряемого объекта	
			Физическая модель, мм	Электронная модель, мм	Физическая модель, мм ²	Электронная модель, мм ²
1						
2						
3						

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

- 1) ознакомиться с основными понятиями, методами и технологиями 3D-сканирования;
- 2) изучить устройство и принцип работы 3D-сканера EinScan Pro 2X 2020;
- 3) изучить инструкцию работы с прибором и настроить 3D-сканер на определенный режим сканирования;
- 4) сканировать выбранный объект, выполнить постобработку и его измерение;
- 5) сравнить созданную в результате сканирования электронную геометрическую модель с физической, сделать выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для каких задач предназначен 3D-сканер EinScan Pro 2X 2020?
2. Какие комплектующие входят в стандартный набор поставки сканера?
3. С помощью какого программного обеспечения осуществляется работа со сканером?
4. Как осуществляется подключение сканера к компьютеру?
5. Какие режимы сканирования доступны в EinScan Pro 2X 2020?
6. Чем отличается ручной режим сканирования от режимов с использованием поворотного стола?
7. В каком режиме можно использовать текстурную камеру (Color Pack)?
8. Какой режим рекомендуется для сканирования небольших объектов со сложной геометрией?
9. Какие параметры необходимо настроить перед началом сканирования?
10. Для чего выполняется калибровка сканера?
11. Какие виды калибровки поддерживаются (геометрическая, цветовая)?
12. Что используется в качестве эталона при калибровке?
13. Как часто необходимо выполнять калибровку?
14. Что может повлиять на точность калибровки и привести к ее необходимости?

15. Какой оптический метод лежит в основе работы EinScan Pro 2X 2020?
16. В чем заключается принцип структурированной подсветки?
17. Какие преимущества имеют оптические методы 3D-сканирования по сравнению с контактными?
18. Как влияют внешние источники света на качество оптического сканирования?
19. Что такое облако точек? Как оно формируется в процессе оптического сканирования?
20. Какой интерфейс используется для передачи данных между сканером и компьютером?

ЛИТЕРАТУРА

1. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы : ГОСТ Р 57558-2017. – Ч. 1. Термины и определения. – Введ. 27.07.2017. – М. : Стандартинформ, 2017. – 23 с.
2. ML6. Optical 3D Acquisition Methods: A Comprehensive Guide. Part 2. – URL: <https://goo.su/cwqzUU> (дата обращения: 10.12.2024).
3. T3P5. 3D Scanning, Point Clouds, and Mesh Processing. – URL: <https://goo.su/QQajpPS> (дата обращения: 14.12.2024).
4. EinScan Support. PC Requirements for EinScan Pro HD and 2X 2020. – URL: <https://goo.su/3XW3a> (дата обращения: 20.12.2024).
5. Попок, Н. Н. Технология производства машиностроительных изделий на основе послойного синтеза с использованием 3D-принтера. Практикум : учеб. пособие / Н. Н. Попок, С. А. Портянко. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2022. – 96 с.