

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

О. И. Малыгина, Д. В. Гоголев, В. И. Норкин

3D-СКАНИРОВАНИЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРА

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебно-методического пособия для обучающихся по направлению
подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры (уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2025

УДК 528.44:528.718

М20

Рецензенты: директор ООО «ГЕОСИТИ» *П. С. Батин*

кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии
и дистанционного зондирования СГУГиТ *В. Н. Никитин*

Малыгина, О. И.

М20 3D-сканирование для целей землеустройства и кадастра : учебно-методическое пособие / О. И. Малыгина, Д. В. Гоголев, В. И. Норкин. – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – 84 с. – Текст : непосредственный.
ISBN 978-5-907998-62-9

Учебно-методическое пособие разработано кандидатом технических наук, доцентом О. И. Малыгиной, ассистентом Д. В. Гоголевым и кандидатом технических наук В. И. Норкиным на кафедре кадастра и территориального планирования СГУГиТ.

В учебно-методическом пособии рассматриваются основные вопросы 3D-сканирования для целей землеустройства и кадастра. Учебно-методическое пособие разработано с целью освоения обучающимися передовых методов сбора, обработки и анализа пространственных данных, которые формируют основу для создания цифровых двойников реального мира.

Учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры (уровень бакалавриата), профиль «Кадастр недвижимости».

Рекомендовано к изданию кафедрой кадастра и территориального планирования, Ученым советом Института кадастра и природопользования СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528.44:528.718

ISBN 978-5-907998-62-9

© СГУГиТ, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. Теоретические основы 3D-сканирования.....	7
1.1. Основные понятия и определения. Физические принципы работы.....	7
1.2. Классификация по принципу действия.....	8
2. Методология проведения 3D-сканирования.....	12
2.1. Методика проведения сканирования.....	12
2.2. Наземное лазерное сканирование.....	14
2.3. Мобильное лазерное сканирование.....	15
2.4. Воздушное лазерное сканирование.....	17
2.5. Однофотонные системы.....	20
3. Обработка данных 3D-сканирования.....	22
3.1. Первичная обработка данных. Регистрация сканов. Фильтрация данных. Классификация точек.....	22
3.2. Создание цифровых моделей. Построение облака точек. Создание трехмерных моделей. Текстурирование.....	23
3.3. Особенности работы с данными наземного лазерного сканирования.....	26
4. Применение 3D-сканирования в землеустройстве и кадастре.....	28
5. Современные тенденции развития технологии. Интеграция с другими технологиями. Перспективы развития отрасли.....	33
6. Практический курс.....	37
6.1. Лабораторная работа № 1. Изучение интерфейса и возможности сохранения рабочих материалов в программе nanoCAD.....	37
6.2. Лабораторная работа № 2. Ознакомление с возможностями отображения облака точек и его редактирования.....	44

6.3. Лабораторная работа № 3. Возможности обрезки и создания сечений облака точек.....	48
6.4. Лабораторная работа № 4. Создание поэтажного плана офисного помещения в программном комплексе nanoCAD.....	56
Заключение.....	63
Библиографический список.....	64
Приложение 1. Вопросы для подготовки к зачету	69
Приложение 2. Практические задания для подготовки к зачету	71
Приложение 3. Темы докладов / рефератов	72
Приложение 4. Темы групповых проектов.....	74
Приложение 5. Вопросы для фонда тестовых заданий	75
Приложение 6. Примеры решения типовых задач	79
Приложение 7. Словарь элементарных терминов	81

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития землеустройства и кадастров характеризуется стремительной цифровизацией, обусловленной необходимостью повышения точности, достоверности и оперативности пространственных данных. В этих условиях все большее значение приобретают передовые геоинформационные технологии, среди которых особое место занимает трехмерное (3D) лазерное сканирование. Эта технология позволяет с высокой детализацией и скоростью фиксировать геометрические характеристики объектов и территорий, формируя плотные облака точек, которые служат основой для создания цифровых моделей местности, зданий, инженерных сооружений и земельных участков.

Учебно-методическое пособие «3D-сканирование для целей землеустройства и кадастра» разработано в ответ на растущий спрос на специалистов, владеющих современными методами сбора и обработки пространственных данных. Оно предназначено для обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры (уровень бакалавриата) и направлено на формирование у них теоретических знаний и практических навыков в области применения 3D-сканирования в профессиональной деятельности.

Пособие охватывает ключевые аспекты технологии: от принципов работы лазерных сканеров и типов оборудования до методики проведения съемки, обработки данных и их интеграции в кадастровые и геоинформационные системы. Особое внимание уделено вопросам организации учебной практики, включая цели, задачи, формы проведения, содержание и планируемые результаты. В приложениях представлены необходимые документы для направления на практику, формы отчетности и методические рекомендации по составлению отчета.

В основе технологии лежит принцип, согласно которому лазерные лучи испускаются источником, отражаются от поверхностей объектов и регистрируются обратно в приемнике. Измеряя время прохождения сигнала, сканер способен с высокой точностью определить расстояние до каждой точки поверхности. В результате за короткий промежуток времени созда-

ется плотное облако точек, содержащее миллионы координатных определений, которые преобразуются в детализированную 3D-модель объекта или территории. Данная технология используется в различных типах сканеров: наземных, воздушных, а также ручных и мобильных системах.

Ключевым преимуществом лазерного сканирования является беспрецедентная скорость сбора данных. Кроме того, технология обеспечивает значительно более высокую плотность данных, что позволяет получать исчерпывающую информацию о форме, размерах и конфигурации объектов. Это особенно ценно при моделировании сложных объектов с нетривиальной геометрией, таких как исторические здания, мосты, промышленные комплексы или участки с трудным рельефом.

Освоение современных технологий требует знакомства с широким спектром оборудования и программного обеспечения, составляющих технологический стек для лазерного сканирования.

Для эффективного применения этой методологии в землеустроительной деятельности необходимо понимать функциональность каждого компонента и их взаимодействие. Оборудование можно условно разделить на три основные группы: источники данных (сканеры), носители и устройства сбора данных, а также системы позиционирования.

В данном учебно-методическом пособии рассматриваются основные вопросы лазерного сканирования для целей землеустройства и кадастра. Учебно-методическое пособие разработано с целью освоения обучающимися направления подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры передовых методов сбора, обработки и анализа пространственных данных, которые формируют основу для создания цифровых двойников реального мира.

Основные положения использования и работы лазерных сканеров на территории РФ закреплены законами и нормативно-правовыми актами, приведенными в библиографическом списке [1–11].

В качестве справочной информации по видам и типам различных моделей лазерных сканеров, программному обеспечению и примерам выполненных работ можно ознакомиться на сайтах ведущих специализированных компаний [12–18].

Для оптимальной подготовки к зачету в прил. 1–7 приведена необходимая информация, включающая примеры вопросов, темы индивидуальных и групповых проектов, а также расшифровку базовых терминов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

1.1. Основные понятия и определения. Физические принципы работы

Лазерное сканирование – один из наиболее современных методов съемки, позволяющий оперативно и с высокой точностью получать пространственную информацию о местности и объектах. В течение последнего десятилетия данные лазерного сканирования используются все шире как на этапе проектирования, так и при мониторинге технического состояния инфраструктурных объектов и динамики природных процессов. Технология получила распространение в строительстве, дорожном хозяйстве, архитектуре, нефтегазовом секторе, электроэнергетике, а также в ряде других отраслей, где требуется детальное трехмерное представление реальности (рис. 1).

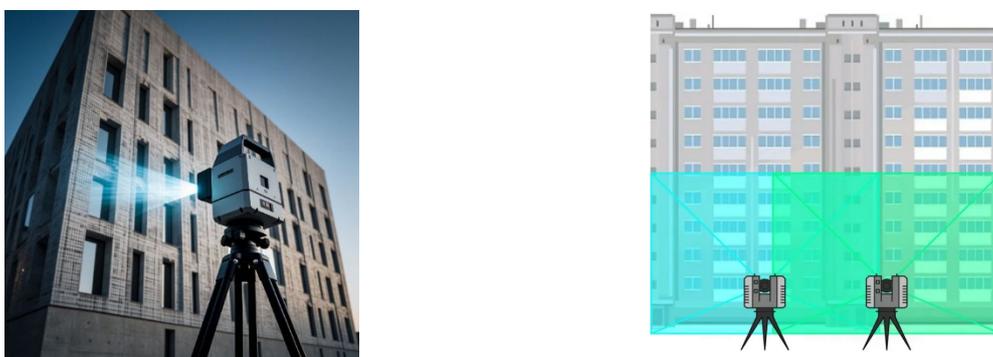


Рис. 1. Выполнение лазерного сканирования
(https://ngcm.ru/blog/3D-scaner_rekomend/)

Лазерное сканирование – это метод съемки, позволяющий получать координаты точек поверхности объектов с высокой точностью и плотностью. Технология основана на измерении расстояния от сканера до отражающей поверхности с помощью лазерного луча и одновременного определения углов наведения луча. Результатом сканирования является так называемое облако точек – совокупность фиксируемых лазерным сканером точек земной

поверхности и объектов, характеризующихся пространственными координатами (X, Y, Z), описывающими геометрию объекта или местности, и интенсивностью отражения [3].

Современные наземные лазерные сканеры способны регистрировать сотни тысяч точек в секунду, обеспечивая плотность измерений, достаточную для детального моделирования сложных объектов – от архитектурных сооружений до ландшафтов. Для привязки данных к общей системе координат сканер интегрируется с внешними источниками позиционирования – обычно с помощью опорных точек, координаты которых определены с использованием спутниковых технологий (ГЛОНАСС/GPS).

Лазерное сканирование выполняется с целью получения пространственных данных о земной поверхности, природных и искусственных объектах. Его результатом должно являться облако точек лазерных отражений [3].

Центральным элементом наземного лазерного сканера (НЛС) является лазерный дальномер. В большинстве современных систем используется метод фазового сдвига или импульсный метод измерения расстояния. При фазовом методе измеряется разность фаз между излученным и отраженным модулированным лазерным сигналом, что позволяет достигать миллиметровой точности на расстояниях до нескольких сотен метров. Импульсный метод измеряет время прохождения лазерного импульса «туда и обратно».

Одновременно с измерением расстояния сканер с помощью прецизионных оптико-механических систем фиксирует горизонтальный и вертикальный углы направления луча. Они измеряются с использованием высокоточных датчиков угла. Зная расстояние и два угла, координаты каждой точки рассчитываются в полярной системе, а затем преобразуются в прямоугольную систему координат [19].

1.2. Классификация по принципу действия

Конструктивно сканер состоит из лазерного дальномера и системы развертки луча. Горизонтальное сканирование обычно осуществляется за счет вращения верхней части прибора с помощью сервопривода, а вертикальное – посредством отклоняющего элемента, такого как вращающееся или качающееся полигональное зеркало, или призмы, которая направляет лазерный луч под нужным углом.

По способу измерения расстояний различают два основных типа сканеров: импульсные и фазовые. Импульсные системы определяют расстояние по времени прохождения лазерного импульса до объекта и обратно, тогда как фазовые – по разности фаз между излученным и отраженным модулированным сигналом.

В результате сканирования формируется своего рода растровое изображение, в котором каждый пиксель содержит информацию о дальности до поверхности и об интенсивности отраженного сигнала.

По способу размещения и использования сканирующие системы подразделяются на три основных типа (рис. 2):

- наземные: устанавливаются стационарно на штативе и применяются для детального сканирования небольших участков или сооружений;
- воздушные: размещаются на пилотируемых или беспилотных летательных аппаратах и используются для съемки больших территорий;
- мобильные: монтируются на автомобиль, железнодорожный состав или другое транспортное средство для быстрого сбора данных на протяженных линейных объектах.



Рис. 2. Типы сканирующих систем

Такое разнообразие платформ и комплектаций позволяет адаптировать технологию лазерного сканирования под широкий спектр прикладных задач – от инженерных изысканий до мониторинга природных территорий.

Несмотря на единый физический принцип действия – измерение расстояния с помощью лазерного излучения – современные системы лазерного сканирования значительно различаются по своему назначению, конструкции и комплектации. В зависимости от решаемых задач они могут дополняться цифровыми фотокамерами, тепловизорами, спектрометрами и другими сен-

сорами, что позволяет проводить комплексное обследование объектов и получать не только геометрическую, но и дополнительную тематическую информацию (цветовую, температурную и др.) [20, 21].

Классификация систем лазерного сканирования показана на рис. 3.



Рис. 3. Классификация систем лазерного сканирования

Инновационные технологии трехмерного лазерного сканирования позволяют в кратчайшие сроки получать детализированные объемные данные о местности или объектах с высокой точностью. В зависимости от требований к качеству результатов наземные лазерные сканеры условно подразделяются на несколько категорий по точности выполнения измерений, показанные на рис. 4.

Топографические	• со средней квадратической погрешностью до 10 см
Архитектурно-строительные	• со средней квадратической погрешностью до 1 см
Экспертные (точные)	• со средней квадратической погрешностью до 1 мм
Высокоточные	• со средней квадратической погрешностью менее 1 мм

Рис. 4. Деление лазерных сканеров по точности измерений

В зависимости от необходимых результатов съемки и технического задания на выполнение измерений необходимо рассматривать основные параметры для получения наиболее точных измерений, которые основываются на следующих параметрах лазерных сканеров:

- расходимость лазерного луча (влияет на точность фиксации мелких деталей);
- разрешение сканирования (плотность облака точек);
- дальность действия (максимальное расстояние до объекта);
- точность измерения расстояний;
- точность измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Эти характеристики следует учитывать при выборе оборудования в зависимости от конкретной задачи – от топографической съемки до детального обследования инженерных конструкций.

Таким образом, технология лазерного сканирования объединяет оптические, геодезические и вычислительные методы для создания высокоточных трехмерных цифровых копий реального мира, что делает ее незаменимой в кадастре, строительстве, мониторинге и научных исследованиях.

2. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

2.1. Методика проведения сканирования

В мире сейчас возрастает спрос на решения для трехмерной визуализации из-за растущей разработки проектов «умного города» и расширяющихся приложений для гражданского строительства и производства. Существующие традиционные технологии 3D-визуализации, такие как радарная съемка, не могут обнаруживать мелкие объекты, что препятствует их использованию в высокоточных приложениях. Технология лазерного сканирования использует более короткие волны, позволяющие обнаруживать мельчайшие объекты с высокой степенью точности при разработке трехмерной монохроматической модели объекта. Эта характеристика открыла совершенно новую парадигму возможностей для решения сложных задач, в частности, в области автоматизации, робототехники и производства, побуждая компании использовать технологии лазерного сканирования благодаря их способности решать различные сложные задачи при одновременной разработке высокоточных 3D-моделей [22].

С начала XXI в. для выполнения детальной съемки элементов промышленных и гражданских объектов наряду с традиционными геодезическими методами вполне успешно используются современные технологии лазерного сканирования.

Принцип работы лазерного сканера основан на дискретном измерении расстояний от фазового центра прибора до поверхности объекта сканирования с помощью безотражательного лазерного дальномера и задании двух углов направления лазерного луча, что в конечном итоге дает возможность вычислить пространственные координаты точки отражения [21].

Процесс сканирования зависит от используемого программного обеспечения и от задач, поставленных оператором съемки.

Плотность точек на поверхности снимаемого объекта определяется

следующими параметрами сканирования: задаваемым количеством измеряемых точек и расстоянием до объекта.

В результате съемки лазерным сканером получается несколько облаков точек, лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, со следующими характеристиками: пространственными координатами (X, Y, Z), интенсивностью и реальным цветом [21].

Наиболее сложным и трудоемким этапом работы в применении наземного лазерного сканирования является обработка съемочных данных, т. е. объединение отдельных сканов в единое геометрическое пространство для получения описания объекта съемки.

Объединение отдельных сканов в единое геометрическое пространство представляет собой уравнивание данных сканирования с разных станций в единую систему координат. Как правило, для обеспечения достаточной полноты съемки объекта выполняется несколько сканов с разных мест установки сканера. Затем разрозненные сканы объединяются в общее координатное пространство. Этот процесс называется сшивкой, или регистрацией. В результате сшивки получается единое облако точек объекта сканирования. Таким образом, облако точек – это первичная цифровая 3D-модель объекта [21].

Существует несколько методов сшивки:

- по специальным плоским маркам-отражателям;
- по маркам-сферам;
- по характерным точкам;
- автоматическая подгонка (программный способ сшивки);
- геопривязка.

Для построения крупномасштабных планов оптимальным является первый способ, который дает большую точность сшивки, а также уменьшает время камеральных работ.

Перед передачей в программные комплексы сшитые облака точек необходимо обработать. Эти работы можно производить в различном программном обеспечении, которое позволяет оперативно обрабатывать сотни миллионов точек благодаря системе управления уровнем детализации отображаемой графической информации (рис. 5). Для выполнения такой обработки необходимы высококвалифицированные и опытные специалисты.

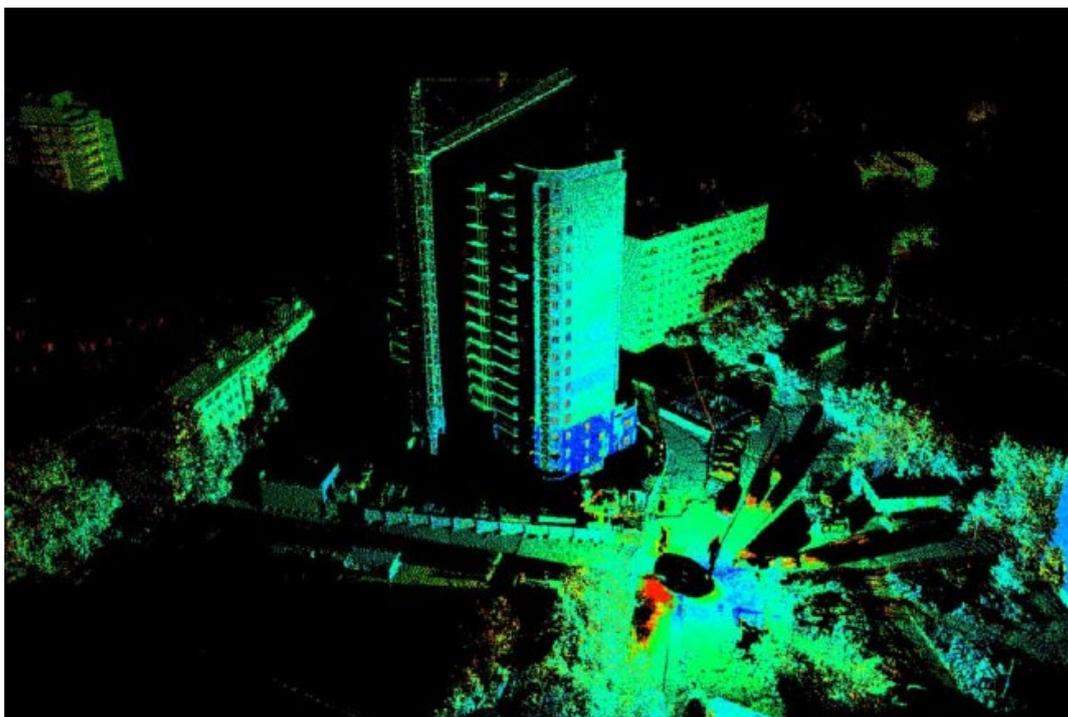


Рис. 5. Получение единой точечной модели, сегментирование и фильтрация

Полученное векторное изображение объектов дорабатывается до получения планов с отображением конструкций, расстановкой размеров и нанесением иной технической информации в условных обозначениях, принятых в технической инвентаризации в специализированных программах [23, 24].

Высокая оперативность сбора пространственных данных об объектах съемки делает наземное лазерное сканирование весьма перспективным методом получения информации при организации мониторинга сложных инженерных сооружений.

2.2. Наземное лазерное сканирование

Съемка выполняется с наземных объектов или грунта с перестановкой прибора. Метод можно применять в закрытых помещениях и средах (тоннели, пещеры). Наземное лазерное сканирование идеально подходит для сложных сооружений и внутренних съемок опасных производственных предприятий.

Технология наземного лазерного сканирования используется для полу-

чения очень детальных 3D-моделей объектов, фасадных планов, топографических планов местности масштаба 1 : 500. Наземный лазерный сканер позволяет отснять объекты размером до 0,5–2 см с точностью до 0,5–5 мм. Данный вид съемки является самым распространенным на промышленных предприятиях со сложной наземной или внутрипромышленной территорией. Съемка ведется с одной или с нескольких точек путем перестановки сканерной станции при помощи оператора лазерного сканера или без него по заранее запрограммированной схеме съемочных работ. Наземное лазерное сканирование может вестись в любое время суток (рис. 6).



Рис. 6. Результаты наземного лазерного сканирования

Сканирование производится с точки установки штатива, обзор составляет 360×320 градусов. Как правило, сканирование объекта выполняется с нескольких станций. Используя методы классической геодезии, данные лазерного сканирования приводятся к единой системе координат. В зависимости от условий одним сканером за один день на объекте можно выполнить до сотни станций. На каждой станции в автоматическом режиме выполняются десятки миллионов измерений объекта с точностью 2–5 мм. Миллиметровая плотность покрытия измерениями позволяет детализировать в итоговой съемке даже самые малые элементы объекта [25, 26].

2.3. Мобильное лазерное сканирование

Мобильные лазерные сканеры могут устанавливаться на разные виды

транспорта: автомобильный, железнодорожный, водный. В отдельных случаях для съемок труднодоступных объектов оборудование может устанавливаться на квадроциклы или ручные подвижные средства. Метод допускает ограниченное кратковременное пребывание в закрытых средах (проезд под мостами, короткие тоннели) [27]. Мобильное лазерное сканирование идеально подходит для городских территорий (рис. 7).

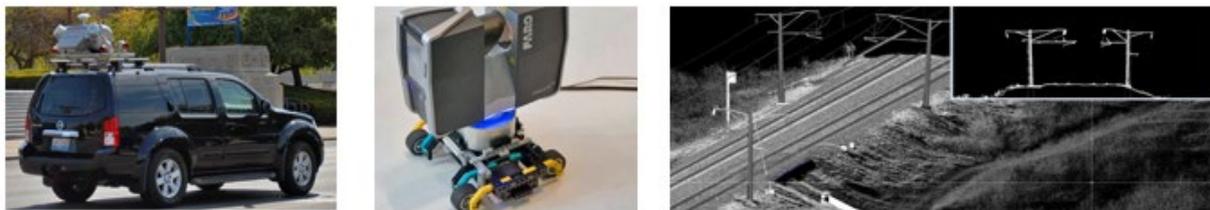


Рис. 7. Мобильное лазерное сканирование

Технология применяется для массивованного картографирования и 3D-моделирования линейных инфраструктурных объектов (автомобильные и железные дороги, линии электропередачи, улицы городов), площадных объектов сложной структуры и высокой детальности (населенные пункты, развязки и эстакады в несколько уровней, скальные берега, нижние бьефы плотин (с плавсредств)) и т. п.

Компоненты системы мобильного лазерного сканирования:

- лазерный сканер излучает лазерные импульсы и измеряет время их возвращения после отражения от объектов;
- система позиционирования определяет точное местоположение сканера в пространстве (например, GPS/ГЛОНАСС);
- инерциальная система измеряет угловые скорости и ускорения сканера для определения его ориентации;
- система сбора и обработки данных синхронизирует данные со всех датчиков, обрабатывает информацию о времени пролета лазерного луча и вычисляет координаты точек.

Принцип работы заключается в том, что мобильный лазерный сканер испускает миллионы лазерных импульсов в секунду, которые отражаются

от объектов и возвращаются к сканеру. Система измеряет время прохождения импульса от сканера до объекта и обратно. Зная скорость света, рассчитывается расстояние до объекта. Данные о расстоянии, угле сканирования, положении и ориентации сканера используются для определения трехмерных координат каждой точки отражения. В результате формируется **облако точек** – массив данных, представляющий собой точную трехмерную модель сканируемого объекта или местности.

Точность – 5–8 см, детальность отрисовки – 1–5 см, производительность – до 500 погонных км съемок в день (ширина полосы съемки – 50–250 м).

Недостатком технологии является недоступность для съемки крыши объектов: объекты рядом с носителем (заборы, кусты) могут быть препятствием.

Методика мобильного лазерного сканирования позволяет проводить съемку всех объектов по курсу движения транспортного средства, но не позволяет снять объекты, которые не попадают в перекрестные сканы, поэтому приходится выполнять дополнительные измерения ручным или стационарным сканером [20].

2.4. Воздушное лазерное сканирование

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС) – это технология высокочастотного облучения лазерным излучателем земной поверхности, включая надземные объекты с воздушного судна, и получения координат лазерных точек на основе разницы во времени от излучения до принятия отраженного луча. ВЛС лежит в основе получения трехмерных моделей рельефа и поверхности. Основой метода являются лазерные сканеры, установленные на различные летательные аппараты [28].

Воздушная лазерная сканирующая система – это технологическая платформа для аэросъемочных работ, в которой учтены все требования к аэросъемочным комплексам и размещены все необходимые компоненты в едином компактном корпусе, что значительно упрощает установку системы на борту воздушного судна (рис. 8).



Рис. 8. БПЛА с подвесным сканером

Воздушное лазерное сканирование, или лазерная локация, является сегодня одним из самых точных и эффективных методов сбора пространственных данных для крупномасштабного картографирования. Использование современных систем воздушного лазерного сканирования позволяет значительно сократить трудозатраты, затраты материальных ресурсов, сроки проведения полевых топографических работ и повысить качество выпускаемой продукции по сравнению с традиционной топографической съемкой в несколько раз [14].

В результате измерений получают точки лазерных отражений, для которых вычисляются пространственные координаты (x, y, z) , форма и интенсивность отраженного сигнала. Полученные данные используются для построения пространственных цифровых моделей измеряемых объектов (рис. 9).

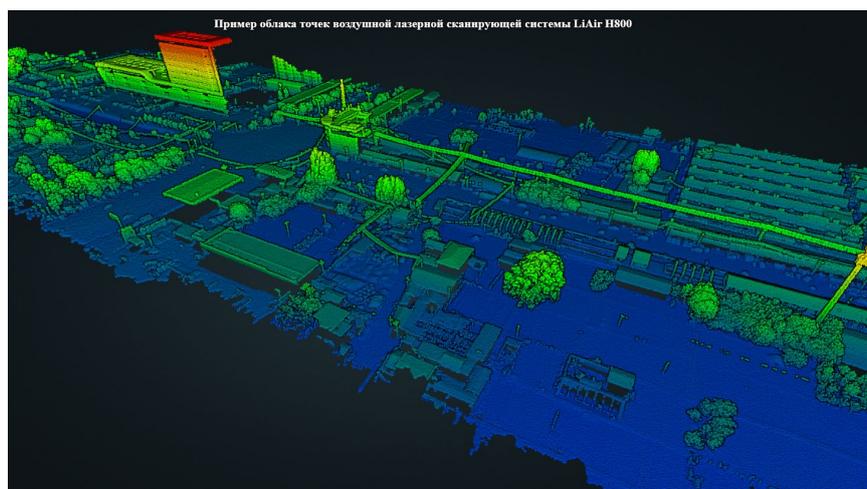


Рис. 9. Пример облака точек воздушной лазерной сканирующей системы LiAir H800

Воздушное лазерное сканирование является быстрым, точным и эффективным методом получения трехмерных данных для протяженных территорий, крупных городов, труднодоступных горных и лесных массивов, промышленных площадок, протяженных коридорных объектов.

Воздушные лазерные сканирующие системы и сканеры создаются с использованием современных лазерных технологий и методов обработки лазерных импульсов. В них учтены самые высокие требования к аэросъемочным комплексам и системам, чтобы обеспечить максимальную экономическую эффективность и сокращение производственного цикла при выполнении аэросъемочных работ.

Воздушное лазерное сканирование применяется для высокоточного картографирования линейных и площадных объектов в масштабах 1 : 500–1 : 5 000 с воздушных носителей.

Особенности воздушного лазерного сканирования:

- высокая плотность точек на 1 м² местности в зависимости от детализации от 4 до 20;
- высокая точность итоговой модели в плане до 10 см и 5 см по высоте;
- детализация вкупе с аэрофотосъемкой может составлять до 5 см на пиксель;
- высокая скорость получения результатов может составлять до нескольких дней после проведения лазерного сканирования;
- производительность – до 800 погонных км съемок в день (ширина полосы съемки до 1 000–1 500 м). Съемка ведется в непрерывном режиме, особенно эффективна для малообжитых территорий.

Уникальные возможности технологии воздушного лазерного сканирования позволяют получить:

- истинный рельеф поверхности земли (даже под кронами деревьев в лесу) без потери точности;
- местоположение и форму объектов сложной структуры, например, технологических площадок и трубопроводов, зданий и сооружений и т. п.;
- топографические планы и карты в безориентирной местности (тундра, полностью заснеженные территории, пустыни, песчаные пляжи) с точностью и детальностью, недостижимыми любыми другими методами.

Одновременно с воздушным лазерным сканированием, как правило, ведется макрофотографирование земной поверхности с использованием цифровой камеры, регистрирующей излучение в видимом, инфракрасном либо тепловом или ИК диапазоне электромагнитного излучения [12, 15, 18].

2.5. Однофотонные системы

Однофотонная технология для воздушного лазерного сканирования (однофотонный лидар) – это метод, при котором для измерения расстояния до объектов используется сверхчувствительный детектор, способный улавливать единичные фотоны – мельчайшие частицы света. Однофотонная технология является новым технологическим прорывом для воздушного лазерного сканирования. Для однофотонных систем требуется только один обнаруженный фотон по сравнению с сотнями или даже тысячами фотонов, необходимых в обычном лазерном сканере. В результате плотность импульсов может быть в десять-сто раз выше по сравнению с обычными датчиками (рис. 10) [29].

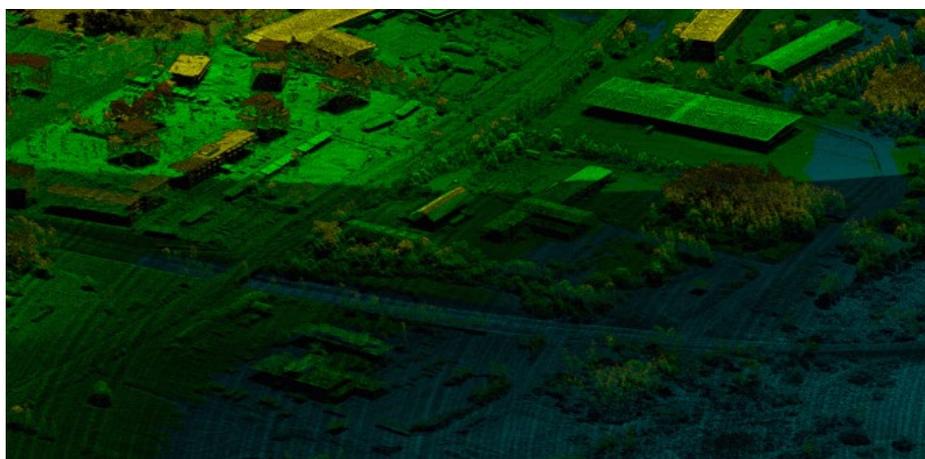


Рис. 10. Однофотонные высотные данные полученные Leica SPL-100 (<https://sovzond.ru/press-center/articles/gis-mapping/5651/>)

Это позволяет:

– повысить плотность импульсов по сравнению с обычными лазерными сканерами, так как для однофотонных систем требуется только один

обнаруженный фотон, в то время как в обычных сканерах – сотни или даже тысячи фотонов;

- использовать лазеры крайне малой мощности, безопасные для зрения;
- обеспечивать высокоточное 3D-отображение местности и объектов даже в городских районах и средах с густой растительностью.

Лазерный импульс отправляется в направлении цели, отражается от нее и возвращается обратно к детектору. Измеряя время, затраченное светом на этот путь туда и обратно, можно с высокой точностью определить расстояние. Повторяя эту процедуру для множества точек, лидар создает трехмерную «карту» местности или объекта.

Особенности однофотонной технологии:

- использование короткого лазерного импульса, который дифракционным оптическим элементом разделяется на сетку из сублучей (лучей-частиц);
- для каждого сублуча сигнал обратного рассеяния принимается отдельным детектором, совмещенным с направлением лазерного луча;
- каждый детектор состоит из матрицы из нескольких сотен ячеек, чувствительных к одиночным фотонам, каждая из которых работает в режиме Гейгера.

На основе информации, полученной с помощью однофотонной технологии, восстанавливаются подробные 3D-изображения местности с помощью вычислительных алгоритмов визуализации. Это позволяет восстанавливать изображения по зашумленным данным даже в сложных условиях и при ограниченной мощности лазера и использовать субпиксельное сканирование и алгоритм 3D-деконволюции, что повышает разрешение.

Однофотонные данные в настоящее время реализованы с использованием зеленого света, что делает их пригодными для использования и в батиметрическом картографировании [29].

Данные лазерного сканирования высокой плотности позволяют проводить кадастровые работы, а также планирование и управление в городах.

Воздушное, мобильное и наземное лазерные сканирования могут быть совмещены для взаимного устранения недостатков друг друга. Отмеченные недостатки являются таковыми по отношению этих методов друг к другу, однако даже самый медленный метод (наземное сканирование) гораздо производительнее тахеометрической съемки, а наименее детальный метод (воздушное сканирование) гораздо детальнее, точнее и быстрее классической аэрофотосъемки.

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

3.1. Первичная обработка данных. Регистрация сканов. Фильтрация данных. Классификация точек.

Лазерный 3D-сканер во время своей работы измеряет расстояние до объектов, а также делает панорамный снимок, если сканирование необходимо в цвете. Для получения максимально точной модели объекта проводят несколько циклов сканирования с множества различных станций. Полученные данные анализируются и объединяются на этапе постобработки.

Первичная обработка данных, полученных с помощью наземного лазерного сканирования, включает несколько ключевых этапов, каждый из которых играет важную роль в формировании точных и достоверных трехмерных моделей объектов. Рассмотрим подробнее каждый из этих этапов.

Первый этап – регистрация сканов – это процесс сопоставления и объединения нескольких сканов в единое полное облако точек. Этот этап крайне важен для получения объемной модели исследуемого объекта или территории. Обычно процесс регистрации включает в себя следующие шаги: сбор данных, выравнивание, оптимизация.

Второй этап включает в себя фильтрацию данных. Она необходима для удаления шума и ненужных точек, которые могут возникать в результате отражений от нежелательных объектов (например деревьев, машин, людей) или программных ошибок.

На третьем этапе производится классификация точек. Облака точек структурируются по категориям в зависимости от их принадлежности к определенным объектам или элементам местности. Этот этап может включать классификацию по объектам, например, определение, какие точки относятся к земле, растительности, зданиям или другим объектам, а также использование алгоритмов машинного обучения для автоматизации процесса классификации и возможность ручной корректировки классификации для повышения точности (рис. 11) [30].



Рис. 11. Результаты лазерного сканирования: совмещение
(<https://eftgroup.ru>)

Первичная обработка данных наземного лазерного сканирования является очень важным этапом, который определяет качество и точность итоговой модели. Регистрация сканов, фильтрация данных и классификация облака точек позволяют создавать надежные трехмерные модели объектов и территорий, которые могут быть использованы в различных областях, включая геодезию, архитектуру, лесное хозяйство и городское планирование. Этот процесс требует специального программного обеспечения и соответствующих навыков, что делает его важной областью для практического применения.

3.2. Создание цифровых моделей. Построение облака точек. Создание трехмерных моделей. Текстурирование.

Наземное лазерное сканирование представляет собой высокоточный метод получения пространственных данных, который позволяет создавать цифровые модели объектов и местности. Процесс создания цифро-

вых моделей на основе данных НЛС включает несколько ключевых этапов, таких как построение облака точек, создание трехмерных моделей и текстурирование.

Первым этапом является построение облака точек – это набор координат x , y , z , полученных в результате регистрации данных лазерного сканирования. В данном процессе реализуются представленные ранее этапы: регистрация сканов (объединение данных, полученных из различных позиций сканирования, с целью формирования единого облака точек) и фильтрация данных (удаление выбросов и шумов, возникающих из-за отражений от нежелательных объектов или ошибок измерения, где остаются только значимые точки, относящиеся к исследуемым объектам).

Создание трехмерных моделей выполняется на втором этапе. На основе полученного облака точек осуществляется создание трехмерных моделей объектов. Здесь применяются следующие подходы:

- построение цифровой модели поверхности, где каждая точка облака представлена в виде целочисленных или вещественных значений высот. Эта модель служит основой для дальнейшего анализа;

- создание триангулированной модели или полигонизации, что позволяет представлять объекты и поверхности в виде полигонов на основе облака точек;

- объектное моделирование конкретных объектов, таких как здания или сооружения, с использованием алгоритмов для автоматического извлечения их геометрических характеристик.

Завершающим этапом является текстурирование созданных трехмерных моделей. На основе собранных изображений осуществляется наложение текстур на 3D-модель. Используются методы проекции текстуры, которые позволяют достичь реалистичного представления объектов. Также производится калибровка текстур для обеспечения точной подгонки изображений к 3D-моделям, что включает коррекцию освещения и искажения. Тщательная работа на этом этапе позволяет улучшить визуальное восприятие модели (рис. 12) [31].

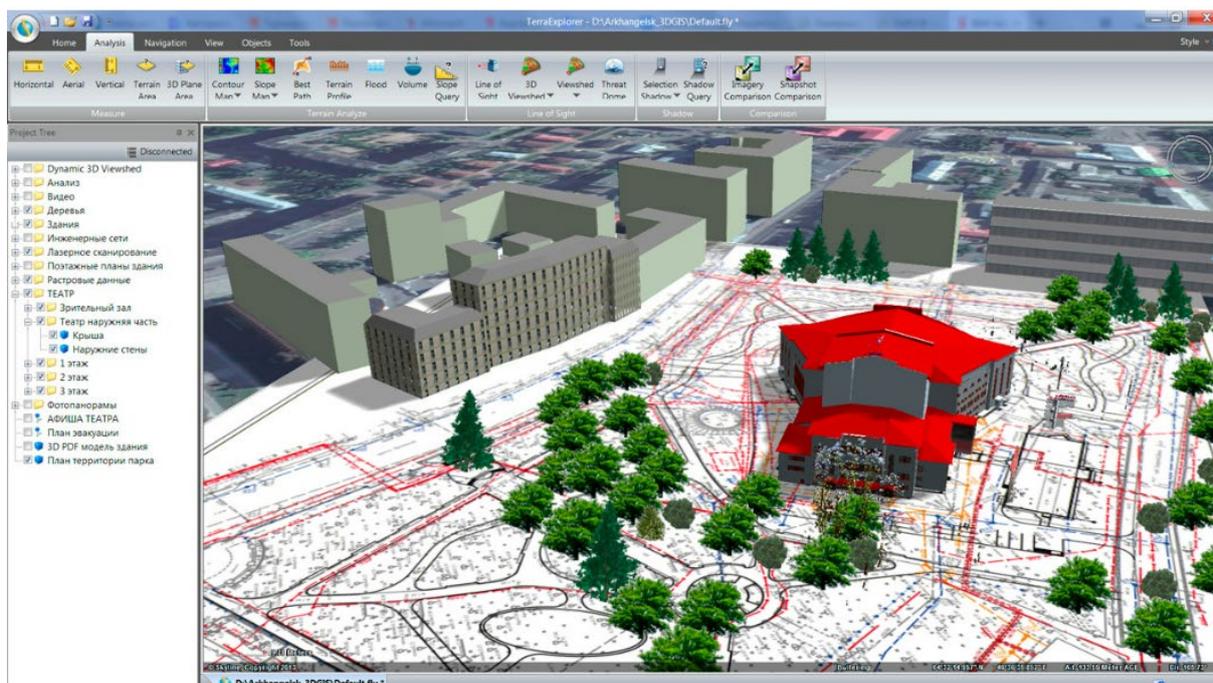


Рис. 12. Визуализация всей графической и атрибутивной информации (<https://acropol-geo.ru>)

По результатам лазерного сканирования вы можете получить 3D-модель объекта, чертежи фасада и интерьера, горизонтальные и вертикальные сечения здания и несущих элементов, чертежи или 3D-модели каждого декоративного элемента.

В отличие от других способов измерения, включая фотографии, лазерное сканирование дает очень точную и достоверную информацию о фактических размерах объекта и переносит точки на чертеж.

Процесс создания цифровых моделей на основе результатов лазерного сканирования представляет собой многоэтапную и сложную задачу, требующую использования специализированного программного обеспечения и навыков обработки данных. Результат этой работы – высокоточные и детализированные трехмерные модели, которые могут служить основой для анализа, планирования и управления территорией.

3.3. Особенности работы с данными наземного лазерного сканирования

Городская территория характеризуется высокой степенью разнообразия объектов, таких как здания, дороги, мосты, деревья и другие элементы инфраструктуры.

В условиях высокой плотности застройки необходимо тщательно планировать позиции для сканирования, чтобы избежать перекрытия и получения множественных отражений от близко расположенных объектов. Различные материалы и формы поверхностей в городской среде (стекло, бетон, асфальт) могут создавать искажения данных сканирования, что требует применения специальных методов фильтрации и обработки данных.

Правильное размещение сканера является критически важным для получения высококачественного облака точек.

Инженер, выполняющий данный вид работ, должен учитывать видимость объектов, угол наклона и расстояние до них, чтобы минимизировать мертвые зоны и максимизировать захват данных.

В зависимости от задачи (например, создание цифровой модели местности или выполнение оценки состояния зданий) может потребоваться различная степень детализации, что влияет на количество и расположение точек сканирования.

В ходе обработки результатов измерений регистрация облаков точек, полученных из различных позиций, представляет собой важный этап. При этом необходимо точно сопоставлять данные, чтобы избежать искажений при формировании единого трехмерного представления. Для этого используются алгоритмы ICP и другие методы, которые требуют внимательного подхода.

Для повышения реалистичности создаваемой модели требуется наложить текстуры, что позволяет детально отобразить архитектурные особенности зданий и материалы, из которых они выполнены.

Преимуществами съемки лазерным сканером по сравнению с традиционными методами являются скорость, безопасность работ, снижение себестоимости, решение нескольких задач при использовании одних и тех же данных, избыточная детализация, отсутствие необходимости повторных

измерений (выездов на объект), простота обработки – облако точек можно визуализировать в различных программах САПР.

Важно документировать все этапы работы и результаты, чтобы предоставить заказчику качественную и информативную отчетность о выполненных работах. Работа с данными наземного лазерного сканирования в городской среде требует сочетания технических навыков, знаний о городском планировании и умения адаптироваться к быстро меняющимся условиям. Исполнитель съемочных работ должен быть готов к решению множества задач, связанных с оптимизацией сканирования, обработкой данных и созданием высококачественных моделей городской инфраструктуры, что в конечном итоге способствует эффективному управлению городскими территориями и объектами недвижимости.

4. ПРИМЕНЕНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРЕ

Современные технологии лазерного сканирования находят все более широкое применение в землеустройстве и кадастровой деятельности, обеспечивая высокоточное, объективное и детализированное пространственное описание земельных участков и расположенных на них объектов недвижимости. Основное преимущество метода – возможность получения полной геометрической модели территории за короткое время без прямого физического контакта с объектами.

В землеустройстве лазерное сканирование используется:

- для уточнения границ земельных участков в условиях плотной городской застройки или сложного рельефа, где традиционные методы затруднены;

- подготовки исходных данных для проектов межевания, особенно при разделе, объединении или выделе участков;

- фиксации текущего состояния территории перед началом строительства или реконструкции;

- создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) для расчета объемов земляных работ, проектирования инженерной инфраструктуры и оценки землепользования.

В кадастровой деятельности технологии лазерного сканирования позволяют (рис. 13):

- формировать трехмерные кадастровые модели недвижимости, включая не только наземные, но и подземные (подвалы, парковки) и надземные (мосты, эстакады) элементы;

- документировать фактическое положение объектов капитального строительства при постановке на кадастровый учет или внесении изменений;

- выявлять и фиксировать самовольные постройки и несогласованные реконструкции;

– обеспечивать достоверность сведений Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) за счет использования объективных измерений, устойчивых к оспариванию в суде.

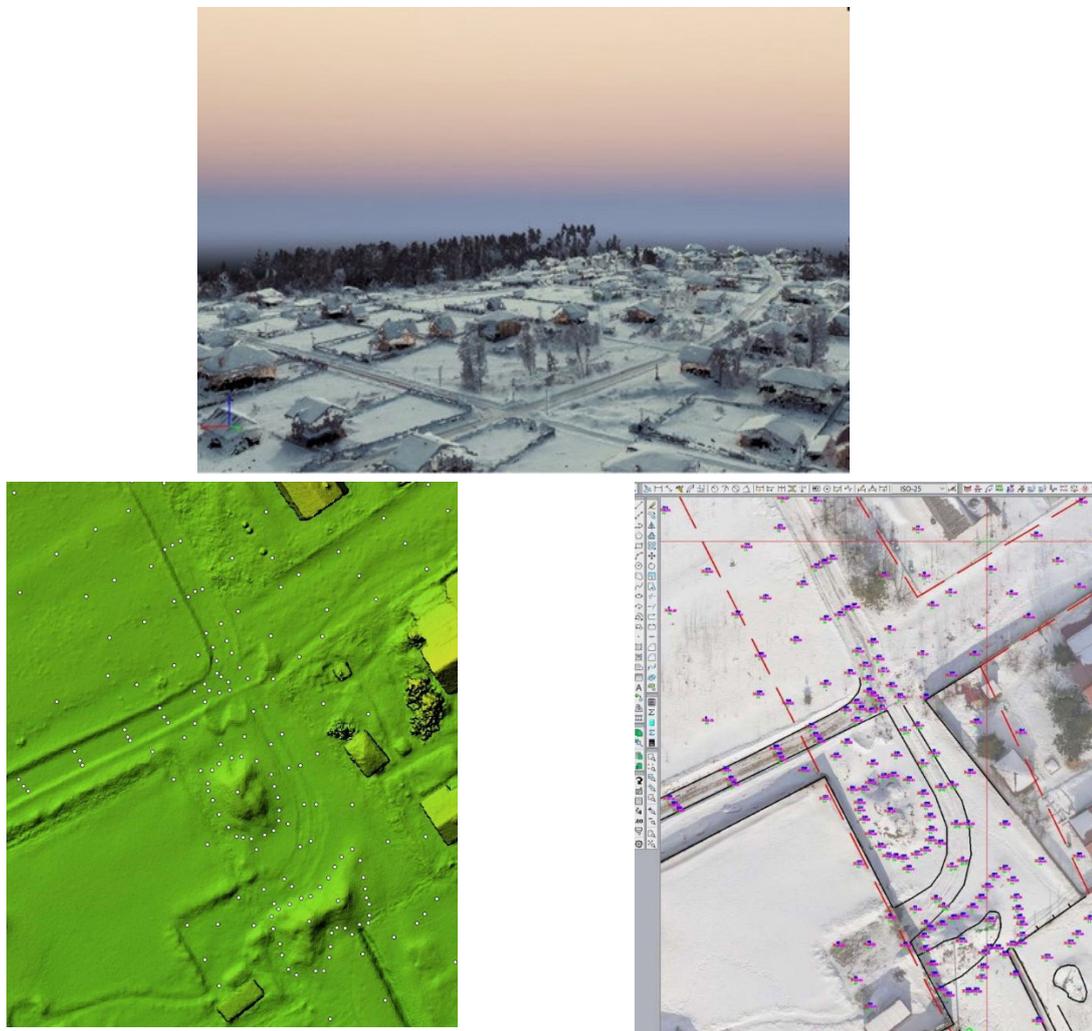


Рис. 13. Результат обработки материалов лазерного сканирования

Особую ценность лазерное сканирование представляет при работе со сложными и многокомпонентными объектами: промышленными зонами, транспортными узлами, историческими зданиями, где важна не только плановая, но и высотная привязка. Совместное использование лазерного сканирования с фотограмметрией и ГНСС-оборудованием позволяет создавать облака точек, интегрируемые в геоинформационные системы (ГИС) и различные геопорталы (рис. 14).

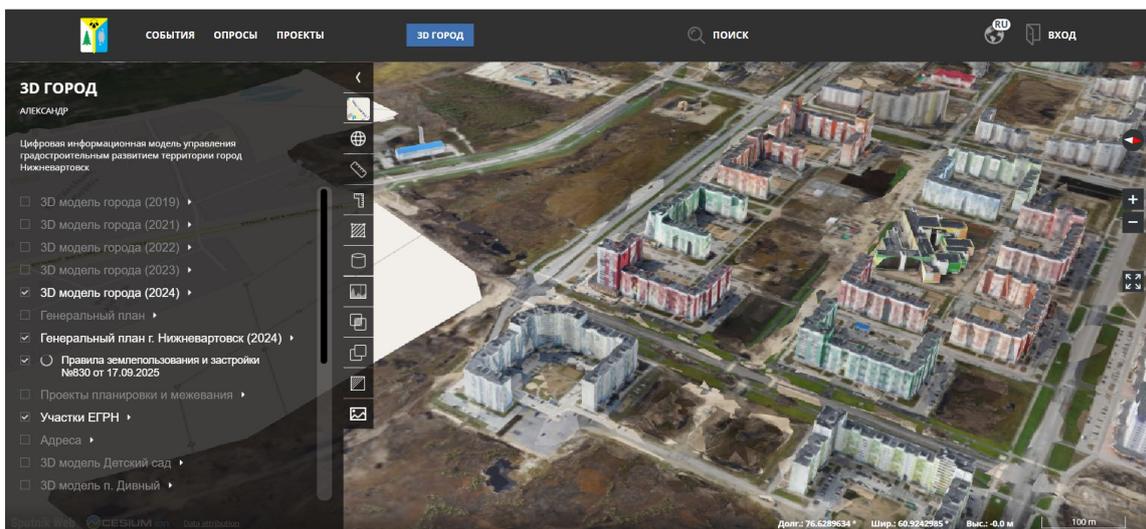


Рис. 14. Геопортал г. Нижневартовска

Необходимость в применении различных видов лазерного сканирования обусловлена все возрастающей сложностью площадей застройки, подземной и надземной инфраструктуры [28]. Вновь возникающие потребности лишь в некоторой степени могут быть обеспечены существующими методиками геодезических измерений. Возможность регистрации недвижимости и прав на нее в трехмерном измерении позволит оптимизировать использование пространства.

Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии в своих стратегических планах планирует полную цифровизацию объектов недвижимости за счет создания витрины данных. Такой подход позволит полностью взять под контроль всю информацию о объектах недвижимости и земельных ресурсах в интересах страны и налогоплательщиков и решить проблему отсутствия достоверных данных о земле и недвижимости. Все это позволит создать отечественную геоплатформу, которая консолидирует данные о территориальном устройстве РФ [32].

Цифровой двойник объекта недвижимости или городского пространства в современном мире уже стал элементом цифровой экосистемы. Цифровая копия позволяет оптимизировать расход потребления воды, тепла и электроэнергии в зависимости от времени суток, сезона, выходных и праздничных дней, а снегоуборка и вывоз мусора осуществляются по мере необходимости (рис. 15).

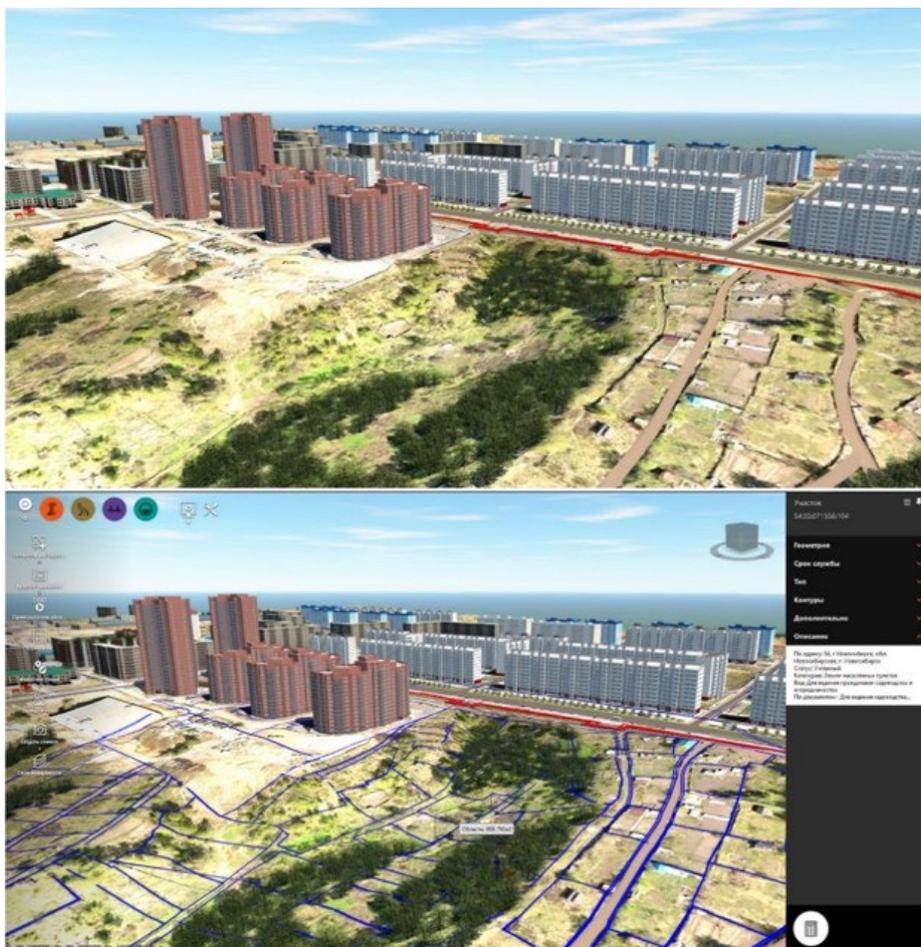


Рис. 15. Информационная модель жилмассива «Восточный»

Потребность в реалистичном отображении окружающего мира увеличивает значимость трехмерного моделирования. 3D-модели облегчают планирование, контроль и принятие решений во многих отраслях. Трехмерная фотореалистичная визуализация территорий методами компьютерной графики и создание муниципальных трехмерных ГИС способны изменить технологию и практику управления городом, городского планирования окружающей среды, разработки и ведения проектов.

С разработкой и принятием в РФ концепции трехмерного кадастра недвижимости и поэтапным внедрением соответствующих нормативных актов лазерное сканирование станет, на наш взгляд, не просто вспомогательным, а базовым методом сбора пространственных данных для кадастровых работ. Это будет способствовать повышению качества кадастровой инфор-

мации, снижению количества земельных споров и переходу к цифровой модели управления недвижимостью.

За последние несколько лет города в своем развитии столкнулись не только с многочисленными экономическими и политическими кризисами, но им также пришлось приспособливаться к цифровым изменениям, подталкивающим их к всесторонним управленческим нововведениям. Все это позволяет городам придерживаться концепции устойчивого развития, что немаловажно в эпоху третьей цифровой революции и повсеместного внедрения технологий «умных городов» и «цифровых двойников». Концепция устойчивого развития позволяет городским территориям намного быстрее и эффективнее реагировать на различные техногенные и природные угрозы, а также отвечает современным запросам городского населения на комфортную и безопасную среду [33, 34].

В настоящий момент уже есть разработки по внедрению первичной информационной модели городской агломерации и пилотные проекты по внедрению цифровых двойников в Российской Федерации, в первую очередь это Казань, Екатеринбург, Владивосток.

Таким образом, применение 3D-лазерного сканирования в землеустройстве и кадастре отвечает современным требованиям к точности, полноте и достоверности геопространственных данных и играет ключевую роль в цифровой трансформации земельных отношений.

5. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ. ИНТЕГРАЦИЯ С ДРУГИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

Современные инновации в области 3D-лазерного сканирования направлены на повышение скорости, точности и автоматизации сбора и обработки пространственных данных. Одним из ключевых направлений является миниатюризация сканирующих систем – появление компактных и легких лидаров, устанавливаемых на беспилотные летательные аппараты (БПЛА), что значительно расширяет возможности обследования труднодоступных и протяженных территорий. Например, интегрированные UAV-LiDAR-системы позволяют получать высокоточные цифровые модели местности даже под пологом леса, что особенно актуально для кадастровых работ в лесных и горных районах.

Важным вектором развития является интеграция лазерного сканирования с другими геопространственными и цифровыми технологиями. Наиболее значимые примеры [35, 36]:

- с ГИС и BIM: данные сканирования напрямую используются для создания и актуализации трехмерных кадастровых карт, а также для построения информационных моделей зданий (BIM) и городской среды (City Information Modelling, CIM);

- с ГНСС и инерциальными системами: обеспечивает привязку облака точек к государственной системе координат без необходимости опорных пунктов;

- с методами искусственного интеллекта и машинного обучения: позволяют автоматически распознавать объекты (стены, окна, коммуникации, земельные границы), классифицировать поверхности и выявлять отклонения от проектных решений;

- с фотограмметрией: комбинирование облака точек с панорамными или ортофотоизображениями повышает информативность модели за счет цветовой и текстурной детализации.

В сфере кадастра лазерное сканирование открывает возможности:

- для создания единой трехмерной кадастровой модели недвижимости, включая подземные и надземные конструкции;
- уточнения границ земельных участков в условиях плотной застройки;
- документирования самовольных построек и выявления изменений в объектах капитального строительства.

В градостроительстве технологии 3D-сканирования позволяют (рис. 16):

- формировать «цифровые двойники» городов (Digital Twins);
- моделировать сценарии реконструкции и инфраструктурного развития;
- проводить мониторинг устойчивости зданий и инженерных сооружений;
- оптимизировать процессы землепользования и планирования территорий на основе актуальных пространственных данных.

Перспективы развития отрасли связаны с дальнейшей цифровизацией государственного управления, внедрением концепции «умного города» и законодательным закреплением трехмерного кадастра в Российской Федерации. Согласно стратегическим документам Росреестра и Минстроя, к 2030 г. планируется полный переход к трехмерному учету недвижимости, что делает лазерное сканирование не просто вспомогательным, а базовым методом сбора исходных данных для кадастровых и градостроительных процедур.

В начале 2025 г. департамент информационных технологий города Москвы совместно с Комитетом по архитектуре обновили технические требования к подготовке трехмерных моделей при проектировании новостроек. Сами 3D-модели – высоко- и низкополигональные (т. е. отличающиеся уровнем детализации) – стали обязательным элементом для получения архитектурно-градостроительного решения в 2024 г.

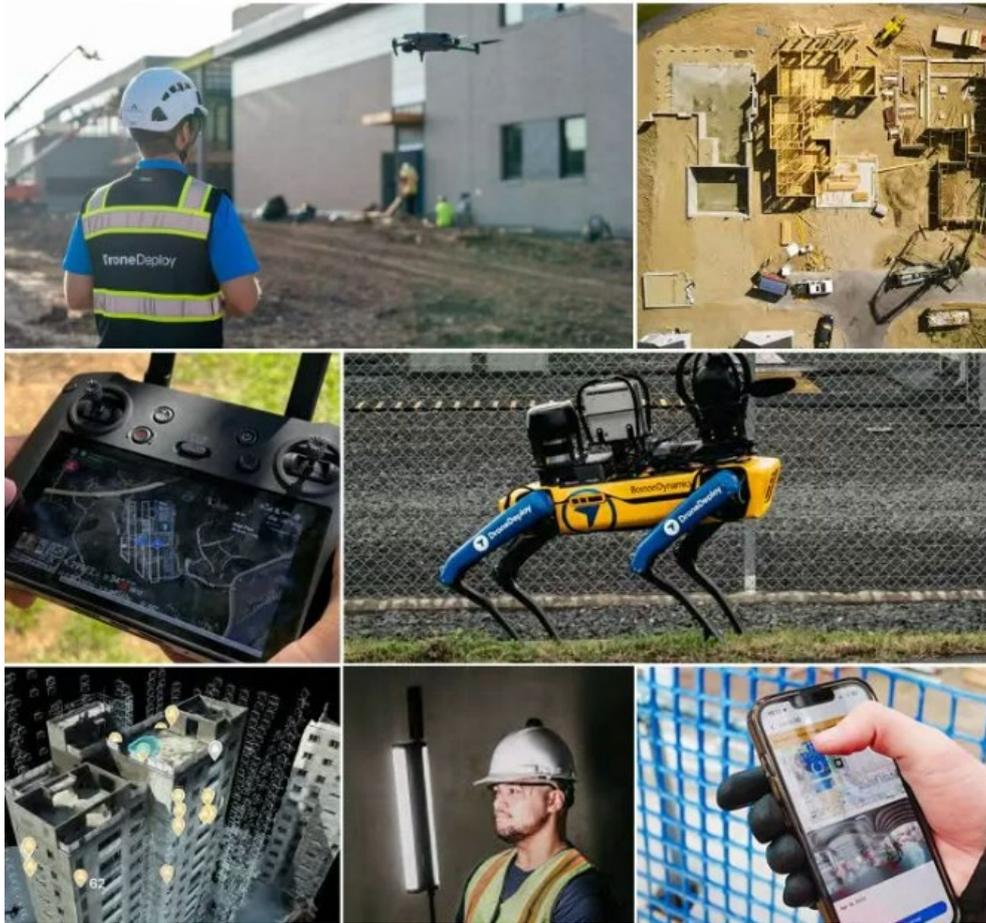


Рис. 16. Технологии оцифровки реальности
(https://ngcm.ru/blog/reality_capture_2025/)

Основная цель изменений – цифровизация процесса проектирования и построение полноценного «цифрового двойника». Сами полигональные модели дают возможность просматривать здания под любым углом с высокой степенью реалистичности и проводить углубленную экспертизу проектов до начала строительства. Высокоточная цифровая визуализация позволит избежать архитектурных ошибок, ускорить согласования и повысить качество застройки. Также по новым требованиям теперь необходимо в 3D показывать планы этажей, точный вид фасадов вплоть до элементов декора.

Обязательным элементом 3D-модели также стали в Нью-Йорке, Сингапуре и Токио. В России востребованность инструмента растет и на фоне активной реновации и точечной застройки: в плотно застроенных районах

важно просчитывать, как новостройки повлияют на видовые характеристики, инсоляцию, нагрузку на транспортные и инженерные сети.

Оцифровка реальности – это не просто технология, а мощный инструмент для решения будущих вызовов. Компании, которые не внедряют эти технологии, рискуют остаться позади. Для управления проектами, улучшения процессов и повышения конкурентоспособности в условиях быстро меняющегося мира оцифровка реальности становится необходимостью. Ожидается, что технологии оцифровки реальности будут играть все более важную роль в бизнесе. Интеграция искусственного интеллекта и машинного обучения позволит автоматизировать анализ данных и ускорить принятие решений. Около 62 % компаний планируют увеличить расходы на оцифровку реальности в 2025 г. В ближайшие годы мы увидим рост использования роботов и дронов для оцифровки данных [35].

Таким образом, лазерное сканирование становится неотъемлемой частью цифровой трансформации землеустройства, кадастра и градостроительного проектирования, обеспечивая высокую достоверность, объективность и оперативность пространственной информации.

6. ПРАКТИЧЕСКИЙ КУРС

Проблематика и актуальность функционала по векторизации связаны с тем, что облака точек – неструктурированные данные с пространственными координатами и метаданными – наиболее быстрый способ перевода объекта в цифровое представление, но в исходном состоянии это позволяет работать с визуальным отображением и метаданными. Конечная цель применения облаков точек в инженерном деле – извлечение структурированных данных геометрии (так называемая **векторизация**) из структурированных облаков точек.

В nanoCAD Облаках точек есть функции по выявлению форм, созданию по облаку 3D-солоидов, плоских областей, по извлечению осей трубопроводов в виде полилиний, а также послойной векторизации облаков точек. Данный практический курс направлен на изучение процедуры послойной векторизации данных.

Послойная векторизация применяется для извлечения линейных объектов платформы (отрезки, дуги, полилинии) из облака точек. Эта задача актуальна при работе с механическим, технологическим оборудованием в промышленности и машиностроении, а также с разрезами и планами зданий и сооружений. Для последних применяется функция создания **поэтажного плана** – продолжения функционала векторизации. Этот функционал будет полезен, например, для создания технических планов при инвентаризации объектов недвижимости [37].

6.1. Лабораторная работа № 1 ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСА И ВОЗМОЖНОСТИ СОХРАНЕНИЯ РАБОЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОГРАММЕ nanoCAD

Цель работы

Целью работы является рассмотрение возможности применения основных команд и функций, приведенных на интерфейсе программного комплекса для автоматизированного проектирования nanoCAD (компании

«Нанософт», Российская Федерация), а также изучить возможности сохранения выполненных работ.

Последовательность выполнения

1. Для начала работы в программном комплексе nanoCAD следует за-

пустить его двойным нажатием на иконку .

2. В основном окне программы существует возможность выбора интерфейса. В настоящее время в nanoCAD реализованы два вида интерфейса: ленточный (рис. 17) и классический (рис. 18). Переключение между ними осуществляется нажатием на кнопку в правом верхнем углу.

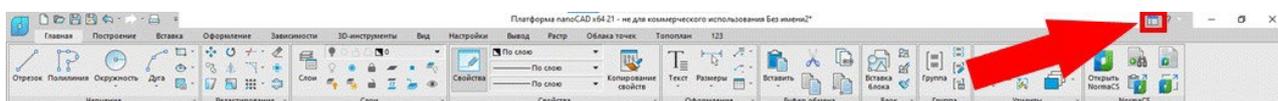


Рис. 17. Ленточный интерфейс

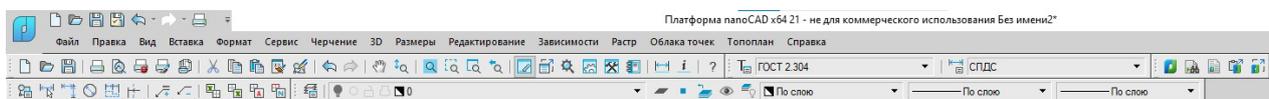


Рис. 18. Классический интерфейс

3. Для работы в программном комплексе необходимо умение ориентироваться в рабочих командах. Вверху ленточного интерфейса располагаются все существующие функциональные вкладки (рис. 19).

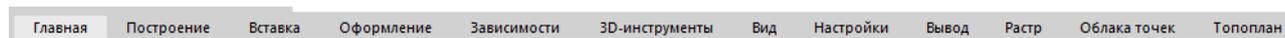


Рис. 19. Вкладки ленточного интерфейса

4. Функциональные вкладки разделены на группы, в которых собраны

команды. Группы находятся под вкладками и разделены между собой, каждая из них имеет свое название (рис. 20).

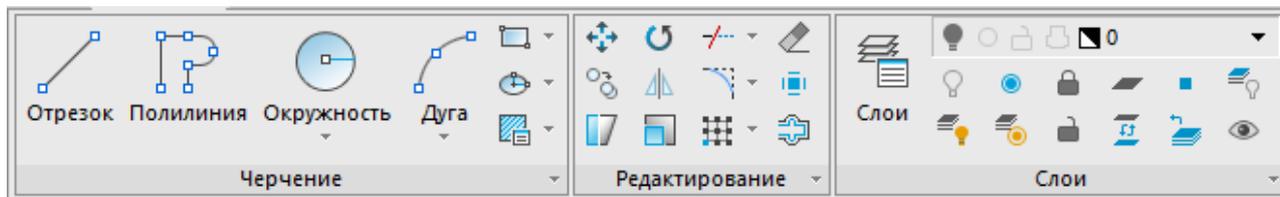


Рис. 20. Группы *Черчение*, *Редактирование*, *Слои*

К примеру, команда *Полилиния* находится в *ЛЕНТА: Главная > Черчение > Полилиния*.

5. В классическом интерфейсе сверху находятся меню, при вызове которых появляется список команд и подменю (рис. 21).

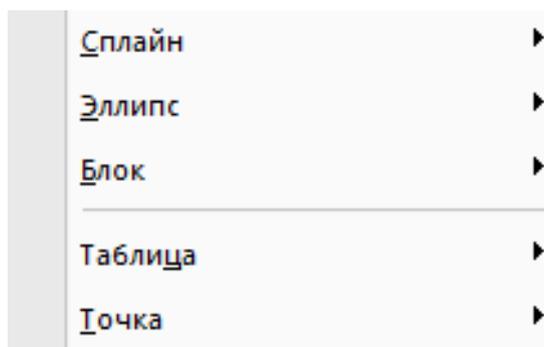


Рис. 21. Подменю *Сплайн*, *Эллипс*, *Блок*, *Таблица*, *Точка* в меню *Черчение*

К примеру, команда *Дуга по 3 точкам* находится в *МЕНЮ: Черчение > Дуга > 3 точки*.

6. Периодически каждый человек в процессе работы сталкивается с ситуацией, когда компьютер зависает или выключается, а рабочие файлы не были корректно сохранены. В результате этого приходится потратить много времени и сил для восстановления выполненной работы, а иногда и выполнять все с самого начала. В nanoCAD существует возможность настроить функцию автосохранения документов таким образом, чтобы это не только не мешало вашей работе с файлами, но и повышало их сохранность.

Как добиться полного контроля над сохранением документов и получить возможность в любой ситуации (выключился свет, началась внеплановая перезагрузка компьютера) вернуть последние данные, чтобы даже при случайном нажатии кнопки *Нет* в процессе сохранения чертежа ваши данные сохранялись?

Рассмотрим режим автосохранения документов при внеплановом завершении работы программы. Файлы автосохранения имеют разрешение **.autosave* и могут быть открыты программой nanoCAD как обычный *.dwg-файл. Эти файлы находятся в папке *Temp*, расположенной по следующему пути: *C:\Users\username\AppData\Local\Temp*. Познакомимся с действием автосохранения на конкретном примере.

6.1. Ждем информации в командной строке об автосохранении документа (рис. 22).

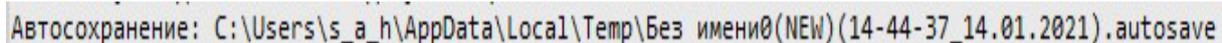


Рис. 22. Автосохранение в списке команд

6.2. С помощью диспетчера задач имитируем непреднамеренное закрытие программы (*Ctrl+Alt+Del* > *Диспетчер задач* > *nanoCAD* > *Снять задачу*).

6.3. Заходим в папку *C:\Users\username\AppData\Local\Temp*.

6.4. Находим файл с разрешением **.autosave* (рис. 23).



Рис. 23. Сохраненный файл

6.5. Открываем этот файл с помощью nanoCAD 21.0. В результате вся информация сохранилась.

6.6. Откройте *Настройки программы* удобным вам способом:

– *ЛЕНТА: Настройки* > *Адаптация* > *Настройки программы*;

– МЕНЮ: Сервис > Настройка.

7. Все настройки программы папоCAD находятся на одной вкладке и для упрощения поиска нужной опции представлены в виде дерева (рис. 24).

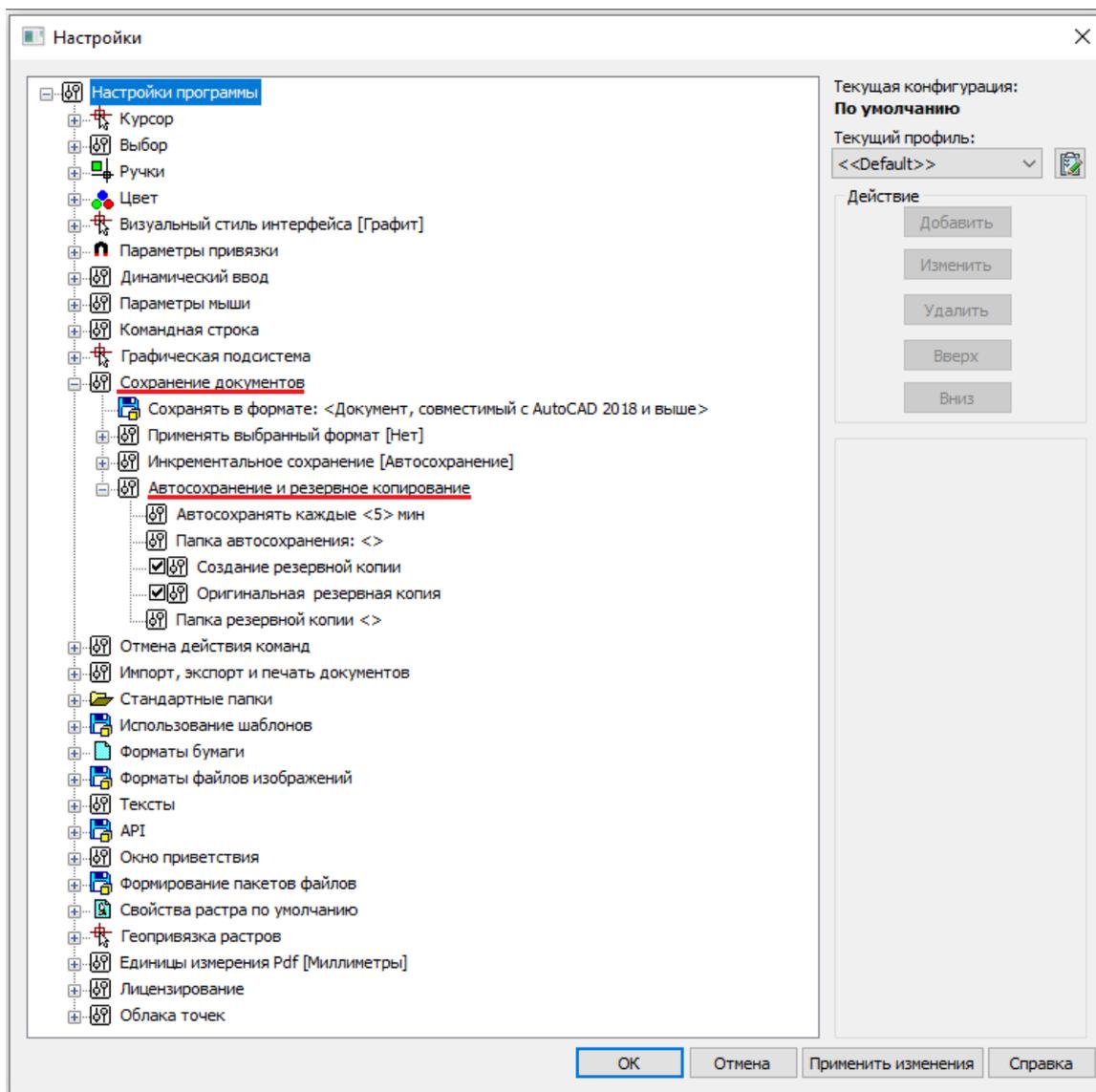


Рис. 24. Настройки программы

8. В подразделе *Автосохранение и резервное копирование* можно настроить интервал, папку автосохранения и управление резервной копией. Не менее важная настройка сохранения документов находится в системных переменных:

– *FILEHISTORY* – включить (1) или отключить (0) сохранение истории;

– *FILEHISTORYMAX* – максимальное количество хранимых версий файла;

– *FILEHISTORYDURATION* – число суток, на протяжении которых файлы остаются в хранилище.

Эта настройка применяется при случайном нажатии на *Не сохранять документ* в ответ на запрос сохранения. В системных переменных находится множество настроек, с которыми вы можете ознакомиться самостоятельно. При нажатии на переменную появится ее описание внизу функциональной панели.

Рассмотрим действие переменной *FILEHISTORY*. Вызовите управление системными переменными:

– *ЛЕНТА: Настройки > Функциональные панели > Системные переменные...*;

– *МЕНЮ: Сервис > Системные переменные...*

8.1. Вводим *FILEHISTORY* в поле поиска переменных. В значении переменной *FILEHISTORY* ставим *1* (Включено) (рис. 25).

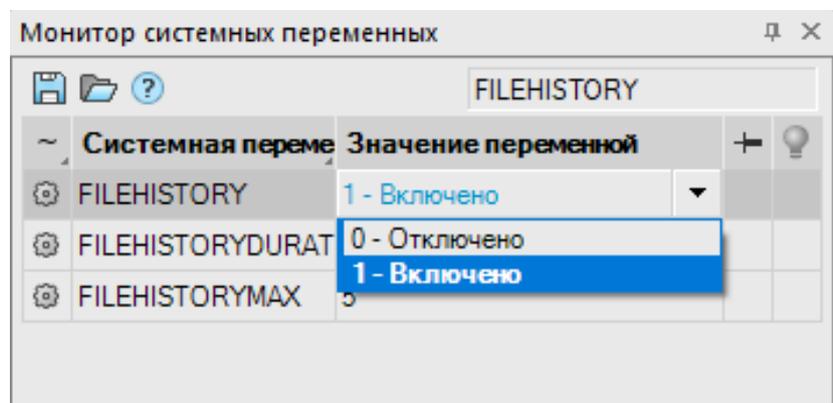


Рис. 25. Включение системной переменной

8.2. Имитируем случайное нажатие кнопки *Нет* при сохранении документа. Для этого:

– закрываем *.dwg-файл, не сохраняя его;

– в открывшемся диалоговом окне нажимаем на *Нет* (рис. 26);

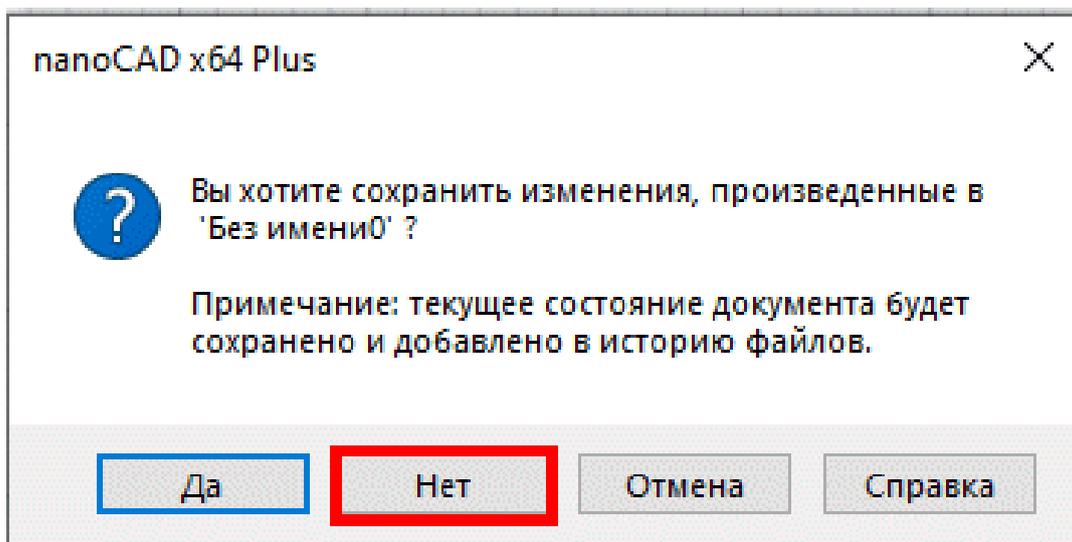


Рис. 26. Отказ от сохранения файла

– в папке *UnsavedFiles*, расположенной по следующему пути: *%AppData%\Nanosoft\nanoCAD x64 21.0\UnsavedFiles*, находится сохраненный файл, имя которого организовано по следующей схеме: *название исходного файла_дата сохранения файла_время сохранения файла* (рис. 27).

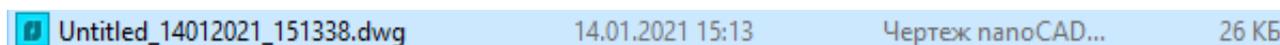


Рис. 27. Сохраненный файл

– откройте его, чтобы убедиться в сохранности последних изменений.

Вопросы для самоконтроля

1. Где находится команда *Размерные стили* в ленточном интерфейсе?
2. Где находится команда *3D вращение* в классическом интерфейсе?
3. По какому пути находится папка автосохранения?
4. Как называется раздел настроек для управления автосохранением документов?

6.2. Лабораторная работа № 2

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ВОЗМОЖНОСТЯМИ ОТОБРАЖЕНИЯ ОБЛАКА ТОЧЕК И ЕГО РЕДАКТИРОВАНИЯ

Современные технологические решения в области выполнения работ по получению данных об объектах недвижимости или различных территориях в последние годы получили большое развитие. Появились новые методы и технические средства для выполнения таких работ. Одним из таких является технология выполнения работ по лазерному сканированию различными способами (наземным, мобильным или воздушным). При таком виде работ специалист выполняет съемку объекта при помощи специализированного трехмерного сканирующего устройства – лазерного сканера. С помощью лазерных лучей сканер производит автоматический анализ окружающего пространства и составляет массив точек, обладающих огромным объемом информации (трехмерные координаты, цвет, плотность и т. д.). Затем в специализированном программном обеспечении возможна обработка облака точек и подготовка 3D-моделей интересующих точечных объектов или различных территорий. В ходе выполнения данной лабораторной работы будут выполнены различные технические операции в программном комплексе nanoCAD [38].

Цель работы

Целью работы является ознакомление с результатом, получаемым в ходе выполнения работ по лазерному сканированию объектов – облаком точек, – а также рассмотрение возможности отображения и редактирования его в программном продукте nanoCAD.

Задачи работы

1. Познакомиться с режимом отображения облака точек в программном комплексе nanoCAD.
2. Произвести обрезку облака точек произвольной области и выполнить отмену всей процедуры обрезки или частичную отмену.
3. Рассмотреть функцию редактирования облака точек – создание сечений.

Последовательность выполнения

1. nanoCAD может импортировать точки из множества форматов: BIN (TerraSolid), LAS (ASPRS), PTX (Leica), PTS (Leica) и PCD (Point Cloud Library), TXT, XYZ, XYB, PLY, E57, RCS, RCP, облако точек nanoCAD (*.nrc). Разберем возможности работы с облаком точек в nanoCAD на примере.

1.1. Откройте в nanoCAD файл *3D объект.dwg* из папки *Samples/Облака точек/3D объект*.

1.2. Откройте диалог *Режим отображения* (рис. 28) удобным вам способом:

- ЛЕНТА: *Облако точек > Настройки > Режим отображения*;
- МЕНЮ: *Облако точек > Режим отображения*.

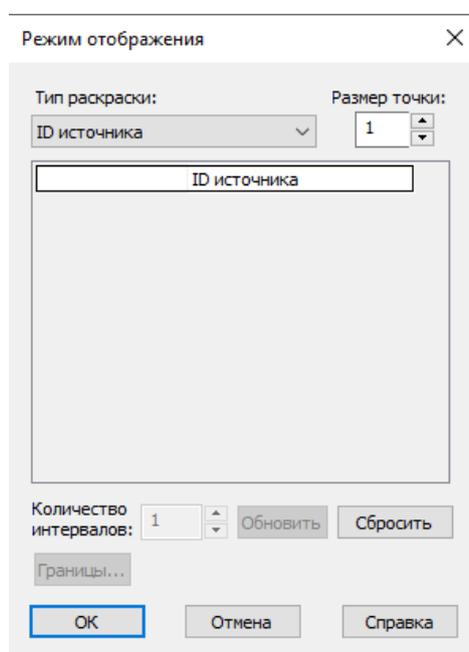


Рис. 28. Диалоговое окно *Режим отображения*

В данном диалоговом окне существует возможность настройки вида облака точек в чертеже (рис. 29). Возможные параметры отображения зависят от источника данных, т. е. от самого облака точек. Обычно доступны следующие варианты:

- цвет сканирования – настоящий цвет точки;
- высота – имеется возможность задать количество и цвет интервала

для раскраски точек облака в зависимости от значения их высоты;

– интенсивность – на основе интенсивности отраженного импульса;

– ID источника – точки облака в зависимости от идентификатора источника сканирования;

– цвет – общий цвет для облака.

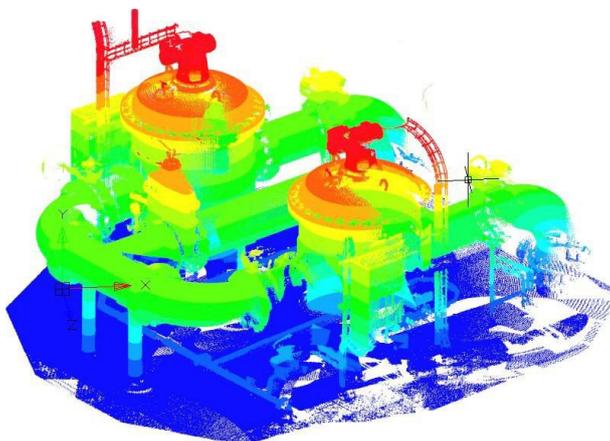


Рис. 29. Возможности отображения облаков точек

2. Затем рассмотрим существующие возможности обрезки облака точек.

2.1. Запустите команду *Обрезка полигоном* удобным вам способом:

– *ЛЕНТА*: *Облако точек > Обрезка и сечение > Обрезка полигоном*;

– *МЕНЮ*: *Облако точек > Обрезка > Обрезка полигоном*.

2.2. Указав точки и нажав на клавишу Enter, вы можете вырезать произвольную область из облака точек (рис. 30).

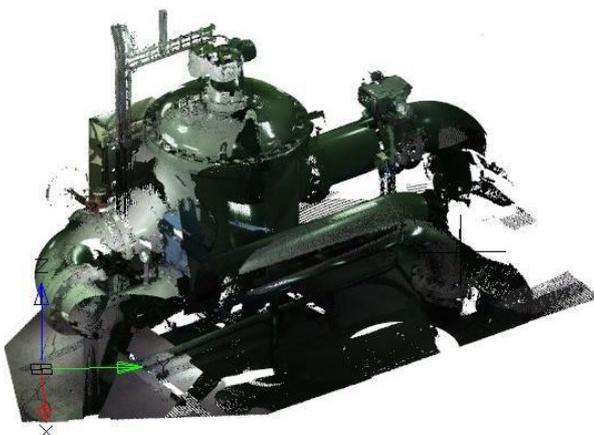


Рис. 30. Возможности обрезки

3. При необходимости можно, используя соответствующие команды, отменить все обрезки или только последнюю:

– *ЛЕНТА*: Облако точек > Обрезка и сечение > Отмена всех обрезок, Отмена последней обрезки;

– *МЕНЮ*: Облако точек > Обрезка > Отмена всех обрезок, Отмена последней обрезки.

4. Рассмотрим еще одну функцию редактирования облака точек – создание сечений. Для этого необходимо выполнить следующие шаги:

4.1. Установите вид сверху.

4.2. Запустите команду *Произвольное сечение* удобным вам способом:

– *ЛЕНТА*: Облако точек > Обрезка и сечение > Сечение > Произвольное сечение;

– *МЕНЮ*: Облако точек > Сечения > Произвольное.

Таким образом, задав сечение, вы можете получать любые горизонтальные и вертикальные сечения (рис. 31).

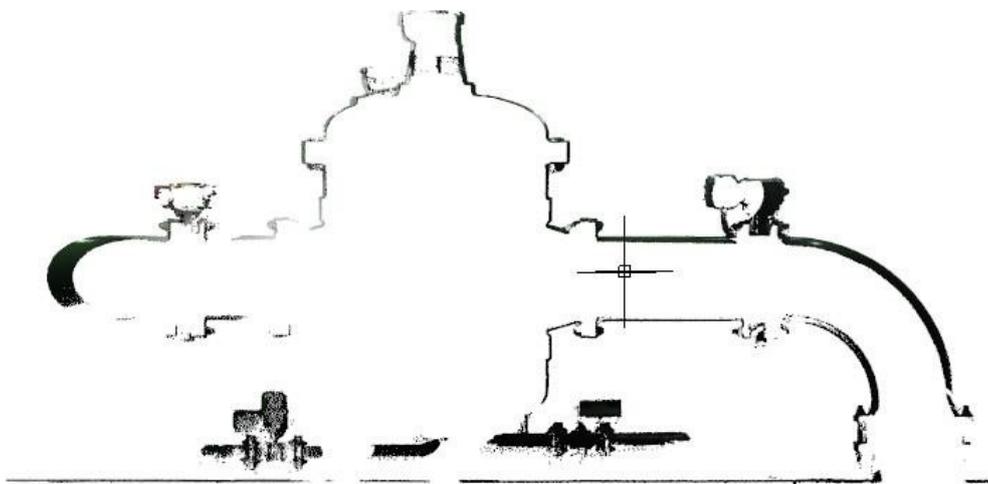


Рис. 31. Создание сечений облаков точек

Вопросы для самоконтроля

1. Как реализована функция отображения облака точек?
2. Какие виды сечений есть в nanoCAD?
3. Можно ли последовательно отменять обрезку облака точек?

6.3. Лабораторная работа № 3 ВОЗМОЖНОСТИ ОБРЕЗКИ И СОЗДАНИЯ СЕЧЕНИЙ ОБЛАКА ТОЧЕК

Цель работы

Целью работы является изучить существующие возможности импорта облака точек, а также обрезки и создания сечений облака точек в программном продукте nanoCAD.

Задачи работы

1. Выполнить импорт облака точек в формате *.e57.
2. Настроить режим отображения данных.
3. Осуществить обрезку облака точек и создать сечения.
4. Выполнить работу с именованными видами.

Последовательность выполнения

1. Выполним импорт облака точек офисного помещения в формате *.e57. Для этого перейдем во вкладку *Конфигурация ReClouds* (рис. 32).

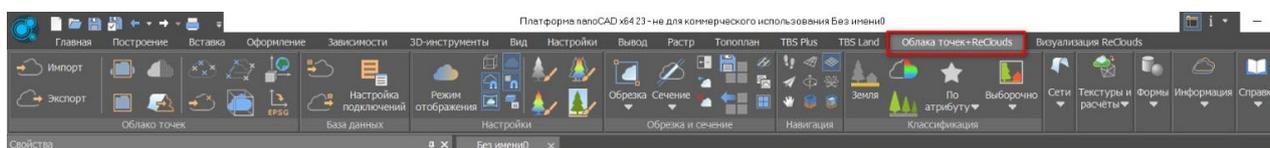


Рис. 32. Конфигурация ReClouds

2. Вызовем команду *Импорт* на панели *Облако точек* (рис. 33).

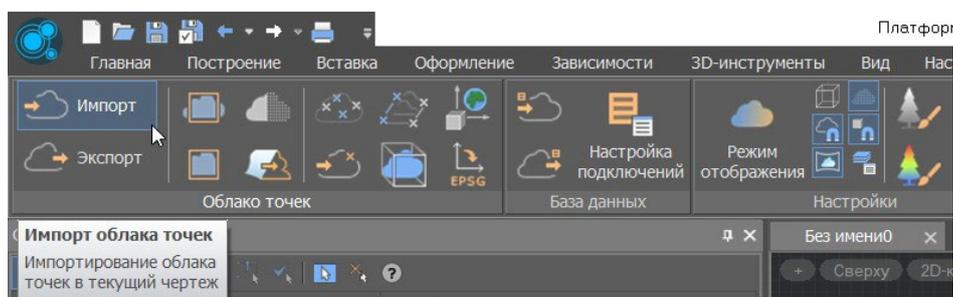


Рис. 33. Команда *Импорт* на панели *Облако точек*

3. При вызове команды появляется предупреждение о том, что установлен визуальный стиль 2D. Для работы с облаками точек необходимо установить, например, *Каркас* (рис. 34).

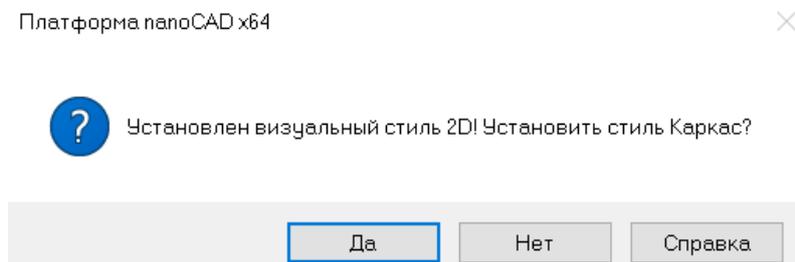


Рис. 34. Установка стиля *Каркас*

4. В окне необходимо выбрать файл *Офисное помещение .e57* (рис. 35).

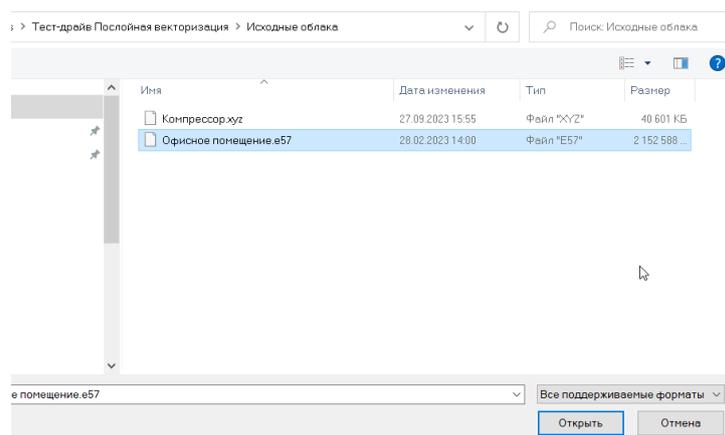


Рис. 35. Выбор рабочего файла *Офисное помещение*

Формат *.e57 – один из наиболее используемых форматов передачи данных с технологии LiDAR. Он позволяет передать пространственные координаты точек и метаданные в бинарном формате файла, который дает возможность экономить память компьютера.

В диалоге импорта облаков точек на предпросмотре наблюдаем общий вид облака и количество точек. Вес облака в исходном состоянии более 2 ГБ, в учебных целях необходимо выполнить **прореживание** облака. Это

позволяет уменьшить количество импортируемых точек путем загрузки каждой n -й точки облака.

5. Следующим шагом необходимо назначить величину прореживания равной 3 (оптимально для машины с 16 ГБ ОЗУ) (рис. 36).

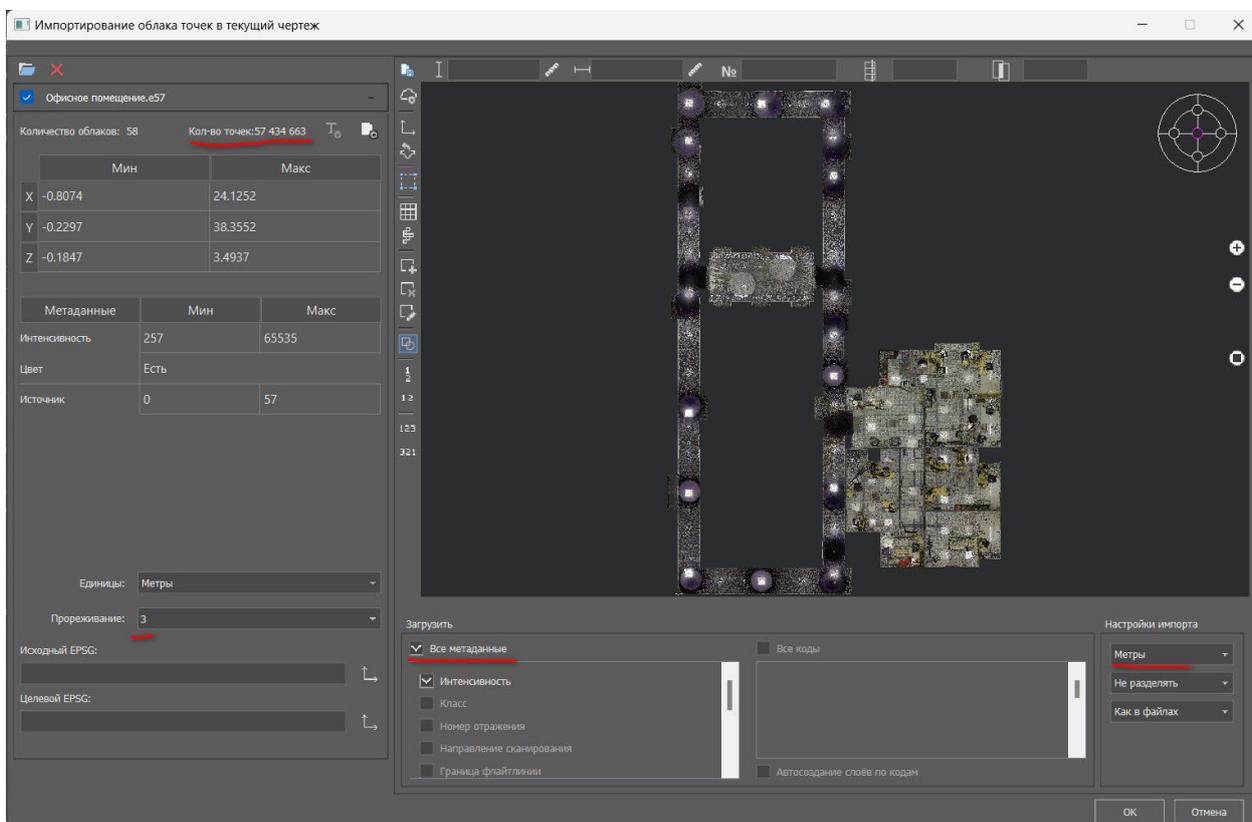


Рис. 36. Назначение величины прореживания

Изначально единицы облака – метры, назначим их в настройках импорта, а также импортируем все метаданные (интенсивность, цвет сканирования, ID источника). Нажимаем на *OK*.

6. После импорта следует сохранить файл. Папка с материалами будет содержать файл *.dwg и файл облака точек *.prc объемом 450 МБ. Объем уменьшился по сравнению с исходным благодаря прореживанию и изменению формата облака (рис. 37).

	Офисное помещение.dwg	16.02.2024 13:01	Чертеж Платфо...	286 КБ
	Офисное помещение.dwl2	16.02.2024 13:01	Файл "DWL2"	1 КБ
	Офисное помещение_1334.npc	16.02.2024 13:01	Файл "NPC"	450 430 КБ

Рис. 37. Сохранение файла в различных расширениях

7. Приступим к этапу обрезки объектов в облаке точек. Для этого сначала вырежем различные бытовые объекты: мебель, технику и все, что не относится к стенам. Первым делом обрежем потолок для удобства работы с интерьером (рис. 38–41).

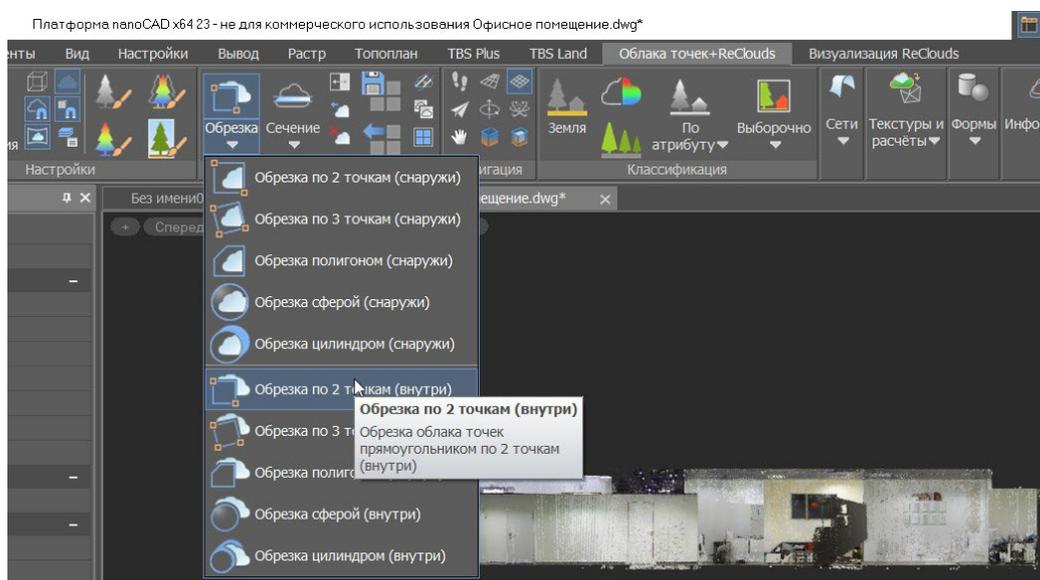


Рис. 38. Выбор варианта обрезки потолка

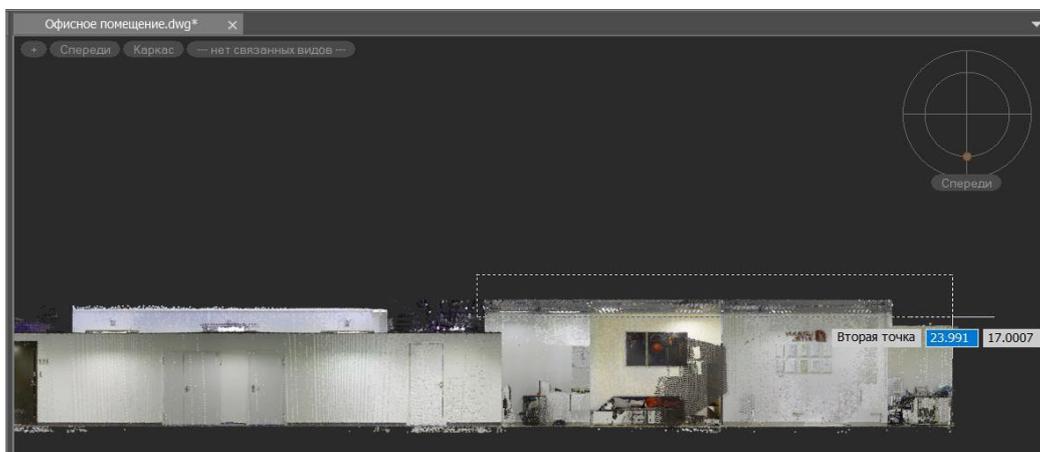


Рис. 39. Процедура обрезки потолка: этап 1

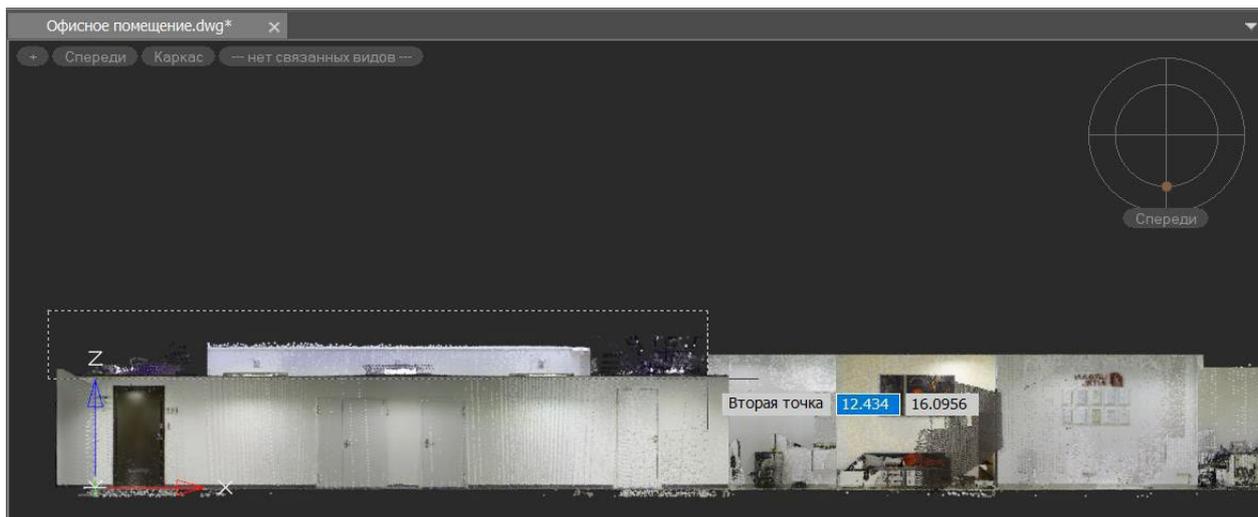


Рис. 40. Процедура обрезки потолка: этап 2

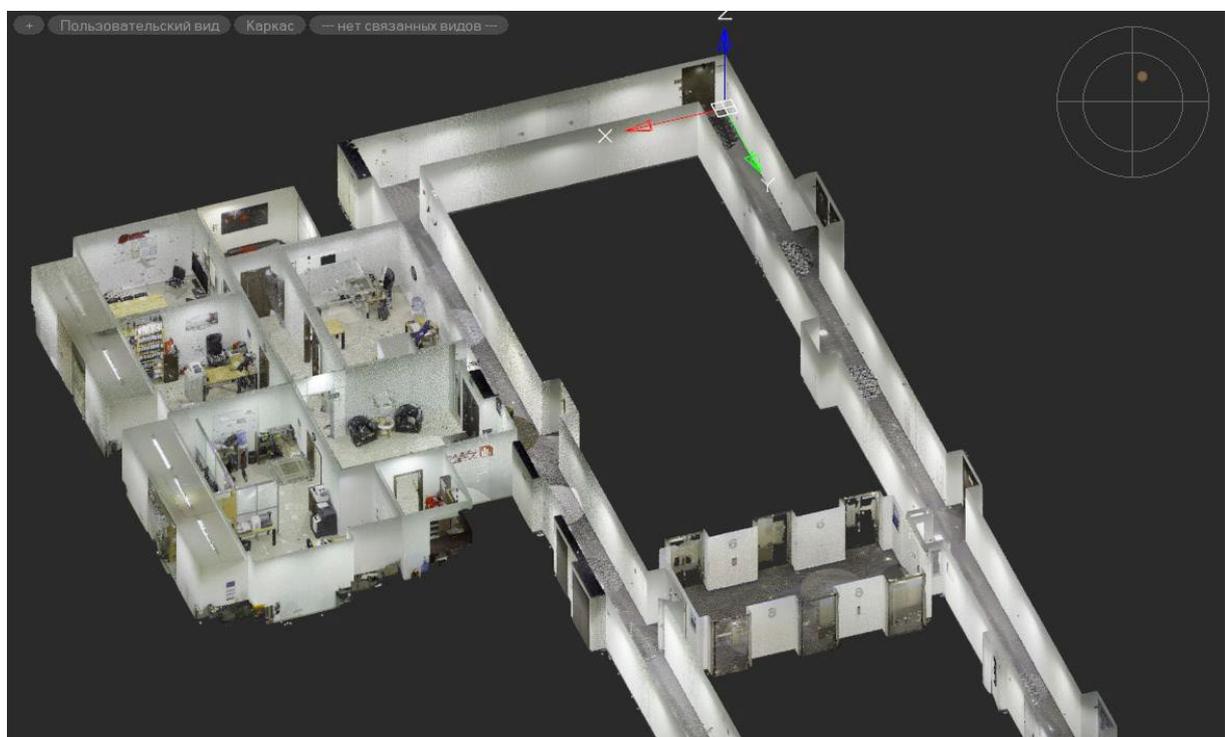


Рис. 41. Результат обрезки потолка

8. Далее перед нами стоит задача очистить облако от лишних точек, которые при создании поэтажного плана могут быть распознаны и извлечены как отрезки/полилинии. В нашем случае это в основном офисная мебель.

Цель создания поэтажного плана – получить контур стен. При созда-

нии поэтажного плана можно будет выставить высоту сечения выше мебели, но из-за высоких предметов и навесных шкафов это будет проблематично. К тому же, как правило, плоскость сечения плана располагают на $1/3$ высоты помещения.

Обрезать будем из вида сверху, с помощью функции *Обрезка по 2 точкам (внутри)* (рис. 42).

Также можно комбинировать с *Обрезкой по полигону (внутри)*.

Обрезая помещение в несколько итераций, получаем результат, показанный на рис. 42.

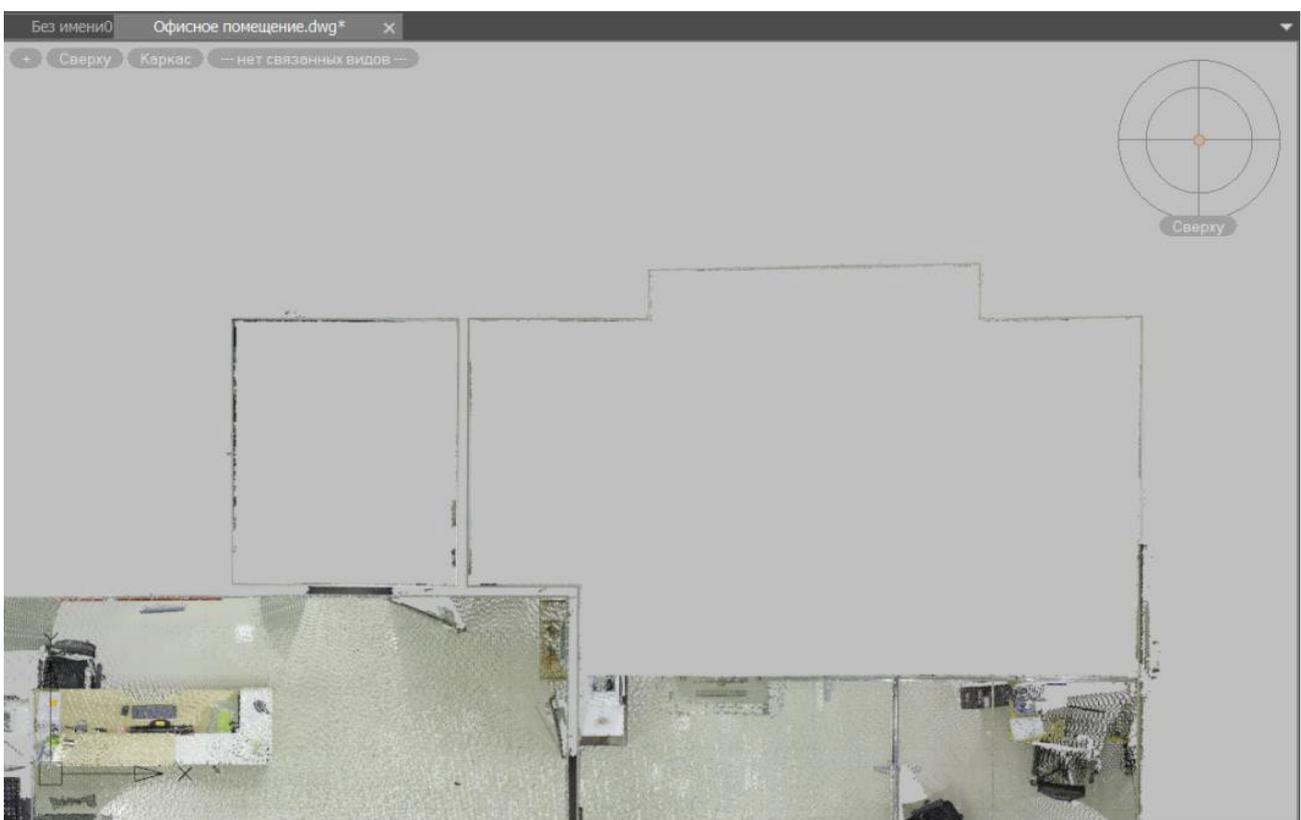


Рис. 42. Результат обрезки помещений

9. Далее выполним обрезку для всех помещений с лишними точками (рис. 43).

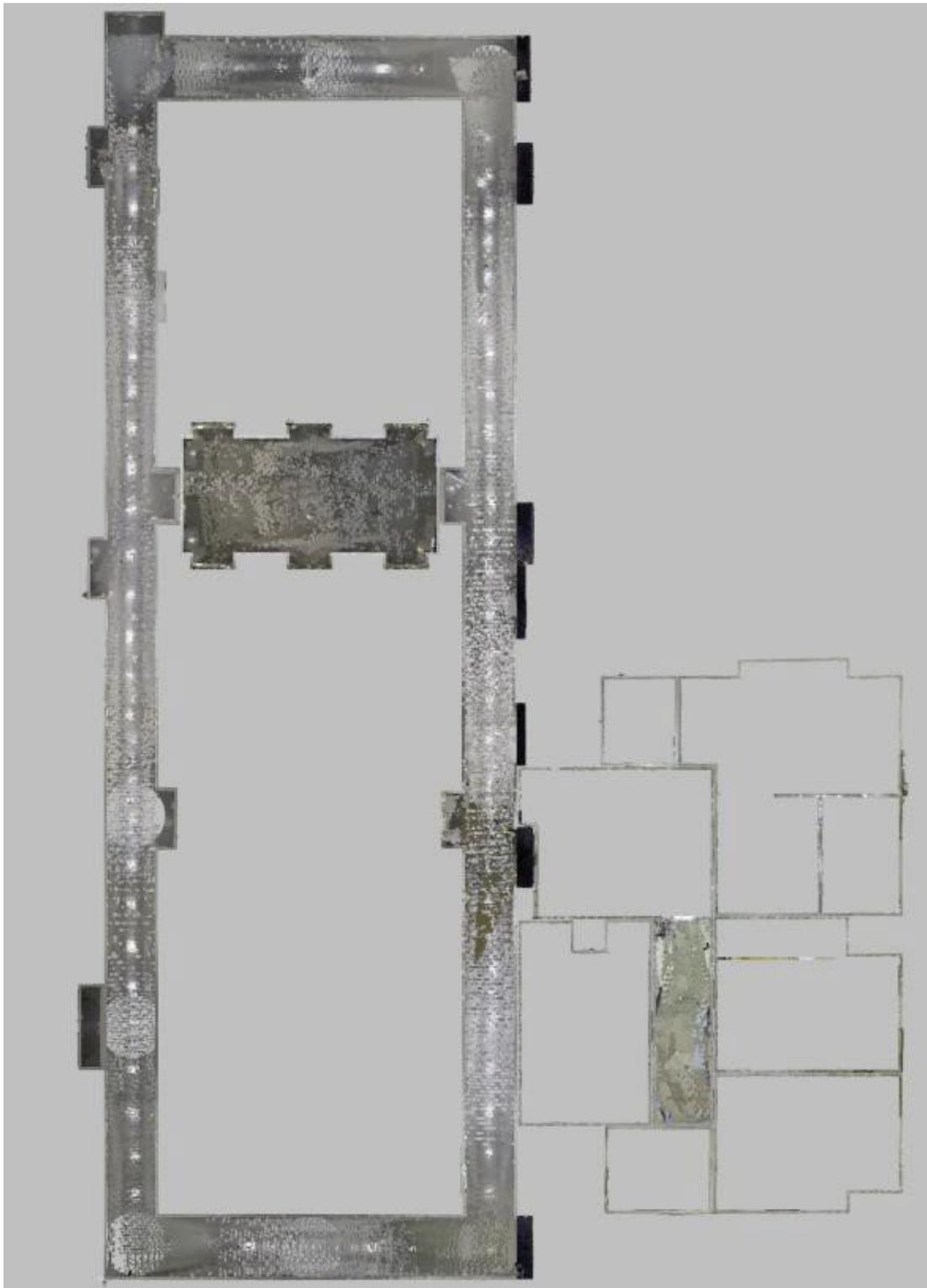


Рис. 43. Результат обрезки помещений с лишними точками

10. Сохраним полученное облако для дальнейшей работы с помощью команды *Сохранить с учетом обрезки* (рис. 44).

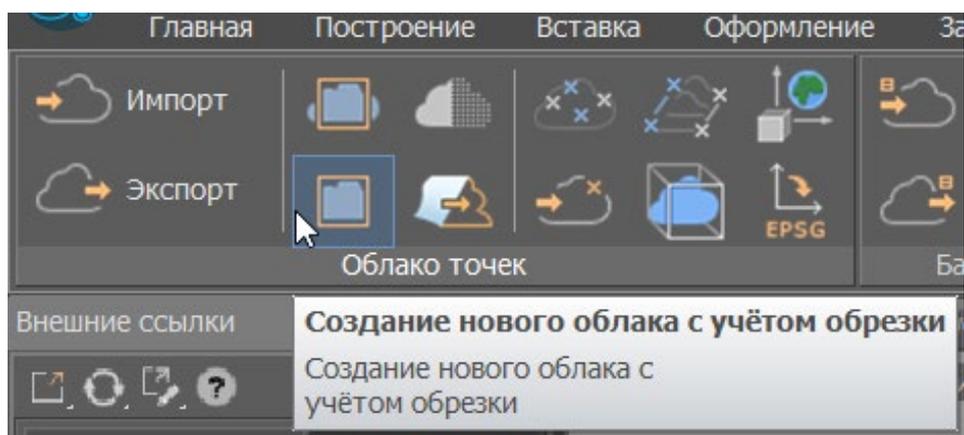


Рис. 44. Сохранение полученного облака

После вызова команды и сохранения файла в папке с чертежом появляется новое облако *Офисное помещение_1354.npc* (порядковый номер может отличаться). В дальнейшем можно будет вернуться к первоначальному варианту, подменив путь к облаку на необходимый (рис. 45).

	Офисное помещение.dwg	21.02.2024 11:46	Чертеж Платфо...	297 КБ
	Офисное помещение.dwg.bak	19.02.2024 18:39	Файл "BAK"	292 КБ
	Офисное помещение.dwg.original	16.02.2024 13:01	Файл "ORIGINAL"	286 КБ
	Офисное помещение.dwl2	21.02.2024 11:46	Файл "DWL2"	1 КБ
	Офисное помещение_1334.npc	16.02.2024 13:01	Файл "NPC"	450 430 КБ
	Офисное помещение_1354.npc	21.02.2024 11:46	Файл "NPC"	241 119 КБ

Рис. 45. Результат сохранения рабочего файла в различных форматах

В результате выполнения всех вышеописанных действий облако точек было полностью настроено для процедуры подготовки поэтажного плана объекта недвижимости.

Вопросы для самоконтроля

1. Каким образом выполняется импорт рабочего файла в формате *.e57 в программном комплексе nanoCAD?
2. Опишите процедуру выполнения обрезки облака точек.
3. Опишите процедуру создания сечения облака точек.

6.4. Лабораторная работа № 4

СОЗДАНИЕ ПОЭТАЖНОГО ПЛАНА ОФИСНОГО ПОМЕЩЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ nanoCAD

Цель работы

Целью работы является рассмотреть технологические особенности создания поэтажного плана объекта капитального строительства – офисного помещения в программном продукте nanoCAD.

Задачи работы

1. Создать сечение на определенной высоте от плоскости XU .
2. Установить определенные параметры модели.
3. Выполнить определенные операции с сегментами модели.

Последовательность выполнения

1. Откроем ранее сохраненный рабочий файл *Офисное помещение.dwg* и перейдем к этапу создания поэтажного плана. Функция *Поэтажный план* расположена на панели *Формы* (рис. 46).

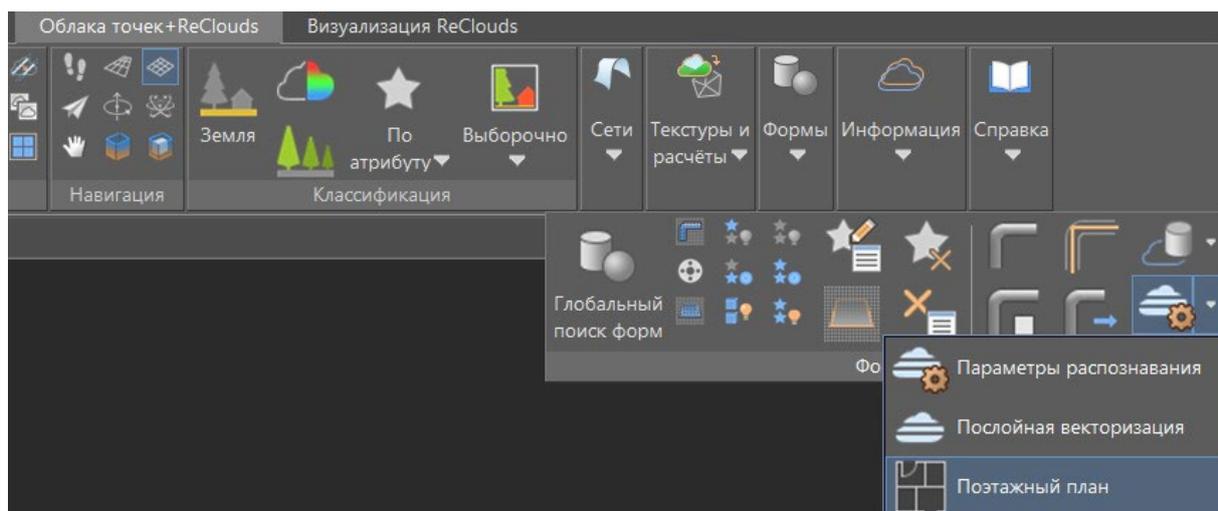


Рис. 46. Работа с функцией *Поэтажный план*

2. Выполнение данной команды позволяет создать сечение на определенной высоте от плоскости XU текущей ПСК. Высота контролируется ползунком (рис. 47).

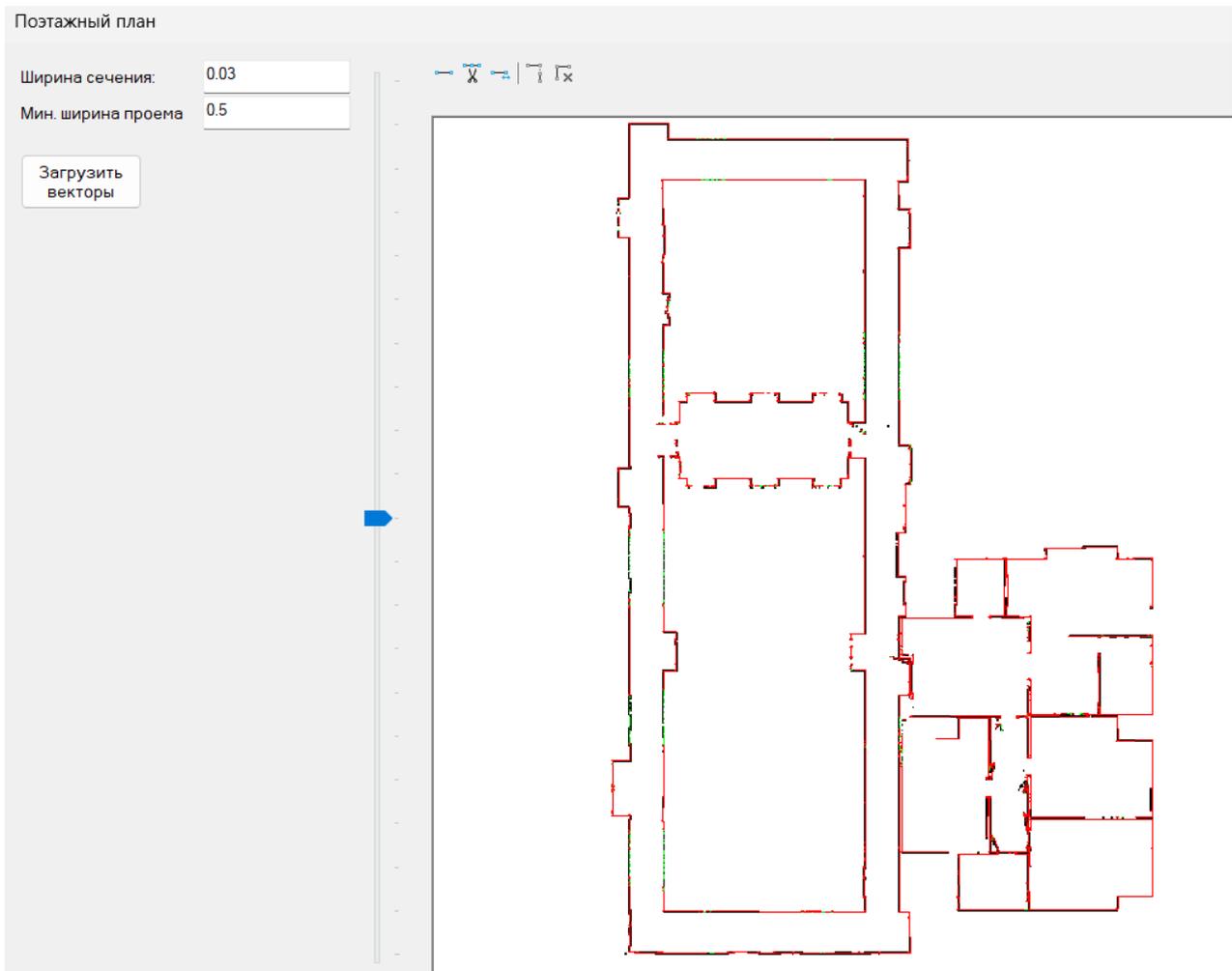


Рис. 47. Процесс контроля высоты поэтажного плана

3. В данном окне также назначается параметр *Ширина сечения*. По умолчанию в рабочем облаке назначены единицы измерения – метры, а высота облака – около 3–4 м. Выставим значение ширины сечения равным 0,08, а ползунок примерно на 1/3 высоты (рис. 48).

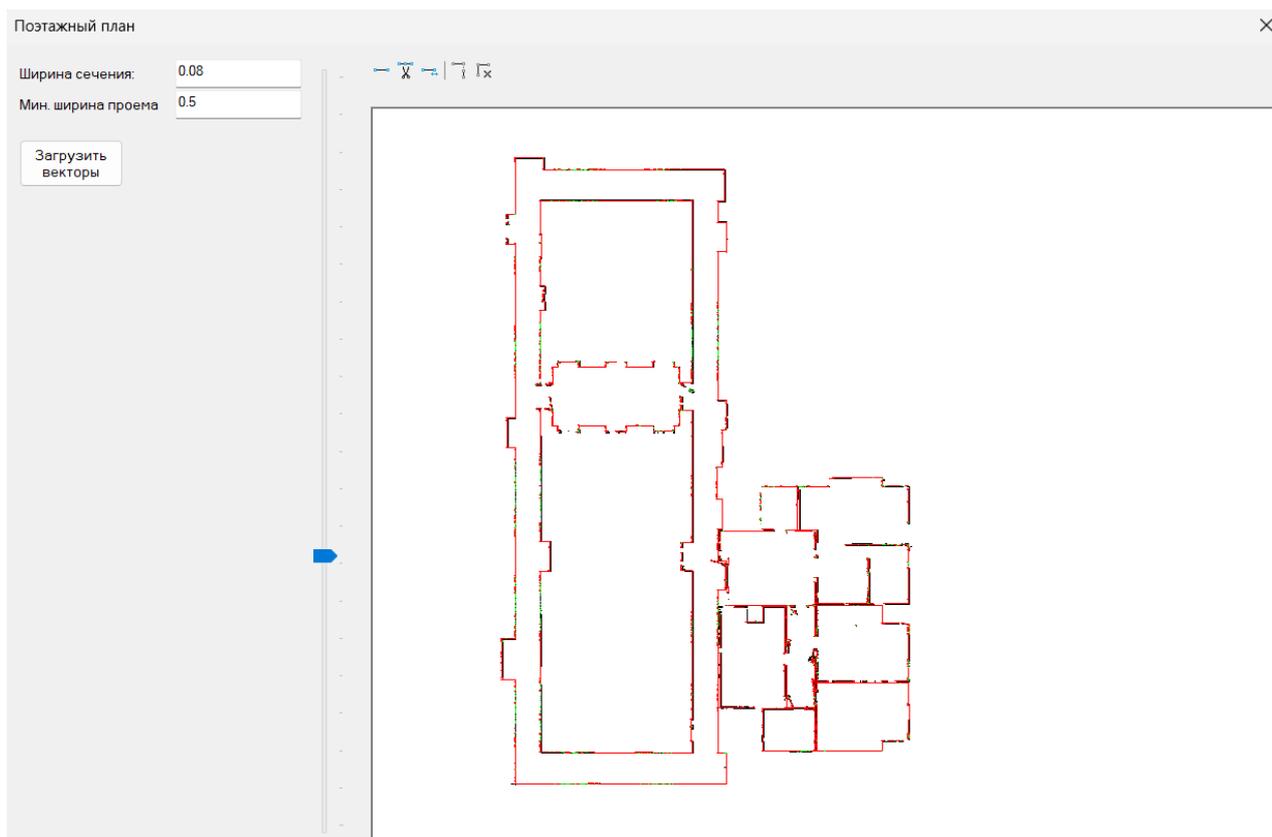


Рис. 48. Назначение параметров *Ширина сечения* и *Высота*

4. Одна из особенностей функции создания поэтажного плана – возможность редактировать создаваемые объекты в окне предпросмотра с помощью инструментов на панели (рис. 49).

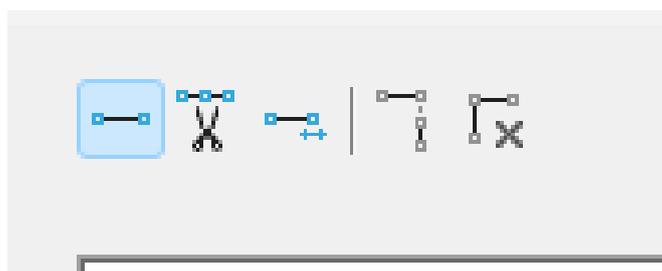


Рис. 49. Панель редактирования создаваемых объектов

5. Рассмотрим более детально один из участков поэтажного плана, представленный на рис. 50.

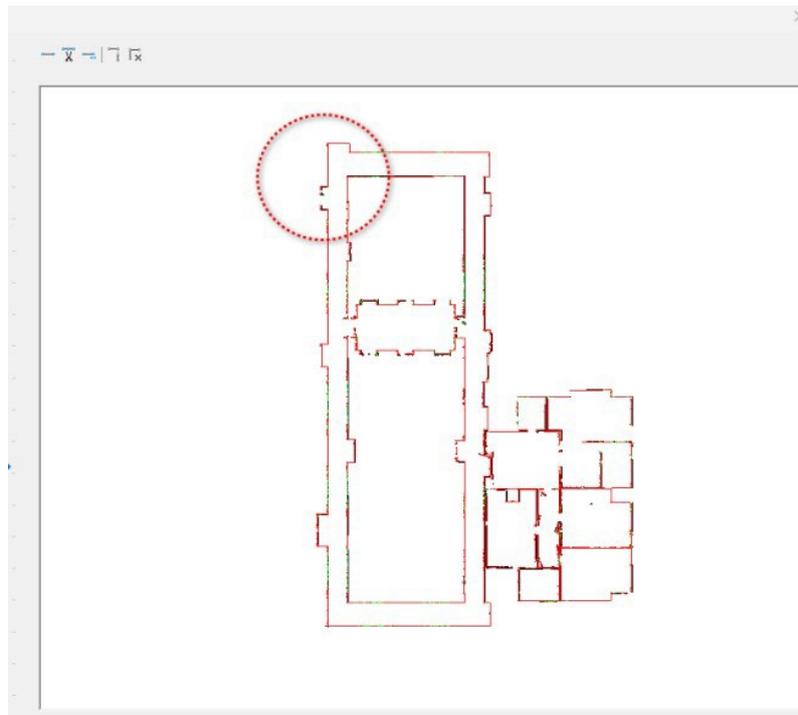


Рис. 50. Рассматриваемый участок поэтажного плана

С помощью команды *Соединить выбранные сегменты* можно объединять линии, исключая разрывы. Процесс выполнения данной команды представлен на рис. 51.

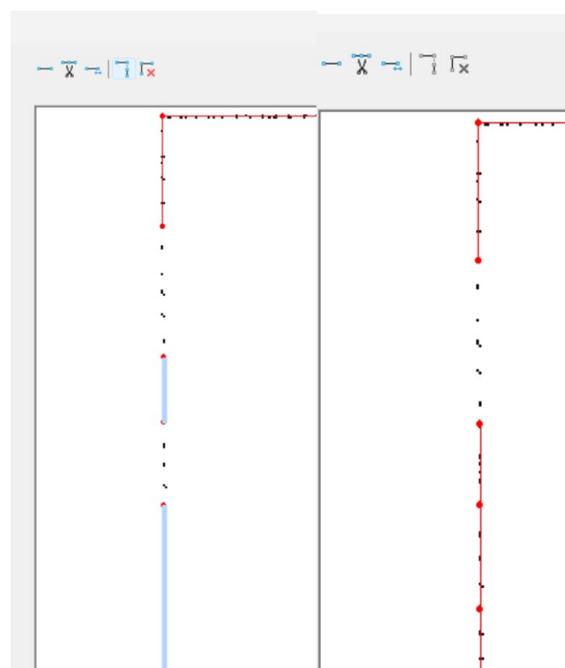


Рис. 51. Процесс объединения линий

Процесс удаления сегментов и их объединения представлен на рис. 52.



Рис. 52. Процесс удаления и объединения сегментов

В результате выполнения всех вышеописанных операций получен следующий промежуточный результат работы (рис. 53).

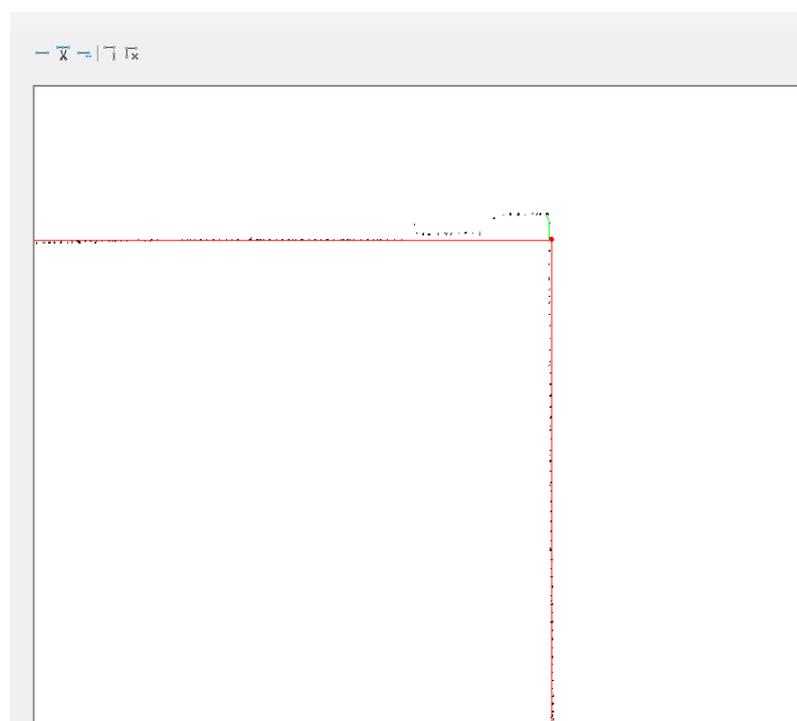


Рис. 53. Промежуточный результат выполнения работы

Далее с помощью команды *Сегмент по двум точкам* добавим новый сегмент в месте, где точек для распознавания не хватило (рис. 54).

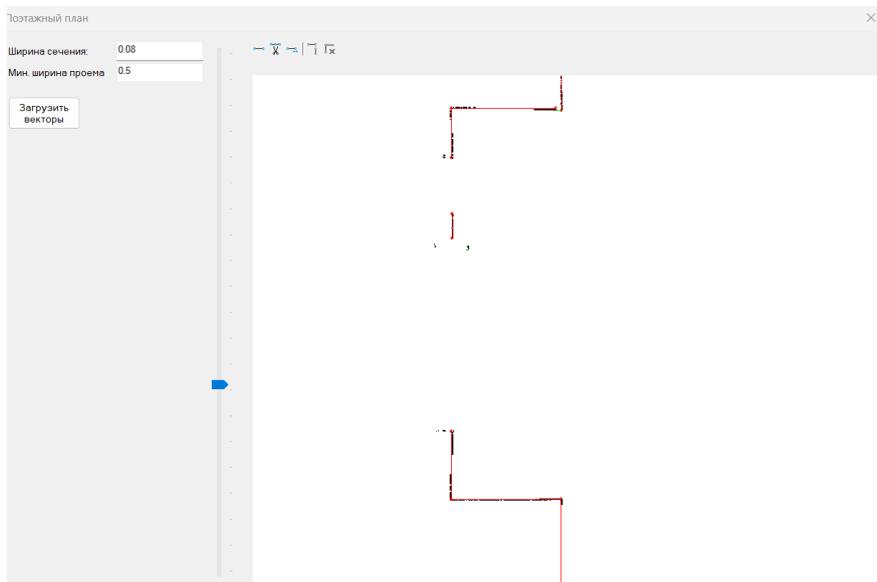


Рис. 54. Процесс добавления нового сегмента

В результате выполнения данной операции получен цельный объект, представленный на рис. 55.

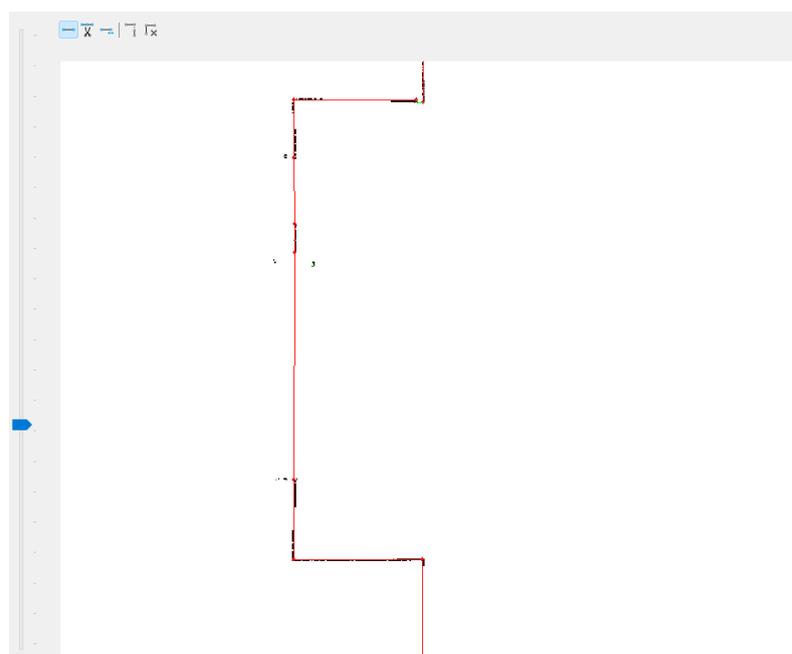


Рис. 55. Результат выполнения процедуры добавления нового сегмента

Для получения полностью отредактированного поэтажного плана помещения все вышеописанные процессы следует выполнить для всего облака точек в рабочем файле.

6. После доработки векторов следует выполнить команду *Загрузить векторы* и закрыть рабочее окно. Затем необходимо скрыть облако точек любым удобным способом. В результате получен следующий результат, представленный на рис. 56.



Рис. 56. Результат формирования поэтажного плана помещения

Благодаря существующему функционалу программного комплекса nanoCAD поэтажные планы многоэтажных зданий можно получать аналогичным образом для каждого этажа посредством изменения положения ползунка и/или с помощью новой ПСК.

Вопросы для самоконтроля

1. Каким образом выполняется создание сечений на установленной высоте в рабочей ПСК?
2. Опишите возможности редактирования сегментов при создании поэтажного плана объекта.
3. Работа с какими объектами возможна в программном комплексе nanoCAD?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебно-методическое пособие «3D-сканирование для целей землеустройства и кадастра» призвано сформировать у обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры целостное представление о современных методах сбора, обработки и анализа пространственных данных с использованием технологий трехмерного лазерного сканирования. В условиях активного внедрения цифровых решений в сферу земельных отношений и кадастрового учета владение подобными компетенциями становится не просто преимуществом, а профессиональной необходимостью.

В ходе изучения материала, представленного в пособии, обучающиеся знакомятся с теоретическими основами лазерного сканирования, типами применяемого оборудования, программным обеспечением для обработки облаков точек, а также с методикой проведения полевых и камеральных работ.

Предложенные в пособии структура учебной дисциплины, методические рекомендации по составлению формы отчетности лабораторных работ направлены на развитие у обучающихся навыков самостоятельной научно-исследовательской работы, критического мышления и умения применять современные технологии в реальных профессиональных ситуациях. Освоение данных компетенций способствует не только повышению качества подготовки будущих специалистов, но и их успешной адаптации на рынке труда, где все большее значение придается цифровой грамотности и владению инновационными инструментами.

Таким образом, настоящее учебно-методическое пособие представляет собой актуальный и востребованный ресурс, способствующий модернизации образовательного процесса и подготовке высококвалифицированных кадров, готовых к работе в условиях цифровой трансформации землеустроительной и кадастровой деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 70173–2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Геодезия и картография. Трехмерные цифровые планы населенных пунктов масштаба 1 : 500. Общие требования [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. ГОСТ Р 70689–2023. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к проведению работ (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 10.08.2023 N 628-ст) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. ГОСТ Р 71863–2024. Национальный стандарт Российской Федерации. Фототопография. Лазерное сканирование. Общие положения (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 09.12.2024 N 1859-ст). [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. ГОСТ Р 72225–2025. Национальный стандарт Российской Федерации. Фототопография. Сканирование лазерное наземное. Технические требования: (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 05.08.2025 № 840-ст.) [Электронный ресурс]. – Введ. 2026–01–01. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

5. ГОСТ Р 72226–2025. Национальный стандарт Российской Федерации. Фототопография. Сканирование лазерное воздушное. Технические требования: (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 05.08.2025 № 841-ст). [Электронный ресурс]. – Введ. 2026–01–01. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. ГОСТ Р 8.794. Государственная система обеспечения единства измерений. Сканеры лазерные наземные. Методика поверки [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. Об обеспечении единства измерений : федер. закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы

«КонсультантПлюс».

8. Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Срок действия документа ограничен 01.01.2027 : Постановление Правительства РФ от 16.11.2020 № 1847 (ред. от 24.09.2024) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

9. Об утверждении перечня находящихся в распоряжении органов государственной власти и органов местного самоуправления сведений, подлежащих представлению с использованием координат [Электронный ресурс] : Распоряжение правительства Российской Федерации от 09.02.2017 № 232-р – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

10. Об утверждении требований к государственным топографическим картам и государственным топографическим планам, включая требования к составу сведений, отображаемых на них, к условным обозначениям указанных сведений, требования к точности государственных топографических карт и государственных топографических планов, к формату их представления в электронной форме, требований к содержанию топографических карт, в том числе рельефных карт : приказ Минэкономразвития России от 06.06.2017 № 271 [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

11. Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места : приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 23 октября 2020 г. № П/0393. [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».

12. ScanIMAGER Professional [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scanimager.net/>.

13. SGSCAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sgscan.ru/>.

14. vektormap.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vektor->

map.ru.

15. XGRIDS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xgrids.ru/>.

16. Навгеоком [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ngcm.ru>.

17. Нанософт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.napocad.ru/>.

18. ПРИН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.prin.ru>.

19. Исследование ручных трехмерных лазерных сканеров / А. В. Комиссаров, А. В. Ремизов, М. М. Шляхова, Х. К. Ямбаев // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 10. – С. 47–54. – DOI 10.22389/0016-7126-2019-952-10-47-54. – EDN WLRBZG.

20. Малыгина О. И. Информационные компьютерные технологии в землеустройстве и кадастре. Современные технологии сбора информации : курс лекций. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 32 с.

21. Малыгина О. И. Информационные компьютерные технологии, применяемые в землеустройстве и кадастре : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – 56 с.

22. Глобальный рынок лазерного сканирования достигнет 10 млрд долл. к 2025 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovzond.ru/press-center/news/corporate/5831/>.

23. Комиссаров А. В., Арцыбашева Е. А. Обзор методов сбора пространственной информации для построения трехмерных моделей объектов // Актуальные вопросы землеустройства, геодезии и природообустройства : материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 15-летию Института землеустройства, кадастров и мелиорации, Улан-Удэ, 23 декабря 2020 года. – Улан-Удэ : Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова, 2020. – С. 286–289. – EDN WHKVRF.

24. Комиссаров А. В. Системное представление лазерного сканирования // Геодезия и картография. – 2015. – № 7. – С. 18–23. – EDN UDLIKH.

25. Наземное лазерное сканирование : монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.

26. Технология наземного лазерного сканирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gfk-leica.ru/tehnologii/lazernoe_skanirovanie/.

27. Алтынцева М. А., Комиссаров А. В., Алтынцев М. А. Автоматизированная сегментация и классификация данных мобильного лазерного сканирования для векторизации контурной части топографического плана городской территории // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 32–43. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-32-43. – EDN AHNKGL.

28. Алтынцев М. А. Методика предварительной обработки данных воздушного лазерного сканирования, полученных с применением беспилотных воздушных судов // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 6. – С. 30–41. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-996-6-30-41. – EDN TSWFYK.

29. Технологии будущего: лазерное сканирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovzond.ru/press-center/articles/gis-mapping/5651/>.

30. Лазерное сканирование зданий, сооружений и объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eftgroup.ru>.

31. Блог Акрополь-Гео: О проектах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://acropol-geo.ru/o-proektax/>.

32. Малыгина О. И. Импортозамещение в цифровой трансформации кадастровой деятельности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов (Новосибирск, 18–20 мая 2022 г.). – Новосибирск : СГУГиТ. – 2022. – Т. 3. – С. 167–170.

33. Малыгина О. И., Попп Е. А., Евсюкова И. Н. Современное состояние внедрения IT-недвижимости в России // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов (Новосибирск, 19–21 мая 2021 г.). – Новосибирск : СГУГиТ. – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 127–132.

34. Малыгина О. И. Трехмерный кадастр – основа развития современного мегаполиса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Кадастр недвижимости и землеустройство» : сб. материалов (Новосибирск, 17–19 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА. – 2012. – Т. 3, № 1. – С. 129–133.

35. Роль муниципального контроля в развитии комфортной городской среды : монография / Нарутто С. В., Ряшин М. П. (отв. ред. С. В. Нарутто) («Норма», «ИНФРА-М», 2024) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://demo.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&base=CMB&n=19173&casheid=69A988A4D84CE4F7BF5DEC3831BCC903&mode=splus&rnd=uHi750VwFvbe5Qpl#OEq850VlnNGLnAmH>.

36. Чернов А. В. Формирование 3D-моделей объектов недвижимости с использованием современного программного обеспечения : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 72 с.

37. Обучение nanoCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nanocad.csoftnw.ru/courses/>.

38. Ожигин Д., Осьмяков А. Nanocad Plus 7: развитие САПР платформы длиною в год // САПР и графика. – 2015. – № 6 (224). – С. 67–71. – EDN VMHJCN.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ

1. Теоретические основы лазерного сканирования: определение, принципы работы, основные понятия и термины.
2. Классификация лазерных сканеров: типы сканеров, их характеристики и области применения в землеустройстве.
3. Технические характеристики лазерных сканеров: основные параметры, влияющие на качество сканирования.
4. Подготовка к полевым работам: планирование, выбор оборудования, рекогносцировка участка.
5. Методика проведения наземной лазерной съемки: этапы работы, особенности выполнения измерений.
6. Обработка результатов сканирования: основные этапы, используемые программные продукты.
7. Создание цифровых моделей местности: методы построения, особенности для различных типов объектов.
8. Классификация точек лазерных отражений: методы и алгоритмы классификации.
9. Фильтрация данных сканирования: виды фильтрации, применяемые методы.
10. Регистрация сканов: методы совмещения, критерии качества регистрации.
11. Создание ортофотопланов: технология построения, применение в землеустройстве.
12. Применение лазерного сканирования в кадастре: особенности использования данных для кадастрового учета.
13. Построение трехмерных моделей объектов: методы моделирования, требования к качеству.
14. Точность измерений при лазерном сканировании: факторы влияния, методы оценки.
15. Нормативно-правовая база: требования к результатам сканирования, стандарты качества.

16. Интеграция данных сканирования: с другими источниками информации, ГИС-системами.
17. Мониторинг объектов: применение лазерного сканирования для наблюдения за изменениями.
18. Решение землеустроительных задач: примеры применения лазерного сканирования.
19. Экономическая эффективность: оценка затрат, сравнение с традиционными методами.
20. Современные тенденции развития: новые технологии, перспективы развития.
21. Безопасность при проведении работ: требования охраны труда, меры предосторожности.
22. Планирование съемочных работ: составление проекта, расчет необходимых ресурсов.
23. Контроль качества работ: методы проверки, критерии оценки.
24. Документация результатов: состав, оформление, хранение данных.
25. Особенности сканирования различных объектов: зданий, сооружений, земельных участков.
26. Использование данных сканирования: для создания кадастровых карт, планов.
27. Автоматизация процессов: современные программные решения, их возможности.
28. Интерпретация результатов: анализ данных, принятие решений.
29. Практическое применение: конкретные примеры использования в землеустройстве.
30. Перспективы развития технологии: новые направления применения, инновационные решения.
31. Анализ кадастровых систем зарубежных стран: кадастр Швеции, Дании, Нидерландов, Китая, Израиля.
32. Сравнительный анализ кадастра РФ и зарубежных стран.
33. Законодательные основы ведения кадастра в Российской Федерации.
34. Предпосылки создания 3D-кадастра в РФ.
35. Использование BIM-технологий на современном этапе развития кадастровых систем ведущих стран.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ

1. Построить трехмерную модель здания на основе проектных данных (по вариантам) в изучаемом программном комплексе, отвечающую современным требованиям законодательства в области учета и регистрации объектов недвижимости.

2. Построить трехмерную модель сооружения на основе проектных данных (по вариантам) в изучаемом программном комплексе, отвечающую современным требованиям законодательства в области учета и регистрации объектов недвижимости.

3. Построить трехмерную модель помещения на основе проектных данных (по вариантам) в изучаемом программном комплексе, отвечающую современным требованиям законодательства в области учета и регистрации объектов недвижимости.

ТЕМЫ ДОКЛАДОВ / РЕФЕРАТОВ

1. Современные технологии 3D-сканирования в землеустройстве: обзор существующих методов и оборудования, их преимущества и недостатки.
2. Применение лазерного сканирования для кадастровых работ: особенности проведения измерений, обработка данных, создание кадастровых планов.
3. Интеграция 3D-моделей в системы кадастра: методы создания и использования трехмерных моделей земельных участков.
4. Автоматизация процессов землеустройства с помощью 3D-сканирования: анализ эффективности внедрения современных технологий.
5. Создание цифровых моделей рельефа на основе данных 3D-сканирования: методики обработки и интерпретации результатов.
6. Использование 3D-сканирования для мониторинга изменений земельных участков: методы выявления и документирования изменений.
7. Точность и достоверность данных при 3D-сканировании в землеустройстве: оценка погрешностей, методы их минимизации.
8. Программное обеспечение для обработки данных 3D-сканирования в кадастре: сравнительный анализ популярных программ.
9. Применение 3D-сканирования для инвентаризации земельных участков: методики проведения работ, особенности обработки данных.
10. Создание трехмерных кадастров на основе данных лазерного сканирования: теоретические основы и практические аспекты.
11. Оптимизация процессов межевания с использованием 3D-сканирования: анализ эффективности внедрения технологии.
12. Использование облачных технологий для хранения и обработки данных 3D-сканирования в кадастре: преимущества и ограничения.
13. Методы классификации объектов при 3D-сканировании земельных участков: алгоритмы обработки данных, практическое применение.
14. Экономическая эффективность внедрения 3D-сканирования в землеустроительные работы: анализ затрат и выгод.
15. Правовые аспекты использования 3D-моделей в кадастровом учете: нормативные требования, стандарты, ограничения.

16. Сравнительный анализ методов 3D-сканирования для целей землеустройства: наземное, воздушное, мобильное сканирование.

17. Создание виртуальных туров по земельным участкам на основе данных 3D-сканирования: технологии и применение.

18. Использование 3D-сканирования для оценки ущерба земельным участкам: методики проведения работ, документирование результатов.

19. Автоматизация процесса создания топографических планов с помощью 3D-сканирования: технологии и программное обеспечение.

20. Инновационные методы обработки данных 3D-сканирования в землеустройстве: современные подходы и перспективы развития.

21. Методы сегментации данных при 3D-сканировании объектов недвижимости: алгоритмы обработки облаков точек, устранение артефактов и теней.

22. Применение 3D-сканирования для инвентаризации подземных сооружений: технологии сканирования подземных парковок, тоннелей и коммуникаций.

23. Создание цифровых двойников земельных участков: методики построения детальных 3D-моделей для целей кадастра и землеустройства.

24. Интеграция данных 3D-сканирования в геоинформационные системы: способы объединения разнородных данных, создание комплексных информационных моделей.

25. Оптимизация параметров сканирования для различных типов объектов: выбор оптимальных настроек в зависимости от характеристик территории.

26. Применение 3D-сканирования для мониторинга деформаций зданий: методики выявления и документирования изменений конструкций.

27. Создание трехмерных моделей объектов культурного наследия: особенности сканирования исторических зданий и памятников.

28. Использование 3D-сканирования при разрешении земельных споров: документальное подтверждение границ и характеристик объектов.

29. Автоматизация классификации объектов при 3D-сканировании: разработка алгоритмов распознавания различных типов построек и сооружений.

30. Создание виртуальных туров на основе данных 3D-сканирования: технологии визуализации земельных участков и объектов недвижимости для кадастрового учета.

ТЕМЫ ГРУППОВЫХ ПРОЕКТОВ

Групповой проект № 1 «Создание 3D-модели СГУГиТ».

Описание проекта: группа обучающихся делится побригадно (4–6 человек). Каждой бригаде преподавателем выдается поэтажный план объекта капитального строительства (Сибирский государственный университет геосистем и технологий) в печатном формате. Каждой бригаде необходимо создать трехмерную модель своего поэтажного плана согласно варианту (пример: 1-й вариант – поэтажный план подвала, 2-й вариант – план 1-го этажа, 3-й вариант – план 2-го этажа и т. д.), после чего объединить полученные 3D-модели в единую трехмерную модель СГУГиТ с использованием изучаемого программного обеспечения.

Групповой проект № 2 «Построение 3D-модели объекта со сложной архитектурой».

Описание проекта: группа обучающихся делится побригадно (2 человека). Каждой бригаде преподавателем выдается технический план объекта капитального строительства со сложной архитектурой в электронном виде (проект планировки загородного дома) по вариантам. В задачу бригады входит создание 3D-модели на основе полученных исходных с использованием изучаемого программного обеспечения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ФОНДА ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

1. Что является основным преимуществом 3D-сканирования в землеустройстве?
 - а) Высокая скорость обработки данных;
 - б) Высокая точность измерений и детализация;
 - в) Простота использования.
2. Какой тип 3D-сканера лучше всего подходит для сканирования больших территорий?
 - а) Ручной сканер;
 - б) Наземный лазерный сканер;
 - в) Портативный сканер.
3. В каком формате обычно сохраняются результаты 3D-сканирования?
 - а) JPEG;
 - б) PLY, LAS, DXF;
 - в) DOC.
4. Что такое облако точек в контексте 3D-сканирования?
 - а) Набор случайных точек на плоскости;
 - б) Множество точек с координатами X , Y , Z ;
 - в) Графическое представление данных.
5. Какова основная цель калибровки 3D-сканера?
 - а) Настройка яркости;
 - б) Обеспечение точности измерений;
 - в) Изменение разрешения.
6. Какой фактор может негативно повлиять на качество 3D-сканирования?
 - а) Яркое солнечное освещение;
 - б) Размер объекта;
 - в) Форма объекта.
7. Что такое регистрация в процессе 3D-сканирования?
 - а) Процесс настройки сканера;
 - б) Объединение нескольких сканов в единое целое;

в) Сохранение данных.

8. Какой метод используется для определения координат точек при 3D-сканировании?

а) Визуальный метод;

б) Триангуляция, или времяпролетный метод;

в) Метод проб и ошибок.

9. Для чего используется текстурная карта при 3D-сканировании?

а) Для улучшения точности измерений;

б) Для придания реалистичности модели;

в) Для уменьшения размера файла.

10. Какой параметр определяет качество 3D-сканирования?

а) Размер экрана;

б) Разрешение сканера;

в) Вес устройства.

11. Что такое точность 3D-сканера?

а) Скорость работы;

б) Погрешность измерений;

в) Диапазон сканирования.

12. Какой программный продукт чаще всего используется для обработки данных 3D-сканирования?

а) Microsoft Word;

б) AutoCAD, CloudCompare, Agisoft Metashape;

в) Adobe Photoshop.

13. Что такое перекрытие при 3D-сканировании?

а) Наложение сканов друг на друга;

б) Область, сканированная дважды для повышения точности;

в) Ошибка сканирования.

14. Какой фактор влияет на время сканирования?

а) Цвет объекта;

б) Размер и сложность объекта;

в) Температура воздуха.

15. Что такое геотегирование в контексте 3D-сканирования?

а) Процесс сканирования;

- б) Привязка координат к местности;
 - в) Обработка данных.
16. Какой тип данных создается при 3D-сканировании?
- а) Текстовые данные;
 - б) Пространственные данные с координатами;
 - в) Аудиоданные.
17. Что такое плотность точек в 3D-сканировании?
- а) Количество сканеров;
 - б) Количество точек на единицу площади;
 - в) Размер файла.
18. Какой метод используется для проверки качества 3D-модели?
- а) Визуальный осмотр;
 - б) Сравнение с исходными данными;
 - в) Опрос пользователей.
19. Что такое классификация точек в 3D-сканировании?
- а) Сортировка по цвету;
 - б) Разделение точек по типам поверхности;
 - в) Группировка по размеру.
20. Какой параметр определяет дальность сканирования?
- а) Размер объектива;
 - б) Технические характеристики сканера;
 - в) Время работы.
21. Что такое постобработка в 3D-сканировании?
- а) Подготовка к сканированию;
 - б) Обработка данных после сканирования;
 - в) Калибровка сканера.
22. Какой фактор влияет на стоимость 3D-сканирования?
- а) Время года;
 - б) Сложность объекта и размер территории;
 - в) Погода.
23. Что такое референсные точки при 3D-сканировании?
- а) Случайные точки на поверхности;
 - б) Точки с известными координатами для привязки;

в) Точки максимальной яркости.

24. Какой метод используется для создания цифровой модели местности?

- а) Только наземное сканирование;
- б) Комбинация наземного и воздушного сканирования;
- в) Только воздушное сканирование.

25. Что такое точность позиционирования сканера?

- а) Скорость перемещения сканера;
- б) Погрешность определения местоположения сканера;
- в) Диапазон работы сканера.

26. Какой фактор влияет на выбор типа 3D-сканера?

- а) Личные предпочтения оператора;
- б) Размер территории и требуемая точность;
- в) Цвет объекта сканирования.

27. Что такое фильтрация точек в процессе обработки?

- а) Удаление всех точек;
- б) Удаление шумов и некорректных данных;
- в) Изменение цвета точек.

28. Какой программный модуль используется для создания ортофото-планов?

- а) Текстовый редактор;
- б) Фотограмметрический процессор;
- в) Графический редактор.

29. Что такое координатная привязка в 3D-сканировании?

- а) Настройка параметров сканера;
- б) Приведение данных к единой системе координат;
- в) Сохранение данных.

30. Какой параметр определяет качество текстурирования модели?

- а) Размер сканера;
- б) Разрешение текстурной карты;
- в) Время сканирования.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Определение площади земельного участка по данным 3D-сканирования

Условие: при проведении 3D-сканирования земельного участка получено облако точек с координатами. Требуется определить площадь участка и составить технический план.

Исходные данные:

- количество точек облака: 5 000;
- точность сканирования: ± 3 см;
- форма участка: прямоугольная;
- координаты угловых точек (м):
 - а) точка 1: $X = 100,00$, $Y = 200,00$;
 - б) точка 2: $X = 150,00$, $Y = 200,00$;
 - в) точка 3: $X = 150,00$, $Y = 250,00$;
 - г) точка 4: $X = 100,00$, $Y = 250,00$.

Решение.

1. Определяем длины сторон участка:

$$\text{сторона АВ} = \sqrt{((150 - 100)^2 + (200 - 200)^2)} = 50 \text{ м};$$

$$\text{сторона ВС} = \sqrt{((150 - 150)^2 + (250 - 200)^2)} = 50 \text{ м}.$$

2. Вычисляем площадь:

$$S = \text{АВ} \times \text{ВС} = 50 \times 50 = 2\,500 \text{ м}^2.$$

3. Проверяем точность:

$$\text{погрешность площади} = 2 \times 50 \times 0,03 = \pm 3 \text{ м}^2.$$

Ответ: площадь участка составляет $2\,500 \pm 3 \text{ м}^2$.

Задача 2. Расчет объема земляных работ по данным 3D-сканирования

Условие: необходимо определить объем земляных работ для выравнивания территории под строительство.

Исходные данные:

- проектный уровень: 120,50 м;
- данные сканирования (точки с отметками):
 - а) точка 1: $H = 120,20$ м;

- б) точка 2: $H = 120,40$ м;
в) точка 3: $H = 120,60$ м;
г) точка 4: $H = 120,30$ м;
– площадь участка: $1\,000\text{ м}^2$.

Решение:

1. Вычисляем средние отметки.

Средняя отметка $(120,20 + 120,40 + 120,60 + 120,30) / 4 = 120,375$ м.

2. Определяем рабочие отметки.

$h = 120,50 - 120,375 = +0,125$ м.

3. Рассчитываем объем:

$V = S \times h = 1\,000 \times 0,125 = 125\text{ м}^3$.

Ответ: объем земляных работ составляет 125 м^3 .

Задача 3. Определение границ земельного участка по данным 3D-сканирования

Условие: требуется определить координаты характерных точек границы земельного участка по данным 3D-сканирования.

Исходные данные:

– данные сканирования содержат $2\,000$ точек;

– известны координаты двух опорных точек:

а) точка А: $X = 500,00$, $Y = 600,00$;

б) точка В: $X = 550,00$, $Y = 650,00$;

– требуется определить координаты точки С.

Решение.

1. Определяем направление границы:

угол между точками А и В $= 45^\circ$.

2. Находим точку С:

Используем метод интерполяции по облаку точек.

Координаты точки С.

$X = 525,00$ м;

$Y = 625,00$ м.

3. Проверяем точность.

Расхождение с соседними точками ≤ 5 см.

Ответ: координаты точки С: $X = 525,00$ м, $Y = 625,00$ м.

СЛОВАРЬ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ТЕРМИНОВ

3D-сканирование – процесс получения пространственных данных об объекте путем измерения расстояний до его точек с помощью специального оборудования.

Акселерометр – прибор для измерения ускорения, используемый в мобильных сканерах для определения положения устройства.

Азимут – горизонтальный угол между направлением на север и направлением на объект, измеряемый по часовой стрелке.

Базис сканирования – расстояние между точками установки сканера при выполнении съемки.

Векторизация – процесс преобразования растровых изображений в векторные форматы.

Визуализация – представление пространственных данных в графической форме.

Геодезическая привязка – определение координат и высот точек сканирования в единой системе координат.

Геоинформационная система (ГИС) – система для сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных.

Грань – плоская поверхность, ограниченная линиями, являющаяся частью полигональной модели.

Датчик наклона – устройство для измерения углов наклона сканера относительно горизонта.

Дискретизация – процесс преобразования непрерывных данных в дискретные значения.

Инсоляция – облучение поверхности солнечными лучами, учитываемое при сканировании.

Калибровка – настройка параметров сканера для обеспечения точности измерений.

Классификация точек – разделение точек облака по определенным признакам (земля, здания, растительность).

Координаты – числовые значения, определяющие положение точки в пространстве.

Лазерный сканер – устройство для измерения расстояний до объектов с помощью лазерного излучения.

Масштабирование – изменение размеров модели при сохранении пропорций.

Облако точек – множество точек с координатами X , Y , Z , полученных в результате сканирования.

Ортофотоплан – фотографический план местности с исправленными искажениями.

Ось сканирования – направление, вдоль которого производится измерение расстояний.

Пиксель – минимальный элемент растрового изображения.

Полигон – минимальная поверхность в трехмерной модели, ограниченная линиями.

Погрешность – отклонение измеренного значения от истинного.

Преобразование координат – математическая операция по переходу от одной системы координат к другой.

Проекция – способ отображения трехмерного пространства на плоскость.

Растр – матрица пикселей, представляющая изображение.

Регистрация – процесс совмещения нескольких сканов в единую модель.

Сканирование – процесс получения пространственных данных об объекте.

Текстура – изображение, накладываемое на поверхность трехмерной модели.

Точность измерений – характеристика, определяющая степень приближения результатов измерений к истинному значению.

Узел – точка в трехмерной модели, имеющая определенные координаты.

Фаза сканирования – определенный этап процесса получения пространственных данных.

Экспозиция – параметр, определяющий количество света при съемке.

Элевация – вертикальный угол между горизонтальной плоскостью и направлением на точку.

Эскиз – упрощенное графическое представление объекта.

Эффективное разрешение – реальная разрешающая способность сканера в конкретных условиях съемки.

Учебное издание

Малыгина Олеся Игоревна
Гоголев Дмитрий Владимирович
Норкин Владимир Игоревич

3-D СКАНИРОВАНИЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРА

Редактор *О. В. Георгиевская*
Компьютерная верстка *Я. А. Лесных*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 30.12.2025. Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. 4,88. Тираж 105 экз. Заказ 195.
Гигиеническое заключение
№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02 от 10.12.2002.
Издательско-полиграфический центр СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.
Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8