

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ

На правах рукописи



Чуприн Максим Сергеевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
И МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КАДАСТРОВОГО УЧЕТА**

Специальность 1.6.15 – Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Григорьев Сергей Александрович

Москва – 2026

Оглавление

Введение.....	4
1 Определение пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета	8
1.1 Связь технологий информационного моделирования и кадастра	8
1.2 Пространственные характеристики и классификация объектов.....	19
1.3 Анализ методов сбора пространственных данных для целей методики.....	23
1.4 Проблемы кадастрового учета ОКС.....	34
1.5 Выводы по разделу 1.....	47
2 Разработка методики определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета	49
2.1 Определение координат характерных точек контура	49
2.2 Установление локальной системы координат и оценка точности при создании поэтажного плана.....	57
2.3 Применение переносного лазерного сканирования для обмеров помещений и моделирования	69
2.4 Оценка точности измерения расстояний и вычисления площадей при создании поэтажного плана.....	74
2.5 Формулирование методики.....	79
2.6 Выводы по разделу 2.....	83
3 Применение методики определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета	85
3.1 Отчеты об апробации.....	85
3.2 Оценка точности результатов	96
3.3 Особенности векторизации облаков ТЛО	104

3.4 Выводы по разделу 3.....	122
Заключение.....	124
Список сокращений и условных обозначений.....	126
Список литературы	127
Список иллюстративного материала	141
Приложение А Доклады автора по теме диссертации на конференциях	145
Приложение Б Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	147
Приложение В Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	148
Приложение Г Список работ, опубликованных автором по теме диссертации	149
Приложение Д Пример создания планировочного каркаса в Planner. 152	
Приложение Е Общая блок-схема методики определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета	162
Приложение Ж Оценка точности по разностям двойных линейных измерений.....	163
Приложение И Условные обозначения	168
Приложение К Алгоритм AreaErrorPlugin (команда AREERR).....	169

Введение

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена переходом к проектированию с использованием технологий информационного моделирования и необходимостью создавать цифровую информационную модель объекта капитального строительства на разных стадиях его жизненного цикла. Вместе с тем текущие требования к кадастровой деятельности предусматривают включение в Единый государственный реестр недвижимости (далее – ЕГРН) графического описания местоположения помещений в виде растровых поэтажных планов, из чего следует необходимость разработки научно-практической задачи генерализации и адаптации цифровой информационной модели здания для целей кадастрового учета. При этом текущее использование в ЕГРН растровых поэтажных планов предусмотрено нормативными требованиями, что усложняет вычисление площадей и не позволяет без дополнительной обработки использовать учтенные данные. В стремлении к идеальному виду происходит игнорирование фактической неортогональности стен, что понижает достоверность сведений и не отражает фактическое состояние помещений, а следовательно, и площадей. Стоит отметить, что нормативно предусматривается и трехмерное описание объектов капитального строительства, которое, однако, не получило широкого распространения на практике.

Степень разработанности темы исследования

Актуальным проблемам трехмерного представления объектов недвижимости посвящены работы Е.И. Аврунева, Д.В. Лисицкого, А.И. Гиниятова, М. Я. Брынь, И.А. Басовой, Н. Д. Яковлевой, С. С. Бачуриной, Peter J.M. Van Oosterom. Однако во всех работах не уделено должного внимания вопросам векторизации облаков точек лазерных отражений, используемых для целей моделирования.

Большой вклад в изучение и развитие изучения кадастровых систем, геодезического и фотограмметрического обеспечения кадастровой деятельности внесли С.А. Атаманов, С.А. Григорьев, В.В. Голубев, А.П. Михайлов, А.Г. Чибуничев, В.В. Ознамец. Тем не менее остаются открытыми вопросы разработки алгоритмов учета в ЕГРН пространственной информации в векторном виде.

Цель диссертационной работы

Разработка методики определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета.

Задачи исследования:

- разработка классификации объектов кадастровых работ для обоснования выбора метода сбора и обработки пространственных данных, исследование и анализ методов измерений;
- обработка пространственных данных и создание векторной модели объекта капитального строительства;
- вычисление площадей и оценка точности результатов моделирования, апробация полученных результатов.

Объект исследования – методика сбора, документирования, математической обработки, хранения пространственных характеристик и связанных с этим особенностей информационного моделирования объектов капитального строительства для целей повышения достоверности сведений ЕГРН, а **предметом исследования** является совокупность пространственных характеристик объектов капитального строительства и процесс информационного моделирования объектов капитального строительства в кадастре недвижимости.

Новизна научных результатов проведенных исследований:

- впервые установлена зависимость между СКП планового положения точки в облаке ТЛО и СКП измерения расстояний в облаке ТЛО;
- впервые применен метод наименьших квадратов (параметрический способ уравнивания) для установления локальной системы координат при формировании поэтажного плана и определения пространственных характеристик, оценки точности измерения расстояний и вычисления площадей;
- впервые формализован и апробирован алгоритм векторизации облака ТЛО для целей применения результатов ПЛС в кадастровой деятельности в отношении помещений.

Теоретическая значимость:

- подведено теоретическое обоснование возможностей применения технологии ПЛС для кадастровой деятельности в отношении ОКС;
- методика позволит использовать данные информационной модели здания как источник данных об объектах кадастрового учета, устранит несоответствие фактических данных технического учета и сведений ЕГРН;
- установление локальной системы координат ОКС позволит алгоритмизировать процесс создания поэтажного плана и использовать координатную формулу определения площадей ОКС и помещений, что повысит технологичность кадастровых работ и объективность отражения пространственных характеристик в ЕГРН.

Практическая значимость:

- исследованы и приведены примеры особенностей векторизации элементов ОКС в облаке ТЛО для целей кадастрового учета;
- основные положения работы могут быть положены в основу методических указаний при проведении кадастровых работ с использованием ПЛС;
- на основе формулы профессора Маслова разработан автоматизированный алгоритм для оценки точности вычисления площадей помещений по координатам характерных точек их контуров.

Методы исследования

Включают общенаучные методы, такие как анализ и синтез, методы ТМОГИ. Экспериментальные методы: анализ производственных данных, самостоятельные натурные исследования и полевые измерения.

Основные положения и результаты диссертации, выносимые на защиту:

1. Установление локальной системы координат объекта капитального строительства при создании поэтажного плана повысит технологичность (степень автоматизации) кадастрового процесса.

2. Использование локальной системы координат объекта капитального строительства позволяет автоматизировать процесс вычисления площадей и выполнить оценку точности.

3. Создание поэтажного плана стен в локальной системе координат с ортогонализацией по материалам ПЛС на основе технологии SLAM отвечает требованиям кадастра.

Тема диссертации соответствует пунктам научной специальности 1.6.15 «Землеустройство, кадастр и мониторинг земель»: п. 7 Принципы сбора, документирования, накопления, обработки и хранения сведений об объектах недвижимости. Разработка единой методики по ведению комплексного кадастра и п. 34 Разработка теории и методов создания геоинформационных систем и технологий обработки баз данных о состоянии земельных и природных ресурсов, кадастра недвижимости.

Степень достоверности и апробация полученных результатов исследования. Достоверность полученных результатов исследований подтверждена данными, полученными в ходе выполнения кадастровых работ и анализа производственной деятельности на объектах общей площадью более 250 тыс. кв. м.

Обоснованность и достоверность результатов исследования также подтверждается обсуждением диссертационной работы на научных семинарах кафедры Землеустройства и кадастров МИИГАиК, докладами на конференциях (Приложение А), научными публикациями по материалам исследования, практическим внедрением в реальное производство.

Основные положения работы и полученные результаты докладывались и обсуждались на 6 международных и 2 всероссийских научных конференциях.

Публикации по теме диссертации

По результатам диссертационного исследования разработаны две программы для ЭВМ (Приложение Б, В), опубликовано 13 научных статей, в том числе 1 научная работа в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК России (Приложение Г).

1 Определение пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета

1.1 Связь технологий информационного моделирования и кадастра

Специалисты в сфере недвижимости часто сталкиваются с различными проблемами, которые берут свое начало в разрозненной системе документации о недвижимости. Усугубляется это частыми несоответствиями проектных и фактических параметров зданий. Особенно ярко данные коллизии проявляются на строительной площадке в момент выявления недочетов или ошибок в проектной документации. Эти явления могут приводить к высоким дополнительным затратам на стадии возведения и на стадии эксплуатации объектов капитального строительства. Примерами таких издержек могут быть: перерасход материалов, нарушение сроков и как следствие сбой финансирования.

К сожалению, в области строительства сегодня не существует отлаженной системы для снижения подобных рисков, что приводит к значительной вероятности отличий объекта завершеного строительства от проектной документации. Именно поэтому технологии информационного моделирования в процессах проектирования, строительного производства и эксплуатации получают все большее распространение и применяются не только для уникальных, но и для типовых проектов. Сами по себе технологии информационного моделирования зданий (далее – ТИМ) подразумевает переход проектировщиков, строителей и управляющих компаний на новую технологию работы. Возможности внедрения ТИМ в процессы проектирования рассматривали как далекую перспективу еще на заре внедрения персональных компьютеров. Но технологические возможности программного и аппаратного обеспечения позволяли использовать возможности систем автоматизированного проектирования (далее – САПР) как своего рода электронной доски (кульмана), что конечно упрощало сам процесс черчения. С использованием САПР отпала необходимость в трудоемком процессе ручного черчения, а главное, в разы

увеличилась производительность, особенно в части внесения изменений в документацию. Однако даже возможности САПР не позволяли наполнять проект семантической информацией об отдельных узлах и элементах. Внесение изменений и подготовка дополнительных разрезов или видов занимали значительное количество времени. ТИМ сохранила все преимущества старой технологии и значительно расширила возможности проектировщиков на современном этапе.

Сравнивая возможности процессов проектирования САПР и ТИМ, можно отметить следующее: нужно сравнивать не конкретные программные продукты, а в целом технологии. Так, при технологии проектирования с исключительным использованием САПР модель (чертеж) не связаны с семантической информацией, например, материал изделия и другие его параметры, влияющие на дальнейшую эксплуатацию. Тогда как при создании графических разделов проекта изображения состоят из графических примитивов, которые не несут прочих данных, кроме геометрии. В случае проектирования по ТИМ создается сложная информационная модель с пространственным и семантическим описанием составных частей, которая используется на всех стадиях жизненного цикла объекта, включая всю информацию о нем на разные моменты времени, что дает исходные данные для принятия взвешенных управленческих решений. Подводя итог, можно сказать, что ТИМ, в отличие от САПР, дает возможность оперировать объектами, которые подробно описаны, включая правила взаимодействия друг с другом, например, требования по размещению оконных и дверных проемах в несущих стенах, а главное предназначение САПР – автоматизация процесса черчения как такового.

Таким образом, можно выделить следующие цели, преследуемые путем внедрения ТИМ.

1. Повысить эффективность поиска коллизий, в том числе между архитектурными и конструктивными разделами проектной документации.
2. Автоматизировать процессы, уменьшить количество занятых сотрудников без потери качества проектирования.
3. Оперативно создавать, уточнять и корректировать рабочую документацию прямо на стройплощадке.

4. После завершения строительства иметь источник информации об объекте для принятия своевременных и эффективных управленческих решений. Причем для решения последней цели необходимо наличие в модели информации как о технических решениях, принятых в проекте, так и о объемно-планировочных (пространственных), необходимых для эффективного использования площадей.

В рамках строительства взаимодействует большое количество субъектов, для каждого из которых приоритет целей применения ТИМ будет разным. Так, для банков и инвесторов важнейшими преимуществами применения ТИМ могут стать возможность детально обосновывать финансовые затраты на строительство, т.к. проектно-сметная документация создается с высоким уровнем детализации и визуализации. Застройщики имеют возможность оптимизировать процессы, тем самым экономить рабочее время сотрудников и уменьшать затраты на материалы. Но в итоге при внедрении ТИМ выигрывают все за счет оптимизации и цифровизации производственных процессов.

При оформлении документации в отношении объекта капитального строительства на любом этапе его жизненного цикла используются пространственные данные. 12.11.2021 утвержден План мероприятий («дорожная карта») [0], предусматривающий разработку функционала систем Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (далее – Росреестр), используемых для кадастрового учета, землеустройства, мониторинга, для обеспечения формирования и ведения информационных моделей. С этого момента стало очевидным, что в перспективе следует ожидать более глубокой связи между Государственной информационной системой обеспечения градостроительной деятельности (далее – ГИСОГД) и Единым государственным реестром недвижимости (далее – ЕГРН), так как оба ресурса содержат или должны содержать пространственные данные в отношении объектов недвижимости [0, 3]. Кроме того, сама концепция применения ТИМ предусматривает наличие эксплуатационной модели объекта [4, 5, 6]. В какой-то мере в ЕГРН в отношении объекта капитального строительства должны содержаться аналогичные сведения, что дает теоретическую возможность определять

пространственные характеристики по единым требованиям. Место кадастровых работ при использовании ТИМ указано на Рисунке 1.

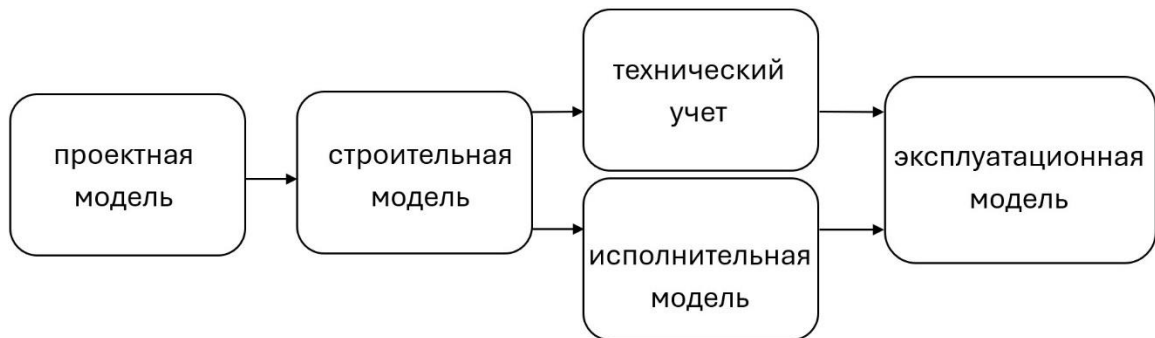


Рисунок 1 – Место кадастровых работ при использовании ТИМ

Речь в первую очередь идет о пространственных данных, таких как сведения о местоположении контура объекта капитального строительства [6], его поэтажных планах, которые, в свою очередь, служат основой для расчета площади по различным методикам в зависимости от задач. Таким образом, мы можем сделать вывод о необходимости сбора одинакового набора пространственных данных для формирования эксплуатационной модели объекта капитального строительства и последующего кадастрового учета. Однако на данный момент существуют разрозненные и несогласованные требования по сбору и обработке пространственных данных для различных целей подготовки градостроительной или кадастровой документации.

Кадастровый инженер — это специалист, который сопровождает объект капитального строительства (далее – ОКС) на всем жизненном цикле. Начиная с формирования земельного участка, проведения геодезических изысканий для строительства, продолжая на этапе ввода объекта в эксплуатацию. Но и после этого для кадастровых инженеров есть работа по внесению изменений в сведения ЕГРН по результатам перепланировки, и даже в случае сноса здания подтверждать данный факт должен кадастровый инженер.

В настоящее время в России кадастр недвижимости ведется в двухмерном виде. С развитием архитектуры и строительного дела современные здания могут принимать довольно сложные формы. Нередко встречаются объекты с различными смелыми дизайн-решениями. Это могут быть полигональные фасады, радиусные

стены или другие отклонения от более привычных архитектурных форм. Например, в известном районе «Москва-Сити» значительная часть улично-дорожной сети по факту проложена не по земной поверхности, а по верхним перекрытиям подземных частей зданий. В таком случае, сложно не только проводить кадастровый учет в двухмерном виде, но и проектировать классическим способом. Поэтому в последнее время все более широко применяются технологии трехмерного информационного моделирования в строительстве.

Одним из первых пилотных проектов в России в области трехмерного кадастра стал *Российско-нидерландский проект «Создание модели трехмерного кадастра недвижимости в России» (G2G10/RF/9/1)*, осуществлявшийся в России с мая 2010 г. по июнь 2012 г. в рамках программы «Правительство для правительства» (G2G) Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии России и Агентством кадастра, регистрации земель и картографии Нидерландов. В отчете представлены результаты анализа законодательной и технической базы, дано описание предлагаемой с учетом международного опыта модели 3D кадастра и разработанного прототипа, представлены результаты апробации прототипа на примере пилотных объектов Нижегородской области [8]. В отчете сделаны выводы о необходимости различных подходов к объектам, создаваемым с использованием ТИМ и ранее учтенных объектов недвижимости.

Представляется, что введение трехмерного кадастра может способствовать совершенствованию существующей системы регистрации прав и кадастрового учета, а также расширению перечня услуг, предоставляемых различным пользователям.

Среди таких возможных преимуществ:

- Улучшение кадастрового учета и обеспечения гарантий прав для многоуровневых комплексов за счет учета вертикального разделения объектов недвижимости, точной локализации и наглядного отображения в кадастровой базе данных объектов недвижимости и связанных с ними прав.

- Упорядочение регистрации прав и кадастрового учета подземных инженерно-технических сооружений и объектов инфраструктуры с отображением в кадастровой базе данных их расположения во взаимосвязи с земельными участками и связанными с ними другими объектами недвижимости.
- Принятие обоснованных решений по обременениям, ограничениям с учетом точных данных о расположении объектов подземной/надземной инфраструктуры, в частности, при разделе земельных участков.
- Усиление гарантий прав собственников помещений за счет включения права на весь объем помещения в учтенных границах.
- Обеспечение возможности расширения прав собственника на внешнее (объемное) пространство по отношению к зданию, помещению в учтенных границах (так называемый «вид из окна») как гарантии невозможности его использования без соответствующего решения собственника.
- Возможность контроля при кадастровом учете пересечений границ сложных объектов в целях получения достоверных непротиворечивых данных.
- Возможность расширения видов объектов кадастрового учета (например, права на участки недр в учтенных границах).
- Более эффективное решение вопросов налогообложения физических и юридических лиц, имеющих права по отношению к различным частям многоуровневого комплекса, связанным с одним и тем же земельным участком.
- Расширение услуг различным категориям пользователей за счет предоставления наглядной 3D-информации, касающейся расположения объектов недвижимости, локализации прав на них или их частей, ограничений/обременений и др., и аналитической информации.

В развитие зарубежной практики студией Артемия Лебедева создан проект «Трехмерный кадастровый паспорт ГУ БТИ-24», в котором обобщен зарубежный опыт графического представления трехмерных кадастровых данных. [9] Разработан трехмерный кадастровый паспорт помещения, который представляет из себя трехмерную парцеллу, вершины которой закоординированы. В составе документа

присутствуют как двухмерные планы и развертки стен, так и изометрические чертежи.

В конце XX века впервые появилась и начала развиваться идея моделирования зданий в трехмерном виде для целей проектирования и строительства [10]. Такой подход позволял более наглядно формировать проектную и рабочую строительную документацию, что значительно упрощало работу со сложными строительными узлами или проектирование инженерных коммуникаций внутри зданий, в том числе и в процессе дальнейшей эксплуатации зданий. С развитием персональных компьютеров и программных средств реализация подобных идей упростилась. Различные САПР-системы получили советующий функционал. Следующим шагом развития стало объединение конструкционной модели и различных семантических данных об элементах. При слиянии трехмерного проектирования и базы данных свойств различных частей модели родилась технология информационного моделирования зданий. Основной прикладной задачей, решаемой с ее помощью, является обеспечение информацией для принятия различных управленческих решений в отношении объекта на всех этапах его жизненного цикла. Под жизненным циклом следует понимать все процессы, начиная с предпроектных проработок для оценки инвестиционной привлекательности, проектирования, строительства, эксплуатации, включая обеспечения функционирования инженерных систем, последующего сноса или реконструкции.

Важность и перспективы внедрения технологий информационного моделирования в строительстве оценены не только за рубежом, но и в нашей стране на высшем государственном уровне. В 2014 году впервые принято решение о необходимости разработки плана поэтапного внедрения таких технологий [12], утвержден План поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства [12]. Таким образом, можно утверждать, что государство признало необходимость внедрения этой технологии. Приняты основные руководящие документы, которые должны быть широко апробированы на практике профессиональным сообществом. Можно ожидать, что в те-

чение ближайшего десятилетия учет метрических характеристик различных объектов капитального строительства постепенно будет перемещаться в ГИСОГД, а в записях о правах и обременениях будет появляться что-то вроде ссылок на идентификаторы элементов цифровых информационных моделей определенных типов, заданных классификатором строительной информации, в свою очередь синхронизированного с некоей будущей онтологией Национальной системы пространственных данных [14].

До начала внедрения технологий информационного моделирования в нашей стране на практике часто складывались ситуации, в которых проектная документация «стадии П» и документы технического, а потом и кадастрового учета имели существенные различия, что приводило и приводит к временным и экономическим издержкам при эксплуатации зданий. Так, например, в процессе перепланировки достаточно сложно бывает получить информацию о конструктивных особенностях здания для принятия оптимального решения о проектных решениях. Другой распространенной проблемой для собственников (застройщиков) является сложность доказывания факта отсутствия незаконной реконструкции в случаях, когда в процессе строительства в «рабочую» проектную документацию вносились оперативные изменения. Конечно, преимуществ технологии информационного моделирования зданий существует множество, и не будем сейчас перечислять все, но одной из важнейших является возможность непрерывного, прозрачного и наглядного документирования всех процессов в жизненном цикле здания. Как следует из названия статьи и приведенных выше практических примеров, возникающих сложностей, крайне важно обеспечивать доступность документальной информации о здании, особенно в момент перехода между этапами «жизненного цикла». Определяющим для судьбы объекта капитального строительства является переход от проектирования и строительства к непосредственной эксплуатации. Данная процедура проходит через процесс ввода в эксплуатацию объекта капитального строительства. До ввода в эксплуатацию главным предназначением сопровождающих процесс возведения здания документов является успешное завершение стройки, а после этого приоритетом является обеспечение оптимального режима эксплуатации.

Согласно обновленным правилам [14] сдача строительных объектов в эксплуатацию среди прочего подразумевает:

- формирование необходимого пакета документов;
- комплектование, хранение и передачу соответствующим организациям исполнительной документации (включая в соответствующих случаях информационную модель) для последующей технической эксплуатации.

Согласно обязательным документом для получения разрешения является технический план, подготовленный кадастровым инженером [14]. При этом выполняется геодезическая съемка контура и обмеры здания, учитывается разрешение на строительство и проектная документация. Текущие требования к составлению технического плана подразумевают создание трехмерной модели и описание объекта в виде xml-файла, но они на данный момент не связаны информационным моделированием.

Таким образом, описание фактических пространственных характеристик здания определяется соответствующими специалистами строительной отрасли [14] в рамках подготовки исполнительной документации и кадастровым инженером в ходе составления технического плана.

При этом некоторые цели ведения информационной модели здания и кадастрового учета совпадают. Так, обе системы: ГИСОГД (в будущем) и ЕГРН (уже сейчас), кроме прочего, поддерживают описание объекта в актуальном состоянии для обеспечения процессов внесения изменений в конструкции (перепланировки) и связанные с ними изменения описания объектов прав.

Проблемы:

1. отсутствие связи между xml-файлами кадастрового учета и информационной моделью.
2. помещения не учтены как объекты прав, что является одним из условий рациональной эксплуатации.

3. не разработана методика определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета (существующая создана для работы с двухмерными планами).
4. в существующих нормативах не описан процесс внесения изменений в информационную модель в связи с перепланировкой.

Именно в рамках реализации мероприятий данной дорожной карты №12012п-П49 необходимо разработать методику определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета.

Существуют теоретические разработки по базовым требованиям к ведению кадастра [16].

Принцип завершенности («Заповедь Бензенбергера»): «Основным для кадастра является то, что он должен быть закончен». Другими словами, кадастр, который содержит информацию только о некоторой части объектов на текущий момент времени, не является достоверным источником сведений, так как требует проведения дополнительных работ по выявлению объектов прав, их правообладателей. Сегодня в очередной раз ставится задача наполнения ЕГРН данными, теперь уже в рамках проекта развития национальной системы пространственных данных (далее – НСПД). Методика, позволяющая более эффективно наполнять кадастр данными об объектах, безусловно, поможет реализовать данный принцип.

Принцип зеркальности (первый принцип Руоффа): кадастр должен точно и полно отражать содержание документов, являющихся основанием для кадастрового учета. Вероятность появления технических и реестровых ошибок должна стремиться к нулю, что может быть достигнуто совершенствованием методик сбора и обработки информации.

Принцип доверия (второй принцип Руоффа): кадастр должен являться единственным (достаточным) источником информации об объектах для потребителей

без необходимости информационного взаимодействия с иными ведомствами. Синхронизация данных в система ЕГРН и ГИСОГД поможет реализовать принцип доверия, что может быть достигнуто согласованием методик сбора и обработки пространственной информации.

Принцип застрахованности (третий принцип Руоффа): ущерб, понесенный добросовестным пользователем кадастровой информации, которая по факту оказалась недостоверной, должен быть возмещен государством или органом кадастрового учета (регистрации прав). Ограниченная ответственность последнего установлена законом [16].

Принцип непрерывности (первый принцип Курандта): любые изменения объектов недвижимости не должны иметь юридической силы до момента внесения соответствующих изменений в сведения кадастра. Требование выполняется в современном отечественном нормативном поле.

Принцип согласия (второй принцип Курандта): любые изменения в сведениях об объекте недвижимости в кадастре допускаются только с согласия правообладателя такого объекта. Требование выполняется в отношении основных характеристик объектов недвижимости.

Принцип публичности (третий принцип Курандта): кадастр должен быть открытым информационным ресурсом, в том числе и для общественного контроля, исключение составляют сведения, доступ к которым ограничен в силу законодательства. Требование выполняется.

Принцип специализации (четвертый принцип Курандта): кадастр должен обеспечивать однозначную связь между субъектами (правообладателями) и объектами прав. Работы в этом направлении ведутся.

Так, для реализации принципа завершенности предусмотрены мероприятия по совершенствованию нормативно-технического обеспечения перспективных технологий, к коим, безусловно, относятся ТИМ. Принцип зеркальности в отношении объектов капитального строительства позволит реализовать включение в ЕГРН информационных моделей. Таким образом, можно сделать вывод: цели внедрения

технологий ТИМ и перспективы развития сферы кадастрового учета согласованы и дополняют друг друга.

В статье Гура Д. А. «Методологические принципы трехмерной идентификации объектов недвижимости» [17] сформулированы принципы, которые должны быть заложены для формирования и реализации современного кадастра недвижимости:

1. принцип актуализации кадастровой информации об объектах недвижимости;
2. принцип соответствия геометрических характеристик пространственной информации;
3. принцип непрерывности обновления кадастровых данных;
4. принцип системности;
5. принцип научно обоснованных решений для управления объектами недвижимости.

1.2 Пространственные характеристики и классификация объектов

К основным сведениям об объекте недвижимости относятся характеристики объекта недвижимости, позволяющие определить такой объект недвижимости в качестве индивидуально-определенной вещи, а также характеристики, которые определяются и изменяются в результате образования земельных участков, уточнения местоположения границ земельных участков, строительства и реконструкции зданий, сооружений, помещений и машино-мест, перепланировки помещений [18]. К таким характеристикам можно отнести:

1. координаты характерных точек земельных участков;
2. координаты характерных точек контуров объектов капитального строительства;
3. поэтажные планы;
4. площади объектов недвижимости.

НСПД оперирует пространственными объектами (в том числе здания, сооружения), которые в свою очередь характеризуются набором пространственных данных [18]. Национальными стандартами [20, 21] Российской Федерации устанавливаются общие принципы классификации и описания объектов. Так, одним из подходов к классификации является эмпирическая, основанная на установлении классов, сформированных с учетом общих свойств, определенных при сборе данных. Правила координатного описания объектов вводят понятие векторной модели пространственного объекта как структурной единицы векторной модели пространственных данных, характеризующей конкретный пространственный объект и его признаки [21]. С учетом общей тенденции на исключительно векторное представление информации о пространственных объектах ввиду широкого внедрения во все сферы народного хозяйства геоинформационных технологий, применения САПР система классификации объектов для целей разработки методики определения пространственных характеристик и моделирования ОКС должна оптимизировать соответствующие процессы, т.е. позволять выбирать для каждого класса наиболее эффективные способы и приемы сбора данных и моделирования.

В статье «Теоретические основы трехмерного кадастра объектов недвижимости» [22] на основе анализа отечественных и зарубежных источников приведена следующая классификация объектов.

А. Земельный участок

А.1. Двумерный участок

А.2. Объемный участок

А.3. Призматический участок

В. Строительный объем

В.1. Базовая пространственная единица

В.2. Пространственный объект

В.3. Комплексный 3D-объект

В.4. Комбинированный 3D-объем

С. Инженерные коммуникации

С.1. Модели на основе поверхностных объектов

С.2. Единые кадастровые модели

В отечественном нормативном поле [23] на данный момент можно выделить следующие основные классификации объектов недвижимости для следующих процессов:

1. архитектурно-строительное проектирование;
2. информационное моделирование;
3. кадастровый учет и регистрация прав;
4. обеспечение безопасности;
5. планировка и застройка территорий;
6. проектирование и строительство;
7. налоговый учет;
8. учёт основных фондов;
9. при реализации жилищных прав;
10. по видам функционального назначения объектов капитального строительства в городе Москве;
11. для учета средств размещения в сфере туристской индустрии.

Ни одна из них в полной мере не отвечает требованиям применения разрабатываемой методики, т.к. одновременно не разделяет объекты на классы по назначению и средним размерам помещений, технологиям строительства, наличию доступной проектной документации в векторном виде. В отношении ОКС определению подлежат не только площади и местоположения контура на земельном участке, но и поэтажные планы. Так, для зданий, строящихся с использованием ТИМ, уже на стадии проектирования создан огромный задел по описанию пространственных характеристик, и задача кадастрового инженера в момент проведения кадастровых работ состоит в определении уровня детализации модели для целей кадастрового учета. Т.к. трехмерная модель объекта, которая является частью проектной документации, может иметь очень высокую степень детализации, а требования к трехмерной модели в кадастре не установлены, такая задача является

сложной и может различным образом решаться каждым специалистом. Следует отметить, что, т.к. помещения по умолчанию входят в состав зданий, они отдельно не выделены в классификации. Таким образом, классифицировать ОКС целесообразно исходя из типовых архитектурных решений и стандартных размеров помещений, что предписывает выбор того или иного измерительного оборудования. Обобщая вышеуказанные классификации, для целей разработки методики можно выделить следующие классы объектов (Таблица 1).

Таблица 1 – Классификация объектов для целей применения методики

Класс	Описание	Предложения	Подкласс	Особенности
1	Совокупность комнат и помещений для постоянного или временного пребывания людей	Предлагается применять разрабатываемую методику с учетом подходящего по габаритам и дальности работы измерительного оборудования	1а	объект проектировался с применением ТИМ, задача при моделировании сводится к проверке проектных значений
			2б	при проектировании не применялись ТИМ, необходимо наиболее детальное моделирование, в том числе и для последующего проектирования перепланировки или реконструкции
2	Совокупность строительных объемов, создаваемых для решения производственных задач. Помещения для пребывания людей составляют незначительную часть объема, обусловленную производственной необходимостью	Предлагается применять разрабатываемую методику с учетом подходящего по габаритам и дальности работы измерительного оборудования	1а	объект проектировался с применением ТИМ, задача при моделировании сводится к проверке проектных значений
			2б	при проектировании не применялись ТИМ, необходимо наиболее детальное моделирование, в том числе и для последующего проектирования перепланировки или реконструкции

Продолжение Таблицы 1

Класс	Описание	Предложения	Подкласс	Особенности
3	Уникальные объекты, содержащие подавляющую часть внутреннего объема, составляют помещения сложной геометрической формы, которые проблематично разбивать на прямоугольные составляющие в процессе обмерных работ	Предлагается применять разрабатываемую методику с учетом подходящего по габаритам и дальности работы измерительного оборудования с учетом требований ГОСТ Р 56905-2016 Объекты культурного наследия	3а	объект проектировался с применением ТИМ, задача при моделировании сводится к проверке проектных значений
			3б	при проектировании не применялись ТИМ, необходимо наиболее детальное моделирование, в том числе и для последующего проектирования перепланировки или реконструкции

1.3 Анализ методов сбора пространственных данных для целей методики

Концепция применения ТИМ предусматривает наличие эксплуатационной модели объекта. В какой-то мере в ЕГРН в отношении ОКС должны содержаться аналогичные сведения, что дает теоретическую возможность определять пространственные характеристики по единым требованиям. Таким образом, мы можем сделать вывод о необходимости сбора одинакового набора пространственных данных для формирования эксплуатационной модели объекта капитального строительства и последующего кадастрового учета. Однако на данный момент существуют разрозненные и несогласованные требования по сбору и обработке пространственных данных для различных целей подготовки градостроительной или кадастровой документации. В Таблице 2 сопоставлены характеристики объектов недвижимости, собираемые пространственные данные и итоговые документы, которые оформляются в отношении объектов капитального строительства.

Таблица 2 – Сопоставление документов и типов пространственных данных

Характеристика	Собираемые данные	Документ, содержащий пространственные данные по результатам сбора
Местоположение	Координаты характерных точек контура в системе координат ЕГРН	ГИСОГД: эксплуатационная модель объекта
		ЕГРН: технический план
Планировка	Планировочные решения ОКС в векторном виде в условной системе координат	ГИСОГД: эксплуатационная модель объекта
		ЕГРН: технический план

Перечислим и кратко опишем существующие нормативные документы в сфере сбора и обработки пространственных данных об объектах капитального строительства в части определения планировки. Именно поэтажный план является результирующим документом, который включает в себя сведения о контуре объекта.

Архитектурные обмеры применяются и в зависимости от задач разделяются на схематичные, архитектурные и архитектурно-археологические обмеры. Если схематичные обмеры применяются для определения основных размеров и обобщенной планировочной структуры объекта, то архитектурные обмеры служат основой для составления рабочих чертежей. Обмеры зданий для создания поэтажных планов еще до введения технической инвентаризации применялись в архитектуре и строительном деле. Архитектурные обмеры решали немного другие задачи. Функция учета площадей была вторична. Однако они послужили основой для разработки других стандартов обмеров, в первую очередь для технического учета. Основные приемы архитектурных обмеров заключаются в комбинациях различных видов линейных засечек, зарисовке планировочных решений объектов на абрисах (кроках) для дальнейшего составления поэтажных планов, исходя из условия ортогональности строительных конструкций. Точность таких обмеров может составлять до 0,5 см. Проведение обмерных и инженерно-геодезических работ на объектах культурного наследия [24] выполняются с целью получения исчерпывающей пространственной информации об объекте, при моделировании учитываются все

отклонения от идеальных геометрических фигур. Наиболее целесообразным является применение методов фотограмметрии и лазерного сканирования.

Бюро технической инвентаризации (далее – БТИ) занимаются учетом недвижимости уже долгие десятилетия. Технические приемы во многом наследуют исторический опыт проведения архитектурных обмеров. Но процесс инвентаризации чуть более формализован. Одной из целей подобного учета, сформулированной в явном виде является определение площадей объектов, т.к. инструкция описывает подобные расчеты. Сами измерения зданий и помещений схожи с архитектурными обмерами. Рассмотрим более подробно соответствующую инструкцию [25], которая обобщает опыт архитектурных обмеров и, являясь предшественником в области технического учета, во многом соблюдается в практике кадастровых работ и сегодня. Т.к. единицей учета при технической инвентаризации является здание в целом. При первичном учете целесообразно создавать модель всего здания, что позволит в будущем локально вносить изменения при перепланировках. В процессе выполнения обмеров для целей создания поэтажного плана составляется схематичный чертеж с учетом имеющейся проектной документации, в которой могут содержаться размеры, которые невозможно определить в момент обмеров (например, толщины наружных или внутренних стен). При создании поэтажного плана размеры, взятые из проекта, следует проверять аналитическими расчетами по проведенным измерениям. При обмерах наружного контура здания не учитываются выступы размером до 10 см. Нужно определять геометрию наружного контура здания. В зданиях непрямоугольной формы в угловых помещениях нужно определять размеры диагоналей. Необходимо определять толщину стен и перегородок, в том числе и по косвенным измерениям. Наружные размеры здания и сумма внутренних размеров с учетом толщин стен не должны отличаться более допустимой невязки. Допустимая невязка вычисляется по формуле:

$$N_d = \pm 0,75K \quad (1)$$

где N_d - невязка допустимая;

K - сумма внутренних измерений помещений и толщин стен и перегородок;

0.75 - коэффициент невязки.

Фактическая невязка определяется по формуле:

$$N_{\text{ф}} = L_{\text{н}} - L_{\text{в}} \quad (2)$$

где $N_{\text{ф}}$ - невязка фактическая;

$L_{\text{н}}$ - наружный размер стены здания;

$L_{\text{в}}$ - сумма внутренних размеров и толщин стен и перегородок.

Фактическая невязка не должна превышать допустимую. Допустимая невязка распределяется на размеры помещений, исключая толщины стен и перегородок. При создании поэтажного плана контрольные размеры не должны превышать невязку 0,5 мм в масштабе плана. При создании поэтажных планов непрямоугольных зданий должен применяться экспертный подход.

Действующие нормативы в сфере кадастрового учета распределены по двум документам:

1. Приказ Росреестра от 15.03.2022 N П/0082 «Об установлении формы технического плана, требований к его подготовке и состава содержащихся в нем сведений» [26].

2. Приказ Росреестра от 23.10.2020 N П/0393 «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» [27].

Так, [26] содержит только общие оформительские требования к поэтажному плану за исключением оговорки об «оформлении плана с графической точностью до 0,5 мм в масштабе плана». Кроме того, исторически в практике сложился подход к составлению поэтажного плана из безусловной ортогональности стен и перегородок, хотя даже строительные нормы [28] предусматривают допустимые погрешности линейных размеров стен и перегородок и, как следствие, угловые погрешности.

Приказы Росреестра в части создания поэтажного плана ни коим образом не описывают возможную неортогональность стен. Технический план может подготавливаться для кадастрового учета здания в целом, отдельных помещений или их частей. Для измерений при создании поэтажных планов может использоваться оборудование, сведения о результатах поверки которого содержатся в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений. Поэтажные планы используются для отображения границ помещений, служат основой для вычисления площадей по средствам определения размеров внутренних сторон наружных ограждающих конструкций помещения и (или) здания и внутренних стен, перегородок, дверных проемов. При подготовке поэтажных планов, помимо натурных обмеров, кадастровым инженером может использоваться проектная и исполнительная документация, технический паспорт, изготовленный до 01 января 2013 г. Поэтажные планы оформляются в виде растрового файла в формате JPEG с точностью до 0,5 мм в масштабе плана, что в линейной мере составляет 5 см (при масштабе 1:100) или 10 см (при масштабе 1:200). Более мелкие масштабы при составлении поэтажных планов используются крайне редко. Другим критерием точности поэтажного плана является допустимое расхождение площади в 5% от площади здания, указанной в проектной документации [18]. В отдельных случаях предусмотрена возможность составлять 3D-модель объекта недвижимости с координатной привязкой к государственной геодезической сети в векторных форматах DXF, RVT, PLN, SKP, но подробных требований к подобным моделям не установлено. При этом детализация определения контура здания часто определяется кадастровым инженером самостоятельно и субъективно. Производится оценка точности определения координат характерных точек контура здания. В отношении недоступных точек (подземных) контуров объекта средняя квадратическая погрешность определения может превышать аналогичную величину для доступных измерений (наземных и надземных) точек. Допустимые отличия при контрольных определениях координат характерных точек не должны превышать удвоенного нормативного значения средней квадратической погрешности. Измерения для целей составления поэтажного плана и определения площадей рекомендуется проводить после

завершения отделочных работ. Предусматривается округление линейных измерений до целых сантиметров. Требования описывают типовые формулы расчета средних квадратических погрешностей (далее – СКП) измерений (линейных, угловых, спутниковых) и вычислений (координат, площадей), но разрешают применять и другие. Правила расчета площадей для различных видов объектов недвижимости отличаются, но все они опираются на сведения (размеры), отражаемые на поэтажном плане. Кроме того, для подобных расчетов необходимо использовать и значения размеров, не указанных на плане, что ставит вопрос о допустимости использования средств растровой графики. Только при расчете СКП площади застройки используются сведения о координатах контура сооружения.

Существующие требования по проведению обмерных работ и составлению поэтажных планов в ходе выполнения кадастровых работ во многом являются усеченной версией Инструкции о проведении учета жилищного фонда [25], которая не подразумевает увязки всех размеров помещений. На практике складывается ситуация, когда исполнитель после проведения измерений подгоняет их результаты произвольным образом, исходя из условия ортогональности стен и перегородок. А в случаях объектов непрямоугольной формы «вычерчивание таких планов должно решаться исполнителем работ самостоятельно или при консультации контролера или руководителя БТИ». При создании поэтажного плана возникает погрешность. Оценка ее допустимости по действующим нормативам не формализована, что приводит к спорным ситуациям в определении площадей, «выявлении» перепланировки или реконструкции государственными регистраторами в момент кадастрового учета изменений. На практике среднеквадратическая погрешность определения площади всегда линейно зависит от значения площади. На данный момент не существует «профессиональных запросов» из смежных с кадастровой деятельностью отраслей по повышению точности составления поэтажных планов и расчета площади объектов. Но для самих кадастровых инженеров необходимо иметь внятную методику проведения и обработки материалов обмерных работ. Важно отметить, что здесь не рассматривается сама неопределённость включения или невключения некоторых конструктивных элементов здания в площадь.

Стандарты Ассоциации «Национальное объединение саморегулируемых организаций кадастровых инженеров» в части описания проведения обмеров, в основном повторяют основные положения приказов Росреестра, но гораздо более подробно в них описывается оценка точности результатов измерений. Существуют типовые стандарты осуществления кадастровой деятельности по описанию пространственных характеристик для отдельных видов объектов недвижимости [29, 30, 31, 32, 33]. Наибольший вклад в суммарную ошибку вносит именно «приведение к правильной фигуре», что обусловлено требованиями к составлению поэтажного плана. Напротив, инструментальный вклад в ошибку измерений незначителен при измерении стен длиной до 15 метров. В стандартах приведены примеры расчета СКП в случае подсчета площадей путем разбиения поэтажного плана на простые геометрические фигуры, вместе с тем допускается применять и другие варианты расчета. Отмечается, что величина СКП площади зависит от методики ее расчета.

Международной коалицией из более чем двухсот профессиональных объединений разработана серия стандартов по определению площадей объектов недвижимости. При всем разнообразии нормативных требований различных юрисдикций *iprmsc* удалось создать документы, определяющие универсальные принципы измерений для целей составления поэтажных планов и определения площадей объектов недвижимости. Подобные стандарты существуют для офисных, торговых, производственных зданий и земельных участков. Для вышеуказанных видов объектов приведены виды площадей, включающие те или иные типы для различных задач. Целью данных общих правил является выработка универсальных показателей площадных характеристик недвижимости и их однозначного понимания специалистами и пользователями из различных государств. Для отечественной практики в сфере учёта недвижимости интересны определения внутренних поверхностей стен принятые для определения *iprms* 2. В Таблице 3 описаны особенности определения площадей для различных типов объектов [33].

Таблица 3 – Особенности определения площадей в международных стандартах

Офисные здания	Торговые здания	Промышленные здания	Жилые здания
IPMS 1 отражает суммы всех площадей здания, выполненным по наружному контуру стен в уровне каждого этажа	IPMS 1 общее количество площадей каждого этажа здания, измеренных по внешнему периметру наружной ограждающей конструкции или других конструктивных элементов, крытых зон и внешних перекрытий	IPMS 1 отражает сумму площадей всех этажей здания, рассчитанных по измерениям, выполненным по наружному контуру стен в уровне каждого этажа	IPMS 1 отражает сумму площадей всех этажей здания, рассчитанных по измерениям, выполненным по наружному контуру стен в уровне каждого этажа
IPMS 2 отражает сумму площадей всех этажей офисного здания, рассчитанных по измерениям, выполненным по внутреннему контуру наружных стен в уровне каждого этажа до внутренней доминирующей поверхности стены. Площадь рассчитывается и представляется в отчете по каждому компоненту на всех этажах.	IPMS 2 общая площадь каждого этажа здания, измеренная по внутренней доминирующей поверхности всех внешних стен и внешних участков на каждом этаже	IPMS 2 отражает сумму площадей всех этажей здания, рассчитанных по измерениям, выполненным до внутренней доминирующей поверхности всех наружных стен и балконов для каждого уровня здания	IPMS 2 отражает сумму площадей всех этажей здания, рассчитанных по измерениям, выполненным по внутреннему контуру наружных стен в уровне каждого этажа до внутренней доминирующей поверхности стены. Площадь рассчитывается и представляется в отчете по каждому компоненту на всех этажах.
IPMS 3 отражает площадь помещений, принадлежащих одному владельцу, за исключением помещений общего пользования, рассчитанная для каждого владельца на каждом этаже и для задания в целом	IPMS 3 площадь этажа, находящееся в исключительном владении занимающего ее лица	IPMS 3 отражает площадь помещений, принадлежащих одному владельцу	IPMS 3 отражает площадь помещений, принадлежащих одному владельцу

Для измерений используются следующие поверхности. Внутренняя часть поверхности вертикальных отражающих конструкций – внутренняя отделанная поверхность, составляющая не менее 50% площади вертикальной секции ограждающей конструкции, образующей внутренний периметр. Внутренняя доминирующая

поверхность — внутренняя поверхность, составляющая не менее 50% (на высоте минимум 2,75 метров) площади каждой секции ограждающей конструкции, измеренной вертикально от линии пола. Внутренняя часть поверхности вертикальных ограждающих конструкций — внутренняя поверхность, составляющая более 50% первых 2,75 метров, отмеренных от пола или потолка вертикально для каждой секции ограждающей конструкции, образующая внутренний периметр. Если неприменимо, то в качестве компонента следует считать отделанную поверхность. Внутренняя часть поверхности вертикальных ограждающих конструкций. Внутренняя отделанная поверхность, составляющая не менее 50% площади вертикальной секции ограждающей конструкции, образующей Внутренний периметр. Если неприменимо, то в качестве компонента следует считать отделанную поверхность.

Соблюдаются следующие принципы измерений и вычислений. Должна быть доступна проверка измерений, результаты и расчеты задокументированы. Из чего прямо следует необходимость ведения абриса измерений, а ход вычисления площадей должен отображен в некоем отчете. По результатам следует провести оценку точности результатов измерений и расчетов. Подразумевается наличие соответствующих допусков. Предпочтительно вычислять площади исходя из размеров, указанных на чертеже, без использования масштабирования. Для измерений подразумевается применение лазерных дальномеров и рулеток. Следует проводить «оценку толщины» внешней стены (речь идет о косвенных измерениях). Создавать поэтажные планы по результатам измерений следует с использованием инструментов САПР и ТИМ.

Отечественный стандарт «Методика измерения площади офисных зданий АРКН» [35] применяется исключительно к офисным зданиям. Создатели подразумевают его динамическое обновление, которое можно отслеживать на сайте. Так как в АРКН состоят известные девелоперские, управляющие и консалтинговые компании, данная методика скорее всего будет применяться на практике крупными участниками рынка. Целями введения методики заявляются, среди прочего, прозрачность и повторяемость расчета, снижение количества споров, совместимость с другими используемыми стандартами, а ее применения является добровольным.

Под другими стандартами скорее всего понимается [34], но прямой ссылки нет. С правилами определения площадей для кадастрового учета или регистрации прав данная методика связана слабо. Относительная ошибка заявлена как 0,5%, при этом под источниками ошибок подразумевается различия в интерпретации опорных планов. Для определения площади отдельных элементов введено понятие «обмерной линии», которая является «правилом взаимодействия любого типа площади на этаже с ограждающими стенами этажа». Для определения обмерной линии, необходимо выбрать приоритетную поверхность («вертикальная поверхность ограждающей стены, равная 50 и более процентам от минимальной высоты этажа — 2,4 м), что сразу фактически задает необходимость использовать в качестве исходных данных не двумерные планы, а трехмерную цифровую модель или облако точек, полученное по результатам переносного лазерного сканирования на основе технологии SLAM. Следует отметить, что вводимое правило приоритетной поверхности во многом снимает вопросы о включении или невключении в площадь самых спорных участков в районе панорамного остекления, выступающих из стен колонн и оконных проемов, но, кажется, усложняет ранее считавшимися простыми ситуации. Данный подход сразу вызывает противоречие с правилами определения площадей для кадастрового учета [27], которые в данном случае используют сечение этажа на уровне пола. Учитываются и наклонные ограждающие конструкции, использован оригинальный прием. Разработчики решили уйти от угла наклона, определяемого на разрезе, и применили минимальную высоту чистого этажа, предусмотренную в СП 118.13330.2022.

Важным элементом стало выделение различных типов площадей (девять типов), что является значительным отличием от методики Росреестра или БТИ и одновременно сходством с международными стандартами [34]. Рассматриваемая методика содержит раздел «Терминология», приводящий определения всем вводимым понятиям. Принципы расчета представлены в виде примеров и готовых формул для применения в электронных таблицах.

Методика измерения площади офисных зданий однозначно является шагом вперед в деле стандартизации описания характеристик офисной и прочей нежилой недвижимости. Она отвечает на многие запросы рынка:

- Неоднозначность нормативных требований по включению в площадь отдельных элементов (например, при панорамном остеклении).
- Запрос на внедрение современных способов обработки информации (учет трехмерных пространств, прямое указание на расчеты с использованием электронных таблиц).
- Использование современных источников данных об объекте (цифровая информационная модель или результаты лазерного сканирования).
- Большое количество типов площадей и различных коэффициентов дают широкие возможности для проведения аналитики, позволяя более гибко управлять объектом или проводить более справедливую оценку недвижимости как актива, приносящего доход.

Но существуют спорные моменты:

- Слабая связь с существующими нормативами. Возможны прямые противоречия с данными Росреестра. Площади, определенные с использованием методики, нельзя будет напрямую использовать при проведении сделок с недвижимостью. В существенных условиях договора аренды и купли-продажи возможно указать только площадь согласно данным ЕГРН, но в то же время свобода договора не ограничивает стороны применять и другие типы площадей как дополнительные характеристики (не учитываемые в ЕГРН).
- Неоднозначность при выборе приоритетной поверхности и обмерной линии. Возможно, развитие подобных методик в виде готовых программных инструментов ТИМ, снижающих человеческий фактор при принятии решений, в будущем позволит устранить данную проблему.

Эти две особенности ставят вопрос о перспективах внедрения в практическую деятельность участников рынка недвижимости, но безусловно методика измерения площади офисных зданий, разработанная АРКН, является полезным, актуальным инструментом для всей отрасли.

Определение пространственных характеристик помещений согласно методикам [34, 35] возможно исключительно по трехмерным моделям проектным или эксплуатационным эффективным сбор пространственных данных для составления которых возможен только с применением технологий лазерного сканирования, что будет подробнее рассмотрено в разделе 2.

1.4 Проблемы кадастрового учета ОКС

На данный момент в кадастровой деятельности сложилась практика составления поэтажных планов исходя из расположения стен и перегородок под углами в 90 градусов по умолчанию. Дело в том, что начиная с 2013 года кадастровые инженеры столкнулись с поэтажными планами ранее учтенных объектов, которые проходили техническую инвентаризацию. В ходе кадастровой деятельности автора в работу периодически попадают объекты, поэтажные планы которых составлялись еще без использования средств компьютерной графики. Вместе с тем здания, вводимые в эксплуатацию после 2013 года в ходе кадастрового учета, аналогично имеют поэтажные планы со строго перпендикулярным расположением стен и перегородок. Так, система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве [28] дает значительные диапазоны при контроле геометрических параметров строительства. Конечно же, большие отклонения в данном случае допустимы к конструкциям (самонесущим стенам и перегородкам), не влияющим на конструктивную прочность объекта строительства. Проблема в том, что объекты кадастрового учета, таким образом, могут иметь площади, довольно заметно отличающиеся от проектных значений. Отдельно для «ранее учтенных» и введенных в эксплуатацию до 2013 года нужно рассматривать случаи проектирования, при ко-

торых применяются оригинальные архитектурно-планировочные решения, подразумевающие более сложную и разнообразную геометрию помещений. Текущая практика определения такой пространственной характеристики, включаемой в ЕГРН, как площадь исходит из расчета площади прямоугольников, треугольников и сегментов окружностей. И если с треугольниками и сегментами окружностей не возникает сложностей, то с фигурами, при первом приближении, напоминающими прямоугольники, возникают вопросы. Дело в том, что при проведении обмерных работ часто соответствующие (параллельные) стороны прямоугольных комнат имеют отличия по длине. В таком случае можно рассмотреть несколько ситуаций.

Ситуация 1

Размеры отличаются крайне незначительно, а «несходимость» результатов измерений не влияет на расчет площади и отображения стен смежных помещений на поэтажном плане. Действительно, ведь даже при увеличении двух сторон прямоугольника на 5 см (графическая точность поэтажного плана), его площадь увеличится только на 0,0025 кв. м, а площадь объектов капитального строительства вносится в сведения ЕГРН до 0,1 кв. м. Именно такой вариант описан в стандартах кадастровой деятельности [29, 30, 31, 32, 33].

Ситуация 2 (Рисунок 2)

Размеры отличаются таким образом, что при составлении поэтажного плана приходится вносить изменения в длины стен других комнат. В таком случае при проведении повторных обмерных работ другим исполнителем поэтажный план может иметь значительные расхождения по конфигурации и размерам.

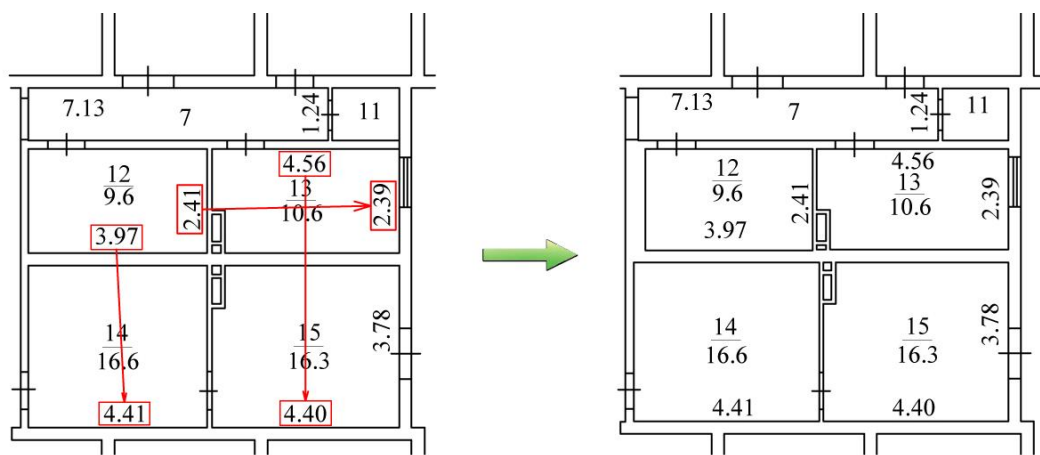


Рисунок 2 – Несоответствие длин отрезков и размеров, указанных на плане

Ситуация 3

Конфигурация стен только кажется прямоугольной, а на практике в плане помещение представляет из себя неправильный четырехугольник.

Такая геометрия характерна для исторических зданий. На Рисунке 3 и 4 приведен пример (из практики кадастровой деятельности авторов) сравнения поэтажного плана, составленного по результатам тахеометрической съемки и обмеров, проведенных под условием ортогональности пересекающихся стен и перегородок. Проблема в данном случае в том, что на Рисунке 3 отображена планировка помещений, уже «учётных» в ЕГРН, и внести изменения, в которые достаточно проблематично. Фактическое состояние помещения отображено на Рисунке 4. Это связано с фактическим отсутствием методики составления поэтажного плана по результатам обмеров при сопоставлении с существующими данными ЕГРН.

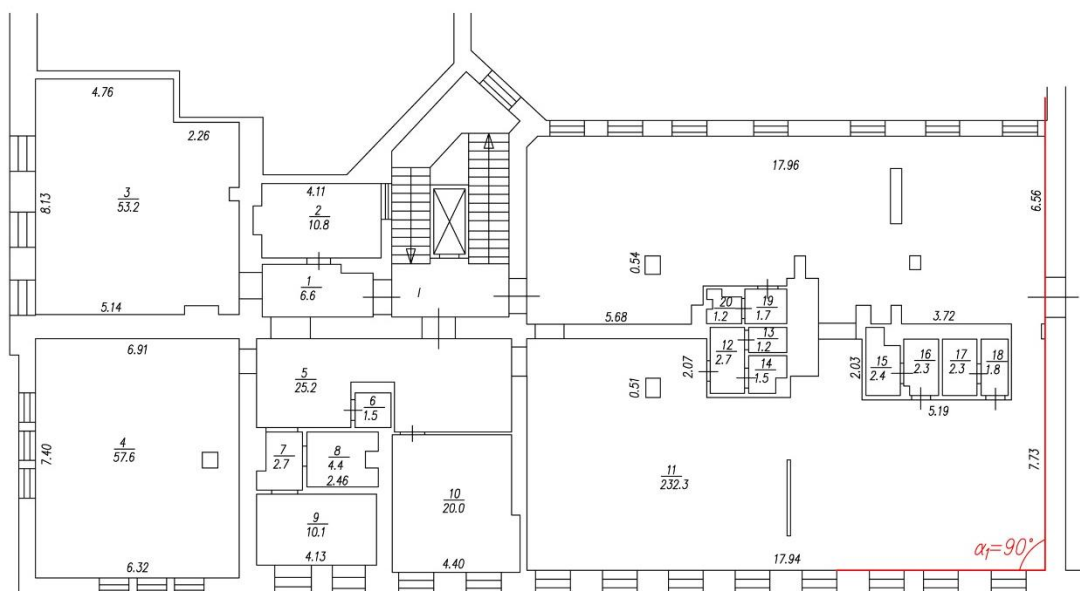


Рисунок 3 – Ортогональный поэтажный план

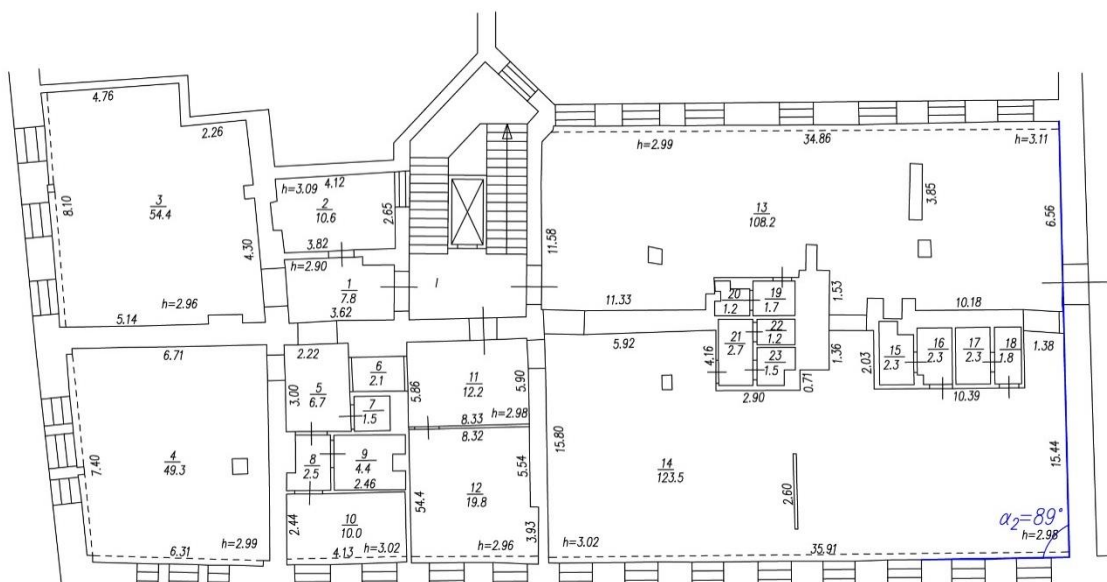


Рисунок 4 – Неортогональность помещений

На данный момент практика обмерных работ заключается в измерении длин стен лазерной рулеткой. Крайне редко применяются технология лазерного сканирования, а также фотограмметрический метод. Это обусловлено недостатками технологии и дороговизной. Ввиду вышеизложенного кадастровые инженеры на сегодняшний день выполняют измерения с использованием лазерной рулетки планшета и карандаша. В отдельных случаях применяются приборы с угломерной частью. В

промышленных и просто больших помещениях используется в первую очередь электронный тахометр, а в небольших помещениях офисного и жилого типа применяются лазерные рулетки на штативе с угломерной частью, например дальномер Leica Geosystems DISTO S910. Все вышеизложенное приводит к выводу о целесообразности актуализация существующих методик, которые, безусловно, необходимы для автоматизации и стандартизации работ. Существующие подходы к автоматизации обмерных работ с использованием лазерной рулетки в большей своей части заключаются в разработке программного обеспечения на носимом устройстве, которое позволяет создавать поэтажный план одновременно с выполнением обмерных работ [37, 38].

Такие решения на взгляд авторов являются трудоемкими для обмерщика. Неудобство состоит в необходимости работы с электронным устройством в момент обмеров. Интерфейсы вышеуказанных программных продуктов сильно уступают листу бумаги и карандашу из-за необходимости зарисовывать отдельные мелкие элементы, указывать их параметры, связывать разные комнаты на плане. В таких случаях работа с физическим листом бумаги гораздо удобнее, что повышает скорость проведения обмеров. Особенно это преимущество наглядно при работе в уже эксплуатируемых зданиях, где доступ в некоторые помещения ограничен по времени. С учетом вышеизложенного на данный момент возникает проблема автоматизации процесса создания поэтажного плана, а не обмерных работ.

Одной из самых распространенных технологий создания поэтажного плана является последовательно начертание отрезков заданной длины согласно абрису в САПР. При этом исполнитель сталкивается иногда с несогласованностью размеров в некоторых комнатах. Такие различия могут достигать нескольких сантиметров. При этом надо понимать, что иногда такие несогласованности могут быть вызваны ошибкой при записи результатов измерений, поэтому дополнительно возникает задача проверки абриса на наличие грубых ошибок, допущенных в момент записи. Данная задача может и должна решаться проведением избыточного количества измерений, в том числе для дальнейшей оценки точности. Таким избыточными измерениями помимо измерений стен могут стать измерения толщин стен с помощью

кронциркуля, расстояний между стенами смежных комнат через дверные проемы. Описаны основные нормативные источники, регламентирующие сбор пространственных данных о недвижимости с целью наполнения ЕГРН и ГИСОГД. Разобраны три наиболее распространенные проблемы, понижающие достоверность сведений ЕГРН в части пространственных данных [39].

В статье «Двухвременная основа для LADM v2: объединение событийного и государственного моделирования данных о землеустройстве в 2D и 3D» (Родни Томпсон, Питер Дж. М. Ван Остером) рассмотрены перспективы координатного описания, в том числе трехмерных объектов в кадастровых системах, предложен механизм учета изменения пространственных характеристик во времени [40].

Текавец Я., Чех М. и Лисес А. в статье «Внутреннее пространство как основа для моделирования зданий в 3D-кадастре»[41] рассматривают вопрос моделирования границ помещений внутри зданий. Отмечается, что в связи с множественностью подходов к установлению границ помещений (по середине стены или по одной из ее поверхностей и проч.) в различных юрисдикциях авторы концентрируются на моделировании физических границ, образованных строительными поверхностями. Но виртуальные (правовые) границы все же используются, например в дверных проемах (Рисунок 5).

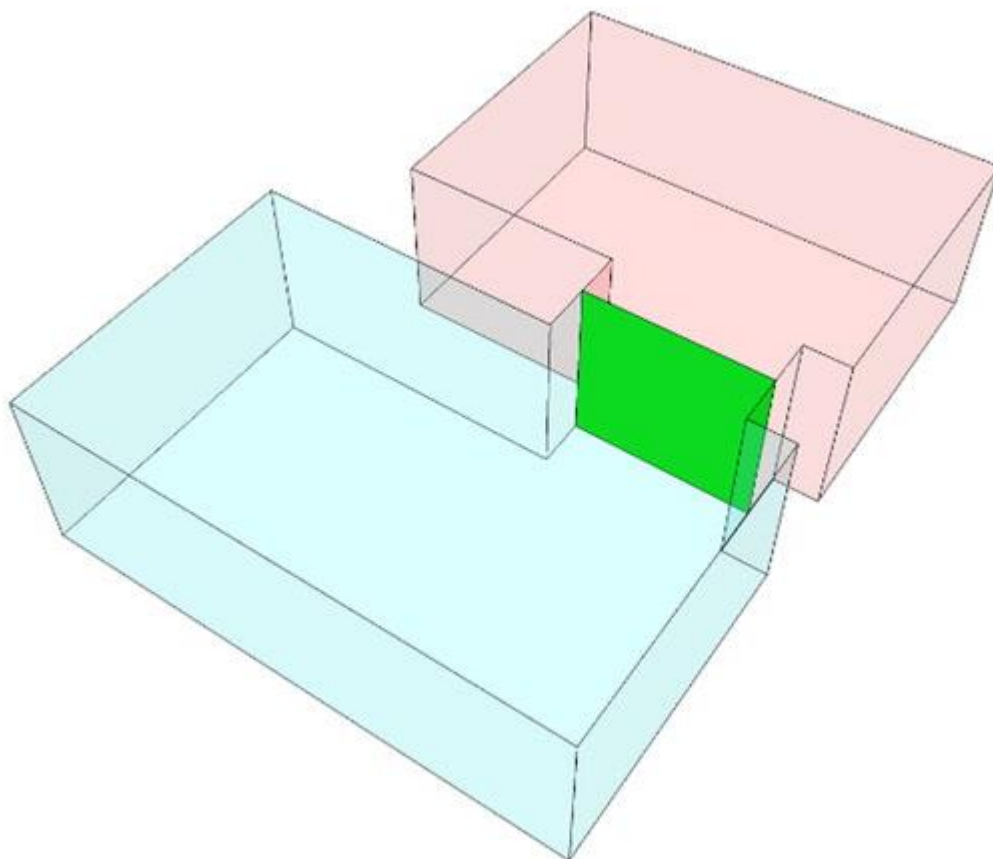


Рисунок 5 – Физические и правовые границы помещений

Подразумевается интеграция с данными ТИМ-моделей. Одним из наиболее распространенных подходов является использование класса *IfcSpace* из файлов IFC [42]. При этом подразумевается возможность получения геометрии границ помещений как из ТИМ-модели, так и моделирование по результатам натурных измерений в случае необходимости создания эксплуатационной модели объекта.

Барзегар М., Раджабифард А., Калантари М. и Атазаде Б. в статье «Схема базы данных на основе IFC для сопоставления BIM-данных с трехмерной базой данных для управления земельными ресурсами с пространственной привязкой» [42] привели приемы извлечения пространственных из ifc для принятия решений с учетом уровня детализации моделей разными типами кадастровых границ. При этом границы помещений определяются внутри САПР-среды в подавляющем большинстве случаев в 2D как элементы *IfcSpace* и *IfcZone*.

В статье «Кадастровые данные как источник для 3D-моделирования помещений» Jernej Tekavec, Anka Lisec [43] отмечается, что сбор пространственных данных внутри помещений — сложная задача, предлагается использовать имеющиеся, в том числе растровые поэтажные планы для дальнейшего трехмерного моделирования. Для этого нужно устанавливать локальную систему координат этажа для связи различных частей. Недостатки предлагаемых подходов в основном связаны с отсутствием необходимого количества пространственной информации в нужном качестве (поэтажных планов в векторном формате).

В статье «Расчет многомерных топологических отношений в трехмерном кадастре на основе геометрической алгебры» [45] представлен математический аппарат, позволяющий вычислять взаимное положение и согласованность размещения помещений внутри трехмерной структуры модели здания.

В статье «К созданию 3D-кадастра помещений на основе обнаружения изменений в облаках точек» [46] экспериментально рассмотрен процесс выявления перепланировок и (или) реконструкции внутри помещений. Для сбора данных использовалось лазерное сканирование, анализ данных проводился как в автоматическом, так и в ручном режиме. Подобный метод сбора пространственных данных о помещении признан перспективным для развития трёхмерного кадастра, отмечается необходимость продолжения исследований в части преобразования данных лазерного сканирования в трехмерную векторную модель.

Видьястути Р., Суварди Д., Мейлано И., Эрнанди А., Фирдаус Дж. в статье «Автоматизация трехмерных кадастровых моделей прав на недвижимость и зданий на основе платформы LADM» [47] рассмотрели вопросы моделирования объектов недвижимости по данным лидарной съемки, описали процесс ортогонализации при переходе от данных сканирования к трехмерной векторной модели.

В обзорах «Системы трехмерных кадастровых баз данных — систематический обзор литературы» [48] и «Можно ли использовать данные из BIM в качестве исходных для 3D-кадастра Олдфилд Дж.» [49] авторы отмечают общую тенденцию усиления связи ТИМ и трехмерного кадастра.

Брайант Б., Ага Карими А., Атазаде Б. и Раджабифард А. в статье «Моделирование трехмерных кадастровых границ в среде BIM: тематическое исследование с использованием планов в объемном формате в Квинсленде, Австралия» [50] рассматривают пример использования ТИМ для создания трехмерного формата. Наиболее подходящим классом для моделирования признается IfcSpace, форматом для геометрии моделей DWG. Файлы, созданные в САПР-среде, предлагается в дальнейшем использовать в ТИМ-платформах. Лазерное сканирование признается эффективным инструментом для сбора трехмерных данных. При моделировании важное значение уделяется детализации и отмечается, что слишком высокие уровни детализации могут быть избыточны для целей кадастра. В статьях Асгари А., Калантари М., Раджабифард А. и Шин Дж. «Разработка комплексного подхода к проверке 3D-пространств в сложных многоэтажных зданиях» [51] и Гунтел А. и Айдиноглу А. К. «Создание и визуализация 3D-базы данных о зданиях в рамках проекта 3D-кадастра» [52] рассматривают методы, сценарии использования и проверки достоверности трехмерных моделей.

Ли Х., Лю Х., Лю Ю. и Ван Ю. в работе «Объектно-относительная модель хранения данных в формате ifc на основе базы данных oracle» [53] рассматривают практическое применение моделей, созданных в формате IFC, доказывают, что такие модели при обмене данными не теряют целостности.

В статье «К процедурам управления качеством в 3D-кадастре» (Nenad Višnjevac, Mladen Šoškić, Rajica Mihajlović) рассмотрены процедуры управления качеством в контексте модернизации текущей кадастровой системы и гибридной модели данных, которая поддерживает как 2D, так и 3D геометрию объектов недвижимости. Делается вывод о необходимости преобразования поэтажных планов в векторный вид для целей перехода к трехмерным моделям объектов недвижимости как безусловной необходимости для развития кадастровой системы [54].

В статье «Регистрация квартир и офисных помещений в 3D-кадастре — пример из Хорватии» (Вучич Никола, Саша Вранич, Майкл Сазерленд, Питер ван

Оостерум) рассматриваются вопросы создания трехмерной модели объектов недвижимости как с применением технологий информационного моделирования, так и фактических измерений согласно международным стандартам [55].

В работах Аврунева Е. И., Гиниятова А. И. [56, 57, 58, 59] подробно разобраны вопросы геодезического обоснования для создания трехмерного кадастра, разработана и обоснована система соответствующих нормативных допусков. Яковлева Н.Д. в статье «Обоснование требований к точности и параметрам 3D-кадастровой съемки на городских территориях с использованием наземного лазерного сканирования» [60] развивает вышеуказанные положения для применения фотограмметрии. Технологическая схема построения трехмерных моделей рассмотрена в работах Брылева И. С., Бударовой В. А. «Применение комплекса цифровых технологий для формирования трехмерного объекта недвижимости городского пространства» [61] и «Применение комплекса цифровых технологий для формирования трехмерного объекта недвижимости городского пространства» (Брылев И. С., Бударова В. А., Елисеева Н. С.) [62].

Формирование трехмерных картографических изображений зданий путем преобразования информации из цифровых 2D-карт [63] описывают и приводят технологическую последовательность Д. В. Лисицкий, Н. Ань Тай.

Вопросы оценки точности трехмерных моделей подробно рассматривают в своих работах. [64, 65] М. Я. Брынь, М. Г. Мустафин, Д. Р. Баширова, Б. Ю. Васильев, Н.Д. Яковлева.

С учетом вышеописанной практики и теоретических разработок невозможно не отметить архаичность и нетехнологичность текущего подхода к учету поэтажных планов в ЕГРН, который на данный момент сводится к интеграции в состав реестра двумерных растровых поэтажных планов. Примеры приводятся на Рисунках 6 и 7.



вано в момент передачи данных в государственный кадастр недвижимости сведений о ранее учтенных объектах [66]. Формат копии технического паспорта ранее учтенного здания, сооружения, помещения, объекта незавершенного строительства в виде электронного документа предусматривал в том числе возможность использования формата DWG, известного как самый распространённый для САПР. Использование растровых форматов влечет следующие сложности:

1. необходимость векторизации для любого сценария повторных кадастровых работ или необходимости получения информации, напрямую не указанной на плане
2. в стремлении к идеальному виду происходит игнорирование фактической неортогональности стен, что понижает достоверность сведений ЕГРН и не отражает фактическое состояние (впоследствии это ведет к многочисленным спорам с застройщиком)
3. при обработке материалов измерений фактически используется локальная система координат, которую целесообразно использовать для фиксации в ЕГРН границ помещений и машино-мест, которые в настоящее время определяются визуально

Одновременно с этим в России действует идентичный международному стандарту ISO 16739-1:2018 «Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema» ГОСТ Р 10.0.02-2019 [42], который в соответствии с международными стандартами подразумевает возможность описывать границы помещений в векторном виде как в 2D, так и 3D форматах, что представлено на Рисунках 8 и 9.

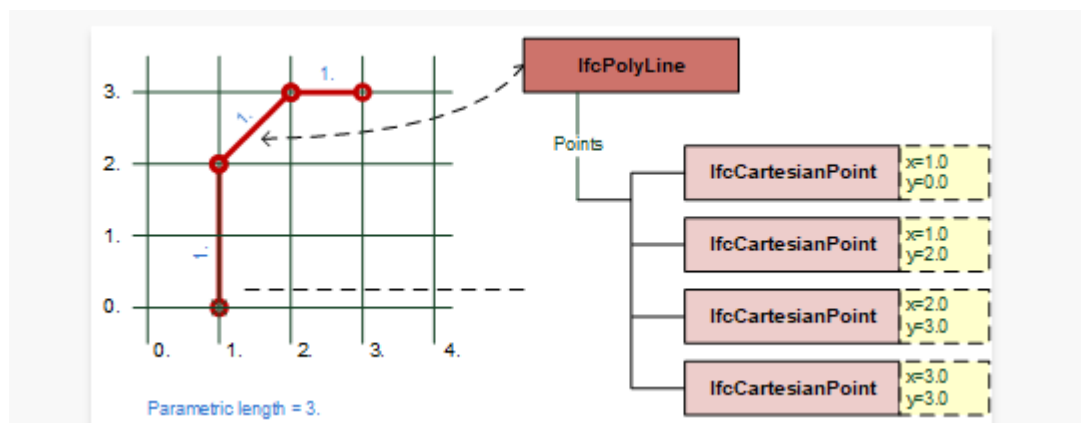


Рисунок 8 – 2D информация о границах помещения

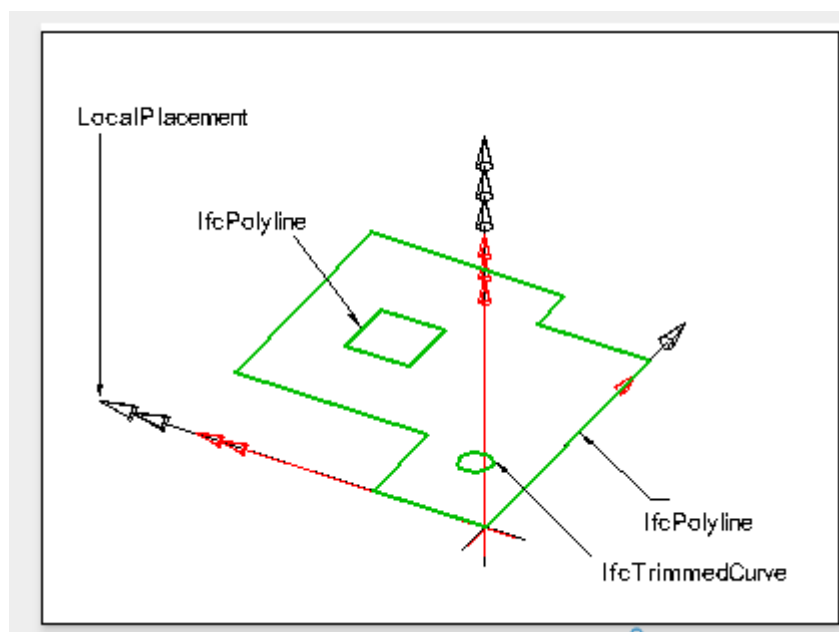


Рисунок 9 – 3D информация о границах помещения

В этом сценарии совершенствуется методика учета внутренней планировки зданий и сооружений за счет перехода от растровых планов к учету границ помещений в виде набора замкнутых полигонов на поэтажном плане. Таким образом, можно сопоставить аналогичные характеристики в ЦИМ и ЕГРН (Таблица 4).

Таблица 4 – Сопоставление типов данных в ЦИМ и ЕГРН

Атрибут ЦИМ	Характеристика ОКС в ЕГРН
IfcSpatialElement	Контур помещения
IfcSpatialElement	Контур здания
Qto_SpaceBaseQuantities	Площадь
IfcPropertySingleValue	Номер помещения

Данный подход позволит повысить технологичность кадастровых работ, сделает возможным повторное использование данных кадастра, в том числе при перепланировке. При вводе в эксплуатацию зданий одновременно с кадастровым учетом помещений данные из технического плана в векторном виде позволят автоматически актуализировать цифровую информационную модель в части описания площадей помещений и их границ, а в случае расхождений с проектными данными цифровой информационной модели (далее – ЦИМ) дадут возможность автоматически выявлять коллизии в данных модели и вносить корректировки в соответствии с общей концепцией применения технологий информационного моделирования.

1.5 Выводы по разделу 1

В разделе 1 рассмотрена возможная связь применения ТИМ и совершенствования системы учета недвижимости. Именно ТИМ могут позволить внедрить трехмерный кадастр. В свою очередь кадастровые инженеры способны утонять ЦИМ при переходе от строительной модели к эксплуатационной. Для методического сопровождения создания моделей в рамках кадастровой деятельности необходимо разработать определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета. Для целей методики ОКС классифицированы исходя из геометрических свойств значимых при выборе конкретных методов измерений и моделирования. Проанализированы классические методы сбора пространственных данных о помещениях. Сделан вывод о недостаточной проработке существующих требований, выявлена необходимость разработки единой методики, включающей существующие и перспективные способы сбора пространственных данных. Описаны недостатки попыток автоматизации обмерных работ. Показаны недостатки текущей системы учета поэтажных планов в растровом виде. Рассмотрены актуальные практики сбора данных с применением ПЛС, вопросы оценки точности и геодезического, фотограмметрического обеспечения построения трехмерной модели. На примере схожих типов готовых данных показана совместимость ТИМ и кадастра.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- рассмотреть методы определения координат характерных точек контура ОКС;
- рассмотреть текущие нормативы по оценке точности расстояний и площадей на поэтажном, предложить инструменты для автоматизации обработки измерений;
- подробнее рассмотреть теорию применения ПЛС;
- выработать общую схему методики.

2 Разработка методики определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета

2.1 Определение координат характерных точек контура

Основными нормативными документами для определения координат характерных точек контура ОКС являются приказы Росреестра [26, 27] и «Стандарт кадастровой деятельности» [67]. Выделяются следующие методы:

1. геодезический метод (полигонометрия, прямые, обратные или комбинированные засечки и иные геодезические методы);
2. метод спутниковых геодезических измерений (определений);
3. комбинированный метод (сочетание геодезического метода и метода спутниковых геодезических измерений (определений);
4. фотограмметрический метод;
5. картометрический метод;
6. аналитический метод.

В рамках разрабатываемой методики следует выделить некоторые особенности применения (неупомянутые в руководящих документах) вышеуказанных методов на практике.

В подавляющем большинстве случаев основным средством измерений, используемым при геодезическом методе, является электронный тахеометр. На сегодняшний день практически все доступные на рынке модели помимо угловых измерений имеют возможность определять расстояния в безотражательном режиме, что очень важно именно в отношении определения контуров ОКС. Именно это снижает количество недоступных для измерения точек. К недостаткам метода можно отнести зависимость от плотности опорной геодезической сети в непосредственной близости к объекту работ и, вследствие этого, необходимость задействовать в полевой бригаде минимум двух исполнителей для создания съемочного обоснования

путем проложения хода. Несмотря на то, что в нормативах [27, 67] приводятся формулы по оценке точности, на практике оценка точности определения местоположения происходит исключительно в программном обеспечении. В зависимости от сложности это программное обеспечение непосредственно средства измерения или программный продукт, обрабатывающий сырые данные до экспорта в САПР. Кроме того, нормативы не обязывают кадастрового инженера хранить сырые данные измерительного оборудования в привязке к конкретному объекту работ, что открыло бы широкие возможности к реальной проверке проведенных измерений, особенно с учетом крайне незначительного объема памяти, который занимают файлы сырых данных (в текстовых форматах производителей оборудования).

Следует отметить, что в случае проведения кадастровых работ инженером, являющимся сотрудником юридического лица, кадастровый инженер в подавляющем большинстве случаев самостоятельно не проводит натурных измерений, а лишь в той или иной мере обрабатывает данные, полученные коллегами непосредственно на объекте. Обычно исполнители, выезжающие на объекты, не являются кадастровыми инженерами, а требования к их образованию не установлены законодательством. Формально за точность всех пространственных характеристик отвечает только кадастровый инженер. Сама по себе ситуация, в которой кадастровый инженер лично не проводит измерений, не ухудшает качество и точность работ с условием достаточной квалификации прочих исполнителей. С экономической точки зрения такой подход вполне оправдан, исходя из принципа разделения труда [68], и позволяет повысить производительность, следует лишь законодательно урегулировать сложившийся порядок, закрепив правовой статус и требования к квалификации геодезистов и обмерщиков.

Главным преимуществом метода спутниковых геодезических измерений (определений) или спутникового метода в сравнении с геодезическим является простота в исполнении и возможность работать более удаленно от исходных пунктов. Разрабатываемая методика планируется к применению на землях населенных пунктов, поэтому не будем здесь рассматривать проблематику применения спутникового метода в труднодоступных и удаленных от населенных пунктов территориях.

Ограничениями при работе со спутниковым оборудованием являются сложности с доступностью неискаженного сигнала спутниковых систем навигации, что иногда происходит в плотной городской застройке или вблизи охраняемых объектов. Вторым ограничением можно назвать необходимость располагать спутниковый приемник в непосредственной близости от измеряемой точки. В последние годы в связи с совершенствованием спутникового оборудования (включением в него инерциальных датчиков, лазерных дальномеров и фотограмметрических систем) появилась возможность определять координаты точек на некотором удалении, но эффективно такая работа может проводиться на расстоянии, измеряемом десятками метров, и в отношении относительно несложной геометрии стен. По этому параметру спутниковое оборудование значительно уступает электронному тахеометру, который уверенно работает на больших дальностях и более удобен в фиксации даже замысловатых архитектурных элементов. Все это делает спутниковый метод неприменимым к определению координат в плотной застройке и в отношении сложных по форме объектов. В связи с широким внедрением сетей дифференциальных геодезических станций, зарегистрированных в установленном законом порядке [19], снизилась необходимость в самостоятельном определении параметров перехода к местной системе координат, применяемой в ЕГРН.

Синтезом геодезического и спутникового является комбинированный метод, лишенный недостатков обоих вышеперечисленных. Спутниковое оборудование в данном случае используется для создания съемочного обоснования, а непосредственно измерения проводятся электронным тахеометром (Рисунок 10). Методы идеально дополняют друг друга. Единственным ограничением для использования является невозможность работы спутникового приёмника по тем или иным причинам.

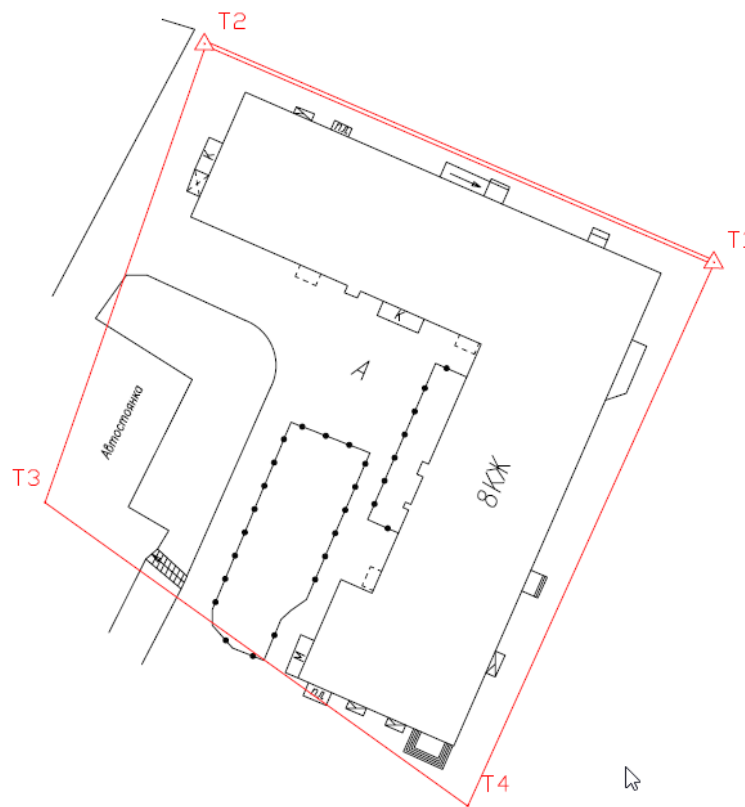


Рисунок 10 – Схема построения съемочной основы комбинированным методом

Фотограмметрия позволяет определить по снимкам исследуемого объекта его форму, размеры и пространственное положение в заданной системе координат, а также его площадь, объём, различные сечения на момент съёмки [69]. Т.е. согласно классическому определению в узком смысле фотограмметрический метод использует фотографические снимки, но на современном этапе под фотограмметрией в широком смысле подразумевают в том числе и обработку изображения, получаемые с помощью радиолокационных, лазерно-локационных, рентгеновских и других съемочных систем [70, 71]. Для целей разрабатываемой методики применимым является использование именно лазерных сканеров. Существуют ряд работ, в которых сравнивают эффективность применения лазерного и фотограмметрического (в узком смысле) методов, исследователи сходятся к преимуществам именно лазерного сканирования, при обработке которого для создания текстур используют фотографии [72, 73, 74, 75]. Большинство лазерных сканирующих систем имеют встроенные фотокамеры или возможность штатной установки их в качестве дополнительного оборудования. Обычно сканирование разделяют на следующие типы:

1. воздушное (в том числе с беспилотников)
2. наземное (на стационарных платформах)
3. мобильное (на движущихся платформах)
4. переносное (ручные сканеры на основе технологии SLAM [76, 77])

В кадастровых работах в отношении отдельных ОКС с необходимостью учитывать перепланировку или реконструкцию внутри помещений используется наземное и переносное лазерное сканирование. При этом наземное лазерное сканирование ввиду громоздкости оборудования нецелесообразно применять внутри ОКС, состоящих из набора небольших помещений. Переносное лазерное сканирование на основе технологии SLAM [78] (в англоязычной литературе принято называть LiDAR SLAM) особенно удобно применять для сбора информации при составлении поэтажных планов [79]. Особенности его применения для помещений рассмотрим ниже. Для моделирования фасадов зданий широко применяется наземное лазерное сканирование [80, 81]. Суть определения координат характерных точек контура фотограмметрическим методом заключается в построении трехмерной модели по результатам фотографирования и (или) сканирования фасадов и дальнейшей векторизацией в САПР, где аналитически определяются (снимаются) координаты [71].

Картографический и плановый материал сложно применить для определения координат характерных точек. На любом плане объект отображается в виде проекций конструктивных элементов на горизонтальную плоскость. При этом не всегда возможно отобразить контура на разных высотных отметках при наложении в плане. На топографических планах, как правило, отображается пятно застройки объекта, могут не показываться нависающие (надземные) части контура [82]. Другим важным фактором, ограничивающим применение метода, является точность, которую можно достичь, используя стандартные масштабы топографических и других планов [83]. Согласно [27] рассчитаем и приведем в Таблице 5 показатели СКП для различной картографической продукции в зависимости от вида и масштаба.

Таблица 5 – Зависимость СКП от масштаба и вида картографической продукции

Вид картографической продукции	СКП для 1:2 000, м	СКП для 1:1 000, м	СКП для 1:500, м
Карты (планы), фото-карты, ортофотопланы, созданные в аналоговом виде	2,40	1,20	0,60
Карты (планы), фото-карты, ортофотопланы, созданные в цифровом виде	1,40	0,70	0,35
Фотокарты, ортофото-планы, созданные в цифровом виде	1,00	0,50	0,25

Анализ Таблицы 5 показывает невозможность применения планов стандартной масштабной линейки для определения координат характерных точек конура ОКС на землях населенных пунктов. Требования [27] начинают соблюдаться только при использовании фотокарт, ортофотопланов, созданных в цифровом виде, масштабов 1:200 и крупнее. Применение таких материалов допустимо с условием отображения на них всех необходимых конструктивных элементов ОКС, о чем сказано выше.

Расчет координат новых точек границ объектов недвижимости при аналитическом методе производится с применением аналитической задачи, описываемой уравнениями. При этом аналитическая задача состоит из данных о координатах исходных точек и поставленных условий с применением формул геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии.

Аврунев Е. И., Вылегжанина В. В., Гиниятов И. А., Колмогоров В. Г., Ямбаев Х. К. в статье «Совершенствование аналитического способа вычисления границ земельных участков» [84] рассмотрели случай, при котором возможно перевести координаты характерных точек границ ранее учтенных земельных участков из условной системы координат в местную, принятую для ведения ЕГРН, в случае наличия известных параметров перехода к единой государственной системе координат. Для разрабатываемой методики такой подход возможно применить ввиду заведомого отсутствия исходных данных.

Опишем процесс вычисления координат недоступных для измерения точек контура здания, который до сих пор не формализован в стандартах кадастровой деятельности [67]. В общем случае такими недоступными точками могут являться углы ОКС. При условии возможности определения координат двух точек на каждой из стен, образующих недоступный для непосредственных измерений угол (Рисунок 11).

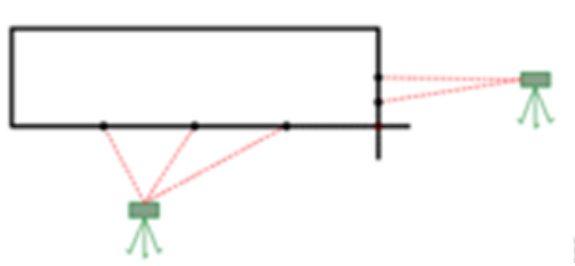


Рисунок 11 – Недоступная для измерения точка контура

В практике кадастровой деятельности она решается графически достраиванием прямых до их пересечения в среде САПР, что изображено на Рисунке 12.

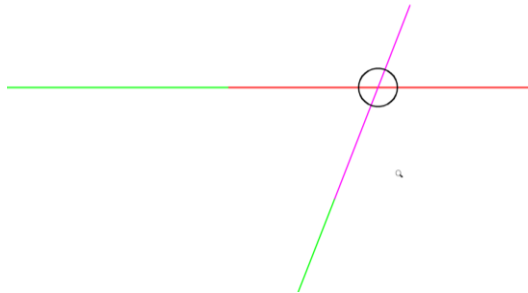


Рисунок 12 – Аналитическое определение координат в САПР

Аналитически эта задача описывается как решение системы уравнение пересечения двух прямых:

$$\begin{cases} \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - y_3}{y_4 - y_3} = \frac{x - x_3}{x_4 - x_3} \end{cases}, \quad (3)$$

где x, y – плоские прямоугольные координаты определяемой точки;

$x_1y_1, x_2y_2, x_3y_3, x_4y_4$ – плоские прямоугольные координаты известных точек.

На Рисунке 13 приведем пример решения системы уравнений (3) в среде SMath Studio (программа для вычисления математических выражений и построения графиков функций) [86].

Уравнения прямых

$$f(x; y) := \left(\frac{x - 1123,5702}{1137,8227 - 1123,5702} \right) - \frac{(y - 1659,3045)}{1673,3354 - 1659,3045}$$

$$g(x; y) := \left(\frac{x - 1182,0067}{1162,3433 - 1182,0067} \right) - \frac{(y - 1654,9180)}{1679,5314 - 1654,9180}$$

Решение системы линейных уравнений

$$\text{roots} \left[\begin{bmatrix} f(x; y) \\ g(x; y) \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \right] = \begin{bmatrix} 1154,3192 \\ 1689,5754 \end{bmatrix}$$

Рисунок 13 – Решение системы уравнений пересечения прямых в среде SMath Studio

Идентичные результаты дают графические построения в САПР.

Величина СКП определения координат характерных точек принимается равной величине СКП координат точек, используемых для вычислений. Для оценки точности возможно применять решение прямой задачи теории ошибок [85]. Согласно теории математической обработки геодезических измерений [85] предрасчетом ожидаемой средней квадратической ошибки функции называют решением прямой задачи теории ошибок. Отметим, что в нормативной литературе [26, 27] аналогичные предрасчётные величины называются СКП, далее будем придерживаться этого термина.

Надежно определить координаты подземного контура возможно только на одном из этапов строительства, когда открыты для наблюдения подземные строительные конструкции, что подразумевает использование исполнительной документации. Аналитически сложно описать геометрию подземного этажа, основываясь

на наземном видимом наружном контуре. Проще эту задачу решить, используя технологию переносного лазерного сканирования подземных помещений, но и тогда сложно измерить наверняка толщину стен подземных этажей.

2.2 Установление локальной системы координат и оценка точности при создании поэтажного плана

Ранее автором описаны основные нормативные источники, регламентирующие сбор пространственных данных о недвижимости. Развитием данной темы стала разработка Методики определения пространственных характеристики и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета. Ввиду очевидной необходимости обеспечить надежный контроль измерений внутренних размеров всех помещений этажа здания единицей применения данной методики может являться этаж или отдельная блок-секция здания, обладающая отдельным контуром, учитываемым в ЕГРН.

Для создания поэтажного плана локальной системе координат необходимо выполнить следующие шаги (Рисунок 14).



Рисунок 14 – Алгоритм создания поэтажного плана

После определения координат контуров каждого этажа здания выполняются внутренние обмеры здания. Для корректного составления поэтажного плана обмеры следует проводить в отношении всего этажа или изолированной (отделенной своим контуром) части этажа. Следует избегать ситуаций, когда обмеры производятся в отношении отдельных помещений, т.к. это не дает возможности сопоставить сумму внутренних размеров помещений с учетом толщин стен и перегородок и внешние габариты этажа здания. Внутренние размеры помещений определяются согласно разрабатываемой методике лазерными рулетками. В отдельных случаях,

когда перегородки и стены примыкают не под прямыми углами или размеры помещений более 30–40 метров, возможно применять электронные тахеометры или лазерные рулетки с угломерной частью и большей дальностью работы. Толщины внешних и внутренних стен, перегородок могут как непосредственно измеряться, например, с помощью кронциркулей, так и вычисляться исходя из разницы внутренних размеров помещений с измерениями, выполненными через дверные проемы смежных помещений. Сами размеры, описанные на Рисунке 15, используемые для построения планов, подразделяются на:

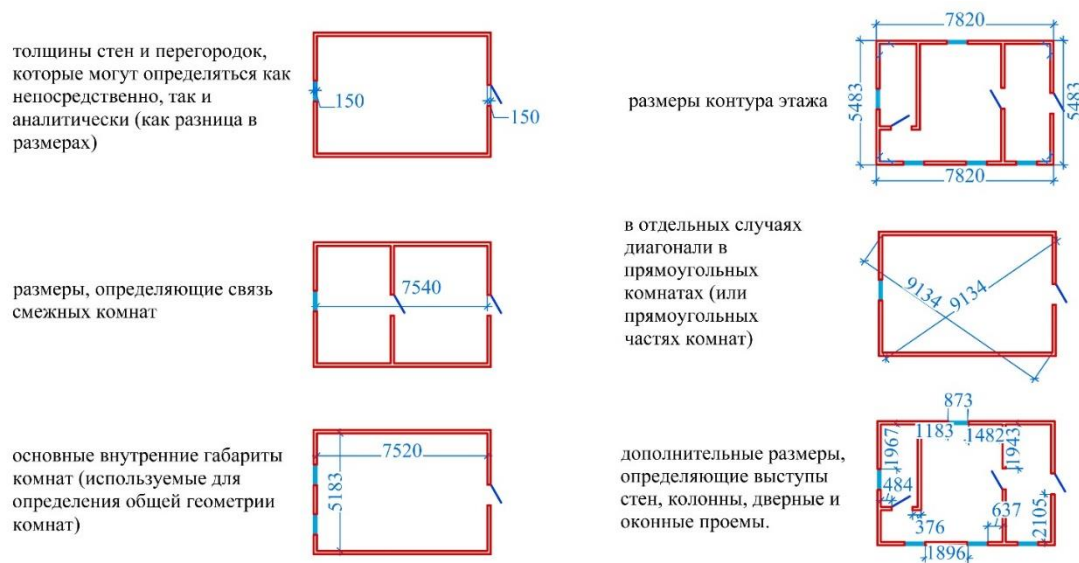
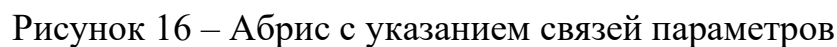


Рисунок 15 – Типы размеров

Обмеры следует выполнять покомнатно с обязательным ведением абриса. Наиболее удобно проводить измерения в одном направлении (например, по часовой стрелке) от входа в комнату, что позволяет осуществлять определения всех необходимых размеров. Сначала определяются дополнительные размеры (от дверного проема до угла комнаты, от угла комнаты до оконного проема и т. д.), после чего измеряют основные внутренние габариты и связи с другими комнатами, определяются доступные к измерениям толщины стен и перегородок. Допустимо применения косвенных измерений [97], использование кронциркуля или толщинометра (в случае однородности материала стен). Задача состоит в обязательном наличии избыточных измерений, которые будут в дальнейшем использованы для урав-

нивания результатов измерений и оценки точности. После зарисовки абриса помещения с достаточным количеством и качеством размеров составляются параметрические уравнения связи и поправок, определяются свободные члены уравнения поправок, производится уравнивание результатов измерений методом наименьших квадратов (параметрический способ уравнивания) [85]. Для создания поэтажного плана задается условная прямоугольная система координат. За точку отсчета принимается левый нижний угол этажа. При вычислениях на новом абрисе нумеруются по часовой стрелке точки углов комнат на всем этаже (нумерация сквозная по этажу). Составляется список размеров. У каждой измеренной величины добавляется индекс из двух чисел, обозначающих какие точки связывает этот размер. Толщинам стен и перегородок присваиваются произвольные порядковые индексы. Все эти обозначения номера точек, номера измерений и толщин наносятся на абрис для последующей идентификации при вычислениях. За параметры принимаются координаты (x, y) векторов, из которых состоят контура помещений. Параметрические уравнения должны описывать связь измерений длин стен, углов (при необходимости) и координат точек контуров помещений. Измерений должно быть больше, чем координат векторов, участвующих в уравнивании. Таким образом, в случае работы с четырехугольником минимальное количество измерений должно составлять 9. Это могут быть 4 угла, 4 стороны, толщина одной стены и связь с другой комнатой. Параметрические уравнения связи основаны на связи размера стены и разницы значений координат двух противоположных отрезков. Пример абриса приведен на Рисунке 16.


$$S_{2-3} = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}, \quad (4)$$

x, y – прямоугольные координаты в локальной системе.

$$S_{6-1} = \sqrt{(x_1 - x_6)^2}, \quad (5)$$

Для связи помещения с наружной стеной, измеренной геодезическим методом, определяется ее толщина. Такое измерение можно провести кронциркулем в

оконном проеме, узнать из проектной документации или сопоставить внутренние размеры помещений, толщины стен и перегородок с результатами определения контура этажа геодезическим методом.

После составления параметрических уравнений связи нужно составить параметрические уравнения поправок. Представим различные виды таких уравнений в виде таблицы (Таблица 6).

Таблица 6 – Виды параметрических уравнений поправок

Параметрическое уравнение поправок	Условие
$\nu_s = -\cos \alpha_{12} \partial x_1 - \sin \alpha_{12} \partial y_1 + \cos \alpha_{12} \partial x_2 + \sin \alpha_{12} \partial y_2 + l_s$ (4), где α – угол между примыкающими конструкциями; ν_s – значение поправки в выполненное измерение; ∂y_1 – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); l_s – свободный член уравнения поправок	для стороны в общем виде для стен и перегородок, пересекающихся в плане не под прямым углом
$\nu_{1-2} = -\partial y_1 + \partial y_2 + l_s$ (5), где ν_{1-2} – значение поправки в выполненное измерение; ∂y_1 – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); l_s – свободный член уравнения поправок	при условии ортогональности стен для горизонтальных участков («вправо» или $\alpha = 90^\circ$)
$\nu_s = \partial y_1 - \partial y_2 + l_s$ (6), где ν_s – значение поправки в выполненное измерение; ∂y_1 – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); l_s – свободный член уравнения поправок	при условии ортогональности стен для горизонтальных участков («влево» или $\alpha = 270^\circ$)
$\nu_s = -\partial x_1 - \partial x_2 + l_s$ (7), где ν_s – значение поправки в выполненное измерение; ∂x_1 – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); l_s – свободный член уравнения поправок	при условии ортогональности стен для вертикальных участков («вверх» или $\alpha = 0^\circ$)
$\nu_s = \partial x_1 - \partial x_2 + l_s$ (8), где ν_s – значение поправки в выполненное измерение; ∂x_1 – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); l_s – свободный член уравнения поправок	при условии ортогональности стен для вертикальных участков («вниз» или $\alpha = 180^\circ$)

Свободные члены в свою очередь выражаются как разность координат и результатов измерений.

$$l_{1-2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_3 - y_2)^2} - S_{1-2}, \quad (7)$$

где l – свободный член параметрического уравнения поправок;

S – размер стены или перегородки;

x, y – прямоугольные координаты в локальной системе.

Параметрические уравнения связи и поправок, вывод свободных членов приведены в Таблице 7.

Таблица 7 – Параметрические уравнения связи и поправок

№	Параметрическое уравнение связи	Параметрическое уравнение поправок	Свободные члены управления поправкам
1	$S_{1-2} = Y_{2-3} - Y_{6-1}$	$v_{1-2} = \delta y_{2-3} - \delta y_{6-1} + l_{1-2}$	$l_{1-2} = Y_{2-3} - Y_{6-1} - S_{1-2} =$
2	$S_{2-3} = X_{3-4} - X_{1-2}$	$v_{2-3} = \delta x_{3-4} - \delta x_{1-2} + l_{2-3}$	$l_{2-3} = X_{3-4} - X_{1-2} - S_{2-3} =$
3	$S_{3-4} = Y_{4-5} - Y_{2-3}$	$v_{3-4} = \delta y_{4-5} - \delta y_{2-3} + l_{3-4}$	$l_{3-4} = Y_{4-5} - Y_{2-3} - S_{3-4} =$
4	$S_{4-5} = X_{3-4} - X_{5-6}$	$v_{4-5} = \delta x_{3-4} - \delta x_{5-6} + l_{4-5}$	$l_{4-5} = X_{3-4} - X_{5-6} - S_{4-5} =$
5	$S_{5-6} = Y_{4-5} - Y_{6-1}$	$v_{5-6} = \delta y_{4-5} - \delta y_{6-1} + l_{5-6}$	$l_{5-6} = Y_{4-5} - Y_{6-1} - S_{5-6} =$
6	$S_{6-1} = X_{1-2} - X_{5-6}$	$v_{6-1} = \delta x_{1-2} - \delta x_{5-6} + l_{6-1}$	$l_{6-1} = X_{1-2} - X_{5-6} - S_{6-1} =$
7	$S_{7-8} = X_{8-9} - X_{10-7}$	$v_{7-8} = \delta x_{8-9} - \delta x_{10-7} + l_{7-8}$	$l_{7-8} = X_{8-9} - X_{10-7} - S_{7-8} =$
8	$S_{8-9} = Y_{9-10} - Y_{7-8}$	$v_{8-9} = \delta y_{9-10} - \delta y_{7-8} + l_{8-9}$	$l_{8-9} = Y_{9-10} - Y_{7-8} - S_{8-9} =$
23	$d_1 = Y_{2-3} - Y_{9-10}$	$v_{d1} = \delta y_{2-3} - \delta y_{9-10} + l_{d1}$	$l_{d1} = Y_{2-3} - Y_{9-10} - d_1 =$
27	$d_5 = X_{10-7} - X_{1-2}$	$v_{d5} = \delta x_{10-7} - \delta x_{1-2} + l_{d1}$	$l_{d5} = X_{7-10} - X_{1-2} - d_5 =$
31	$S_{4-8} = Y_{4-5} - Y_{7-8}$	$v_{4-8} = \delta y_{4-5} - \delta y_{7-8} + l_{4-8}$	$l_{4-8} = Y_{4-5} - Y_{7-8} - S_{4-8} =$
33	$d_7 = X_{5-6} - X_{A-B}$	$v_{d7} = \delta x_{5-6} + l_{d7}$	$l_{d7} = X_{5-6} - X_{A-B} - d_7 =$
34	$d_8 = Y_{6-1} - Y_{A-B}$	$v_{d8} = \delta y_{6-1} + l_{d8}$	$l_{d8} = Y_{6-1} - Y_{A-D} - d_8 =$
34	$d_8 = Y_{7-8} - Y_{A-B}$	$v_{d8} = \delta y_{7-8} + l_{d8}$	$l_{d8} = Y_{7-8} - Y_{A-D} - d_8 =$
35	$S_{4-5} = X_{8-9} - X_{5-6}$	$v_{4-5} = \delta x_{8-9} - \delta x_{5-6} + l_{4-5}$	$l_{4-5} = X_{4-5} - X_{5-6} - S_{4-5} =$

Для оптимизации процесса вычислений исходим из безусловной ортогональности поэтажного плана. Тогда каждый отрезок или вертикальный, или горизонтальный. У каждого отрезка есть две точки, либо одинаковые абсциссы, или одинаковые ординаты. Количество связанных размеров при выполнении обмеров

можно снизить до 5. В общем виде в прямоугольной комнате должны быть минимум определены два размера комнаты, две толщины стены и одна связь со смежной комнатой (тут не учитываются дополнительные размеры). По результатам измерений вычисляются приближенные координаты векторов, значения частных производных и свободных членов. Результаты носятся в матрицы A и L . Коэффициенты из параметрических уравнений поправок для каждого измерения вносятся в матрицу A , свободные члены уравнения поправок вносятся в матрицу L . Далее происходит приближенное вычисление всех параметров (координат характерных точек контуров помещений). После составления уравнений связи составляются параметрические уравнения поправок, вычисляются свободные члены, значения поправок и вносятся в матрицу L . Далее вычисления производятся согласно теории математической обработки геодезических измерений (далее – ТМОГИ), в результате определяем вектор поправок в измеренные длины стен.

С использованием методов ТМОГИ разработана программа для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)», автоматизирующая данный процесс вычислений. Самым трудоемким из которых являются создание электронного абриса (с указанием результатов измерений) и приближенные вычисления значений параметров, осуществляемые путем откладывания отрезков по сетке заданным шагом. Шаг сетки составляет 10 сантиметров, но при вводе существует возможность указать точное значение, на Рисунке 17 показан пример.

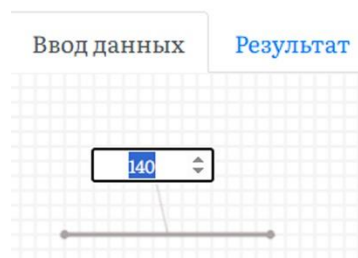


Рисунок 17 – Ввод данных в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)

Эти задачи решаются с помощью создания электронного абриса по существующей сетке. Исходя из заданного шага сетки и данных результатов внутренних обмеров (абриса) создается его электронная версия с внесением результатов измерений для дальнейшей обработки. Далее вычисления идут по описанному выше алгоритму. В результате ΔX вносят в приближенные вычисленные координаты (параметры), получая уравненные значения, проводят оценку точности. Уравненные значения координат характерных точек контуров помещений служат для создания «планировочного каркаса здания». Ниже на Рисунках 18-19 приведены примеры готового абриса, результата расчета площадей и уравнивания соответственно.

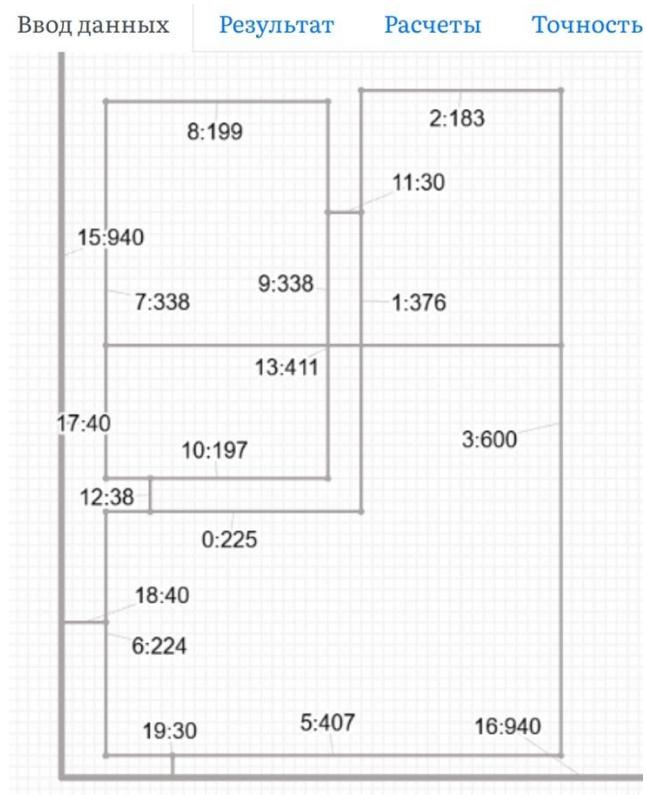


Рисунок 18 – Электронный абрис в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)

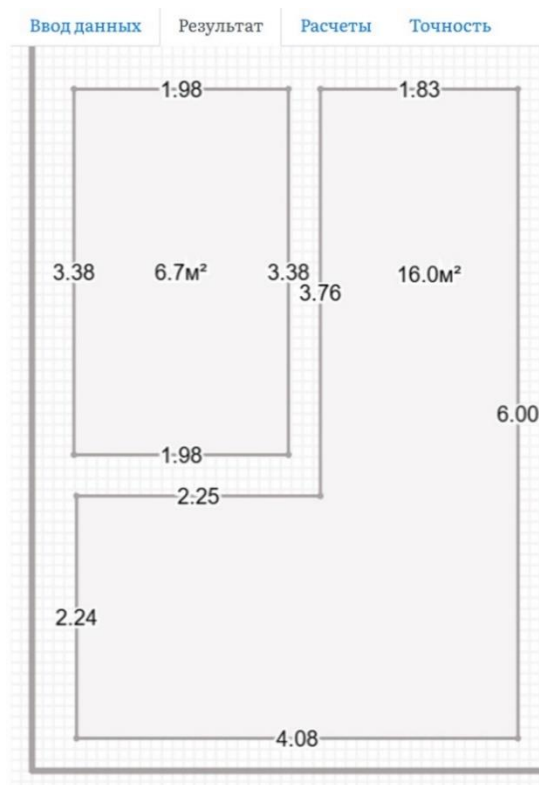


Рисунок 19 – Результаты вычисления площадей в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)

Ввод данных		Результат	Расчеты	Точность
#	$S_{изм}, см$		$V, см (поправка)$	$S_{уравн}, см$
1	225		0.29	225.29
2	376		0.00	376.00
3	183		-0.34	182.66
4	600		0.00	600.00
5	407		0.94	407.94
6	224		0.00	224.00
7	338		0.00	338.00
8	199		-0.63	198.37
9	338		0.00	338.00
10	197		1.37	198.37

Средняя квадратическая ошибка измеряемого расстояния $\mu = 0.92 см$

Рисунок 20 – Результаты уравнивания в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)

На Рисунке 20 приведены поправки в измеренные значения длин стен для части этажа (вектор поправок в измеренные длины стен). Стандартом [28] предусматривается допуск по ортогональности до 12 сантиметров. Из отчета исключены размеры, определяющие связи смежных комнат, измерения толщин стен и перегородок, т.к. эти значения не приводятся на итоговом поэтажном плане. Из Рисунка 18-19 следует, что проведено 14 измерений, которые связывают 10 параметров. Параметрами, как указано выше, являются координаты векторов, образующих контура комнат. А в рассматриваемом случае при заданном условии ортогональности стен для каждого отрезка за параметр принимается в зависимости от ориентации одна координата (x или y). При этом в матрице A не предполагается наличия параметрических уравнений углов со свободными членами. Разрабатываемая методика подразумевает предварительную классификацию объектов, приведённую в Таблице 1, и использование одного вида измерительного оборудования для типов № 1 и № 2, поэтому все измерения принимаются равноточными, что исключает необходимость применения в расчетах весовой матрицы P . Исходя из условия ортогональности перегородок в условной системе координат с использованием средств компьютерной графики создается поэтажный план. Программа стала частью разрабатываемой методики. Общая последовательность выполнения операций при создании планировочного каркаса приведена ниже (Рисунок 21).

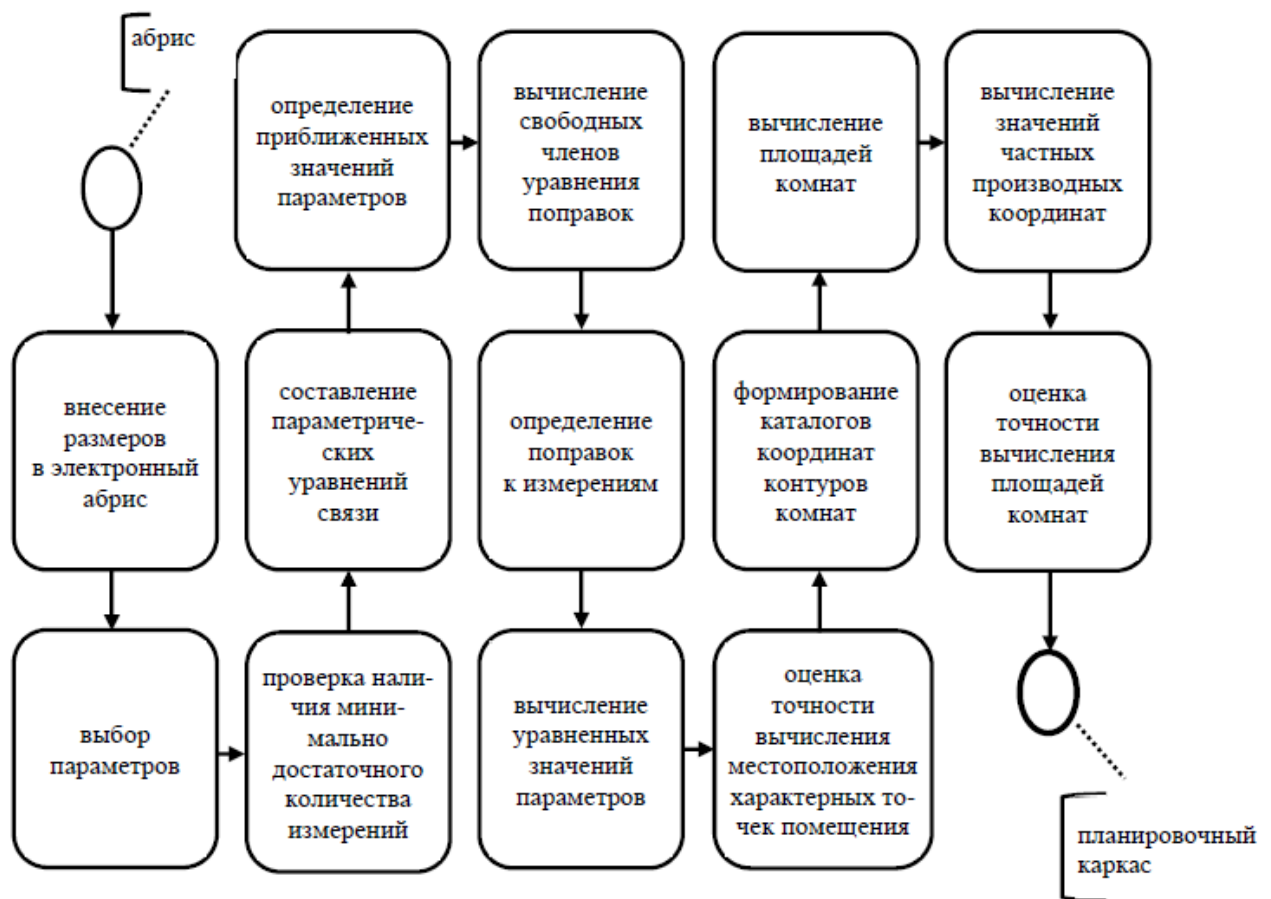


Рисунок 21 – Алгоритм работы Planner

Дальнейшие исследования по апробации разрабатываемой методики с использованием Planner должны дать ответы о корректности принятия угловых и линейных измерений равноточными и, как следствие, о возможном допуске по ортогональности поэтажного плана для кадастровой деятельности.

Результатом вычислений являются внесение поправок в выполненные измерения, а уравненные значения параметров (уже объединенные в связанные между собой вектора) позволяют в локальной системе координат создать чертеж, который служит основой для оформления поэтажного плана. Для чего, используя вспомогательные размеры, вычерчиваются условные знаки окон, дверей и прочих архитектурных элементов, которые, согласно требованиям к составлению поэтажного плана, необходимо отображать на чертеже. Планировочный каркас является исходными данными с составления xml и ifc файла. В отличие от традиционных методов создания поэтажных планов предлагаемая методика позволит сразу переходить к

определению площадей помещений, исключив этап разбиения помещений на простые геометрические фигуры, вычисляя площадь как функцию от локальных координат контура помещения на плане этажа. Кроме того, применение данной методики позволит наконец обеспечить воспроизводимость результатов составления поэтажного плана и определения площади в случаях расхождения линейных размеров у разных исполнителей, т.к. для каждого измерения длин стен и перегородок на плане будет проводиться оценка точности. Составление поэтажного плана в векторном формате для дальнейшего использования в различных информационных системах является теоретически востребовано в любом из возможных сценариев развития отечественной системы учета недвижимости [98]. В отличие от существующих методик предлагаемый подход позволяет однозначно описать и формализовать процесс установления размеров помещения и расчета площади при составлении поэтажного плана.

Использование методов ТМОГИ и установление локальной системы координат ОКС позволяет автоматизировать составление поэтажного плана, применять формулу Гаусса для определения площадей помещений, что создаст условия для повышения объективности отражения пространственных характеристик в ЕГРН, т.к. в отличие от существующих методик позволяет однозначно описать и формализовать процесс установления размеров помещения и расчета площади. Установление локальной системы координат при создании поэтажного плана позволит автоматизировать процесс вычисления площадей, повысит технологичность (степень автоматизации) создания поэтажных планов. Кроме того, поэтажный план, составленный с применением разрабатываемой методики, может послужить инструментом разрешения споров и дополнять перспективные технологии лазерного сканирования для большей автоматизации трехмерного моделирования, что является направлением продолжения исследований автора. Пример вычислений и алгоритм работы Planner приведен в Приложении Д.

2.3 Применение переносного лазерного сканирования для обмеров помещений и моделирования

В последние годы введен ряд национальных стандартов, регулирующих применение различных видов лазерного сканирования [87].

Данные стандарты описывают процессы получения и обработки облаков точек лазерных отражений (далее – облако ТЛО), представляющих из себя совокупность фиксируемых лазерным сканером точек поверхностей и объектов, характеризуемых пространственными координатами и интенсивностью отражения [88]. Под лазерным сканированием понимается метод определения пространственного положения объектов с помощью систем лазерного сканирования, стандартами подразумевается его применение и в кадастровой деятельности. Система лазерного сканирования представляет из себя программно-аппаратный комплекс для автоматического измерения расстояния и направления до поверхности объекта с помощью лидара с последующим формированием облака ТЛО. В качестве результата обработки данных лидарной съемки передают файлы с точками лазерных отражений в виде текстовых файлов (*.XYZ) [89]. Метод работы лидара основан на измерении расстояний путем излучения лазерного луча и замера времени возвращения отраженного луча [90]. Система лазерного сканирования, применяемая для ПЛС, обычно состоит из следующих элементов:

1. лидар;
2. накопитель памяти;
3. аккумулятор питания внутренний (внешний);
4. блок управления системой;
5. фотокамеры (различных типов);
6. приемники глобальных навигационных спутниковых систем (далее – ГНСС);
7. инерциальная навигационная система;
8. одометр.

При выполнении переносного лазерного сканирования внутри помещений без ГНСС-измерений для обеспечения необходимой точности работ на объекте съемки полезно размещать специальные марки, координаты центров которых получают геодезическим методом соответствующего уровня точности (в 2,5 - 3 раза превышающим результирующую точность съемки объекта сканирования) [91].

При проектировании переносного лазерного сканирования на основе технологии SLAM для применения внутри помещений для целей кадастра и моделирования:

- протяженность маршрута не должна превышать 2 км или 30 мин непрерывной съемки для обеспечения корректности вычисления траектории движения;
- следует избегать самопересечения траектории движения и движения вперед — назад, многократного сканирования одних и тех же объектов в ходе одной сессии сканирования;
- значительные по площади объекты рекомендуется подразделять на отдельные участки.

Программное обеспечение первичной обработки результатов лазерного сканирования, поставляемое в комплекте с прибором, должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать проверку целостности и корректности записи данных сканирования;
- выполнять уравнивание траекторий движения сканера;
- выполнять генерацию облаков точек;
- выполнять уравнивание облаков точек;
- выполнять наложение истинного цвета на облака точек;
- обеспечивать оценку точности уравненных данных с генерацией текстовых отчетов.

Для оценки точности результатов работ можно использовать опорные и контрольные точки (марки), закрепляемые на местности (объекте), их координаты

должны быть определены геодезическими методами в 2-2,5 раза точнее необходимой точности определения координат объектов внутри облака ТЛО. Опорные точки используют для внешнего ориентирования и связи облаков ТЛО, полученных из различных сессий сканирования, выполненных с перекрытием. Контрольные точки предназначены для оценки точности определения пространственных координат. СКП плановых координат и высот опорных и контрольных точек для масштаба 1:200 не должны превышать 0,05 м в плане и 0,03 м по высоте [92]. Сканирование с применением переносных систем выполняется по спроектированному маршруту с захватом всех опорных и контрольных точек (при их использовании). Маршрут сканирования может быть завершен на начальной точке. В ином случае он должен быть проложен между как минимум двумя опорными точками.

После уравнивания облаков точек ОКС, в отношении которого проводятся кадастровые работы, их следует поэтажно объединить и импортировать в САПР или ТИМ-платформу. На следующем этапе проводится векторизация [71]: создаются полилинии по контурам стен и перегородок, отмечаются оконные и дверные проемы, ниши и прочее в соответствии с требованиями [26, 27]. Отдельным важным шагом является сопоставление контура этажа по внутренним и наружным измерениям. На Рисунке 22 поэтажный план совмещен с габаритными размерами этажа, определенными комбинированным методом, что позволяет проконтролировать измерения и избежать грубых ошибок.

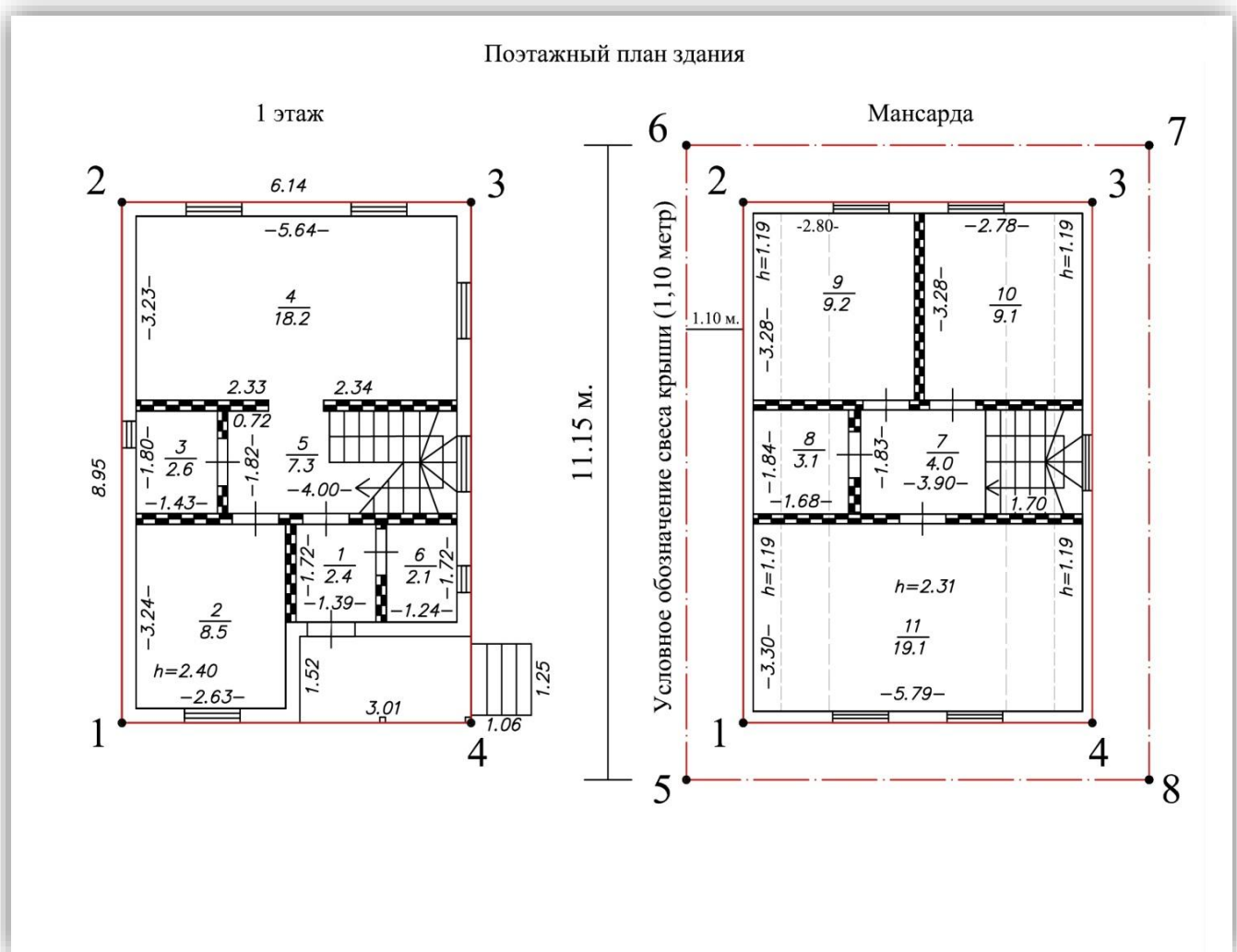


Рисунок 22 – Сопоставление поэтажного плана и контура ОКС

В процессе векторизации на первом этапе следует учитывать неортогональность строительных конструкций с учетом допусков [28], использовать информацию о наружном контуре ОКС. Получившийся в результате чертеж можно назвать обмерным планом, т.к. он содержит все необходимые данные для вычисления площадей, но еще не в полной мере соответствует требованиям по оформлению. Обмерный план подлежит ортогонализации. Векторизация облака ТЛО с созданием трехмерных объектов сводится к задаче обратного моделирования [93]. Для создания ЦИМ на основе поэтажного плана [94] необходимо указать местоположение координационных осей (Рисунок 23).

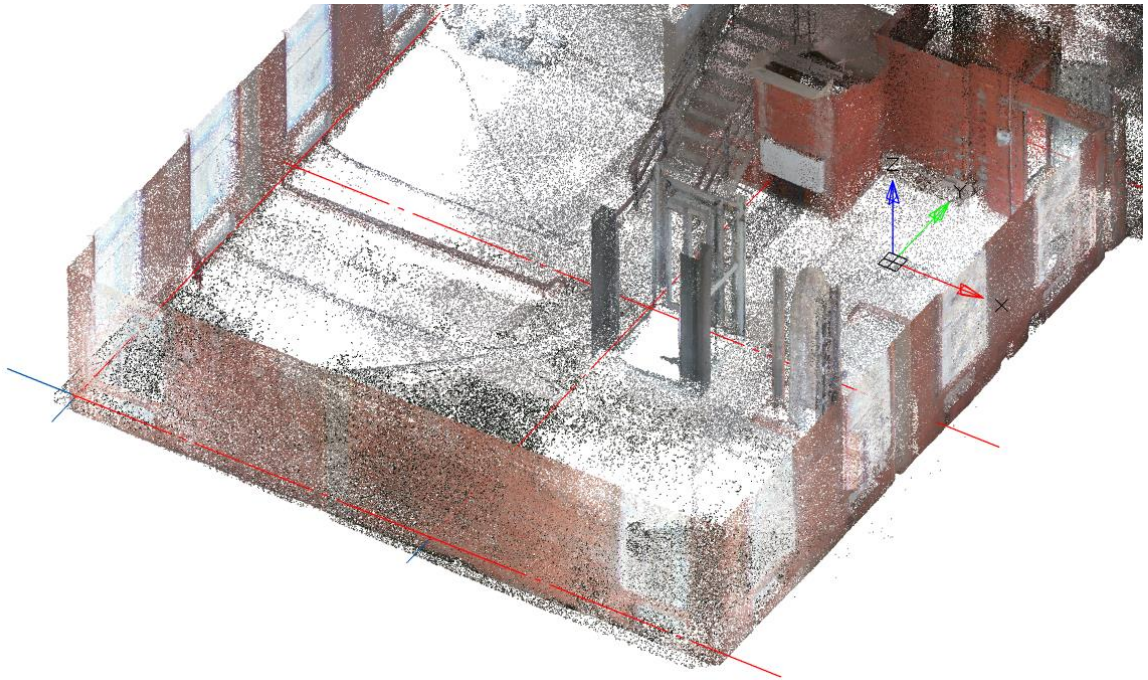


Рисунок 23 – Определение положения координатных осей в облаке ТЛО

С опорой на сетку осей ОКС происходит привязка параметрических объектов, являющихся элементами строительных конструкций: участками стен, оконными и дверными проёмами, перекрытиями и др.

После завершения моделирования непосредственно конструкций можно создать параметрические объекты, описывающие помещения, и экспортировать модель в формат ifc. Общая последовательность операций при моделировании приведена ниже в виде блок-схемы (Рисунок 24).

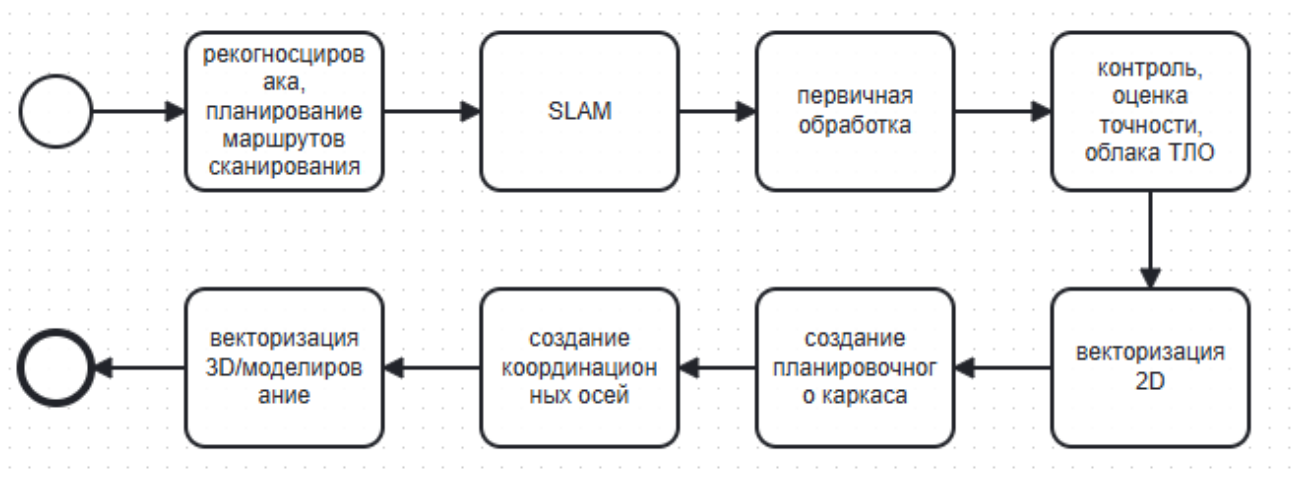


Рисунок 24 – Последовательность операций при моделировании

2.4 Оценка точности измерения расстояний и вычисления площадей при создании поэтажного плана

По приказу Росреестра №П/0393 от 23.10.2020 площадь определяется на основании натурных измерений объекта недвижимости как площадь простейшей геометрической фигуры или путем разбивки на фигуры и суммирования их площадей. Для оценки точности определения (вычисления) площади рассчитывается средняя квадратическая погрешность (СКП). Исходными данными для расчетов является экспликация, содержащая значения площадей и формулы их расчета исходя из линейных размеров, указанных на поэтажном плане, поэтажный план и сведения о СКП линейных измерений, по результатам которых составлен поэтажный план. Пример оформления исходных данных для работы программы представлен на Рисунке 25.

Литера	№ Этажа	№ Помещения	№ Части помещения	Назначение части помещения	Формула подсчета площади	Площадь с учетом неотопливаемых частей помещений
1	2	3	4	5	6	7
	1	1	1	Спальня	1.81*2.03	3,7
	1	1	2	Спальня	1.59*2.03	3,2
	1	1				6,9
	1	2	1	Спальня	2.30*2.39	5,5
	1	2	2	Спальня	Герон(2.30,1.17,2.58)	1,3
	1	2	3	Спальня	Герон(1.02,2.07,2.32)	1,1
	1	2				7,9
	1					14,8
	2	2	1	Спальня	2.30*1.71	3,9
	2	2	2	Спальня	Герон(2.30,1.85,2.95)	2,1
	2	2	3	Спальня	Герон(1.69,2.14,2.74)	1,8
	2	2				7,8
	2	3	1	Спальня	Герон(1.63,2.03,2.60)	1,7
	2	3	2	Спальня	Герон(2.03,1.63,2.60)	1,7
	2	3	3	Спальня	2.03*1.74	3,5
	2	3				6,9
	2					14,7
	3	4	1	Спальня	СегментАН(6.30,3.39)	17,1
	3	4	2	Спальня	Герон(9.63,9.03,9.60)	38,3
	3	4	3	Спальня	8.99*4.05-0.40*0.40-0.30*0.40	36,1
	3	4	4	Спальня	8.99*4.05-Герон(1.63,2.03,2.60)-СегментАН(6.30,3.39)	17,6
	3	4				109,1

Рисунок 25 – Пример исходных данных для вычисления СКП площади

Для оценки точности применяется решение прямой задачи теории ошибок [85]. Ниже для наглядности приведены общеизвестные формулы площадей геометрических фигур и выведены следующие формулы оценки точности вычисления их площадей. Для вычисления площади треугольника применяется формула Герона, т.к. она позволяет не выполнять дополнительных аналитических построений (или измерений высоты треугольника). Применяются только длины стен, которые должны быть определены для составления поэтажного плана, измерений углов не требуется.

$$\begin{aligned} P_f &= \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} \\ p &= \frac{a+b+c}{2} \\ m_{P_f} &= \frac{m_s}{8P_f} \sqrt{a^2(b^2+c^2-a^2)^2 + b^2(a^2+c^2-b^2)^2 + c^2(a^2+b^2-c^2)^2} \end{aligned} \quad , \quad (8)$$

где a, b, c – линейные размеры прямоугольные размеры помещения;
 m_s – СКП измеренного расстояния.

СКП площади прямоугольника рассмотрено в [27], но приведем здесь для целостной картины справочно.

$$\begin{aligned} P_f &= ab \\ m_{P_f} &= m_s \sqrt{a^2 + b^2} \end{aligned} \quad , \quad (9)$$

Сегмент окружности представляет из себя наиболее сложную фигуру для определения ее геометрических параметров без применения электронного тахеометра или ПЛС.

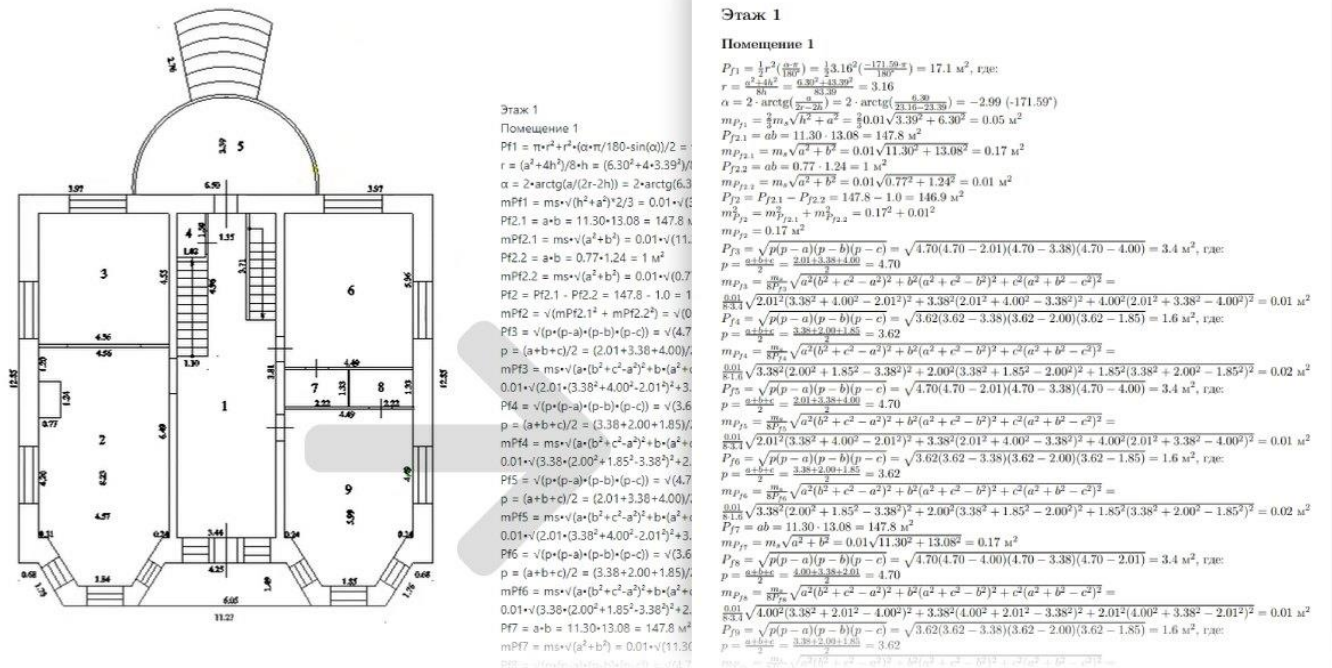
$$\begin{aligned} P_f &= \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180^\circ} \right) \\ r &= \frac{a^2 + 4h^2}{8h} \\ m_{P_f} &= \frac{2}{3} m_s \sqrt{h^2 + a^2} \end{aligned} \quad , \quad (10)$$

где h – длина высоты сегмента;

a – длина хорды сегмента;

α – угол дуги сегмента.

После импорта экспликации, содержащей площади и формулы их расчета с подставленными значениями линейных размеров, происходит вычисление итоговой СКП путем суммирования СКП фигур, участвующих в разбиении, вне зависимости от суммирования или вычитания фигуры из общей площади. Результат представляется в виде отчета (Рисунок 26).



По результатам регистрации получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024666929 Российская Федерация. Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner).

Для применения приведенных выше формул нужно определить СКП измерения расстояния (m_s) или длины на плане. В Стандартах кадастровой деятельности [29, 30, 32] и Методическом пособии «Примеры расчетов средней квадратической погрешности площади здания» [99] предлагается определять m_s по формуле Бесселя как СКП, отражающую неравенство стен при приведении поэтажного

плана к ортогональному виду. Кроме этого, погрешности при измерениях лазерной рулеткой могут возникать по следующим причинам:

- наличию угла, образованного между измеряемой плоскостью стены и лазерного луча;
- наклону стены по вертикали;
- примыканию стен и перегородок не под прямыми углами.

С учетом высокой точности измерительного оборудования (лазерных рулеток, ПЛС, электронного тахеометра) можем предположить, что наибольший вклад при расчете m_s вносит именно погрешность при приведении. СКП измерения самих длин без учета наклонов составляет первые единицы миллиметров.

Только для лазерных рулеток будет справедливо говорить о СКП линейных измерений. Для электронных тахеометров и ручных лазерных сканеров СКП длин будет определяться как для функции от измеренных величин. В данном случае длины будут определяться по формуле:

$$S_{1-2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (4),$$

а исходя из прямой задачи теории ошибок, принимая по принципу равных влияний $m_x = m_y = m_{xy}$

$$\begin{aligned} m_s^2 &= \left(\frac{ds}{dx_1} \right)^2 m_{x_1}^2 + \left(\frac{ds}{dy_1} \right)^2 m_{y_1}^2 + \left(\frac{ds}{dx_2} \right)^2 m_{x_2}^2 + \left(\frac{ds}{dy_2} \right)^2 m_{y_2}^2 = \\ &= \left(\frac{1}{2S} 2\Delta x \right)^2 m_{x_1}^2 + \left(\frac{1}{2S} 2\Delta y \right)^2 m_{y_1}^2 + \left(\frac{1}{2S} 2\Delta x \right)^2 m_{x_2}^2 + \left(\frac{1}{2S} 2\Delta y \right)^2 m_{y_2}^2 = \\ &= \left(\frac{\Delta x}{S} \right)^2 m_{xy}^2 + \left(\frac{\Delta y}{S} \right)^2 m_{xy}^2 + \left(\frac{\Delta x}{S} \right)^2 m_{xy}^2 + \left(\frac{\Delta y}{S} \right)^2 m_{xy}^2 = \\ &= \left(\frac{1}{S^2} \right)^2 m_{xy}^2 (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta x^2 + \Delta y^2) = \left(\frac{1}{S^2} \right)^2 m_{xy}^2 (S^2 + S^2) = \\ &= \left(\frac{1}{S^2} \right)^2 m_{xy}^2 (2S^2) = 2m_{xy}^2, \\ m_s &= \sqrt{2}m_{xy} \end{aligned} \quad (11)$$

Оценку точности вычисления расстояний по облаку ТЛО в можно проводить по разностям двойных измерений (при выборочном контроле лазерной рулеткой), так как разницы самих измерений для рулетки и ручного лазерного сканера будет иметь одинаковый вес.

Границы помещения для вычисления площади определяются границами геометрической фигуры, образованной внутренними поверхностями наружных стен такого помещения [26]. Одним из видов простых геометрических фигур, применяемых для определения границ помещений и вычисления их площадей, является простой многоугольник, площадь которого может быть определена по формуле площади Гаусса (формула землемера, или формула шнурования, или алгоритм шнурования), используя координаты вершин многоугольника.

$$P = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{n-1} x_i y_{i+1} + x_n y_1 - \sum_{i=1}^{n-1} x_{i+1} y_i - x_1 y_n \right| =$$

$$= \frac{1}{2} \left| x_1 y_2 + x_2 y_3 + \dots + x_{n-1} y_n + x_n y_1 - x_2 y_1 - x_3 y_2 - \dots - x_n y_{n-1} - x_1 y_n \right|, \quad (12)$$

или

$$P = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \right| =$$

$$= \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n y_i (x_{i+1} - x_{i-1}) \right| =$$

$$= \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i \right|$$

где x_i, y_i – координаты характерных точек контура;

P – площадь многоугольника, представляющего из себя границы помещений;

n – число сторон многоугольника.

Из чего следует, что при подсчете площади многоугольника происходит разбиение на треугольники, определяются площади треугольников с вершиной в начале координат и через координаты соответствующих вершин на сторонах такого многоугольника.

Согласно приложению N2 приказа Росреестра от 15.03.2022 N П/0082 одной из допустимых формул, используемых для определения средней квадратической погрешности определения площади простого многоугольника через координаты его вершин (характерных точек), является формула, указанная в п.5. Таким образом, средняя квадратическая погрешность вычисления площади многоугольника – отдельно взятой комнаты помещения.

$$m_p = 0.35m_t \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_{i-1})^2 + (x_{i+1} - x_{i-1})^2}, \quad (13)$$

где x_i, y_i – координаты характерных точек контура;

m_{xy} – средняя квадратическая погрешность измерения положения точек контура;

n – число характерных точек контура.

2.5 Формулирование методики

Методика предусматривает задействование трех типов исполнителей. Первым является кадастровый инженер, который ставит задачу на выполнение измерений, контролирует процесс на всех стадиях и формирует конечный продукт – поэтажный план или трехмерную модель объекта в зависимости от технического задания в договоре подряда на выполнение кадастровых работ. Непосредственно измерения проводит геодезист, задачей которого является классифицировать объект согласно методике, выбрать подходящий под задачи метод измерений и советующее оборудование, выполнить измерения и передать для дальнейшей обработки специалисту камерального отдела. В приложении Е приведена общая блок-схема методики. Процесс разбит на три блока по каждому из исполнителей, которые взаимодействуют между собой и могут выявлять недостатки предыдущего этапа и возвращать на доработку.

Работа начинается с постановки задачи от кадастрового инженера геодезисту на выполнение измерений. Для этого кадастровым инженером проводится анализ таких исходных данных (при наличии), как техническое задание, проектная документация, выписок из ЕГРН, поэтажных планов, экспликаций и технических паспортов, составленных бюро технической инвентаризации (БТИ), открытых картографических сервисов. Анализ вышеуказанных источников информации позволяет оценить трудоемкость планируемых работ. Геодезист, получив задание, определяет местоположения ОКС на земельном участке, проводит оценку точности (в том числе для точек, определяемых аналитически), алгоритм проиллюстрирован на Рисунке 27.



Рисунок 27 – Алгоритм определения координат контура ОКС

Далее специалист проводит рекогносцировку помещений, классифицирует объект и принимает решение о применяемом методе измерений внутренних помещений. На это решение влияет габаритные размеры помещений, режим доступа к объекту, сложность геометрии. В случае принятия решения о проведении обмерных работ без использования ПЛС измерения проводятся по алгоритму, описанному ниже (Рисунок 28).

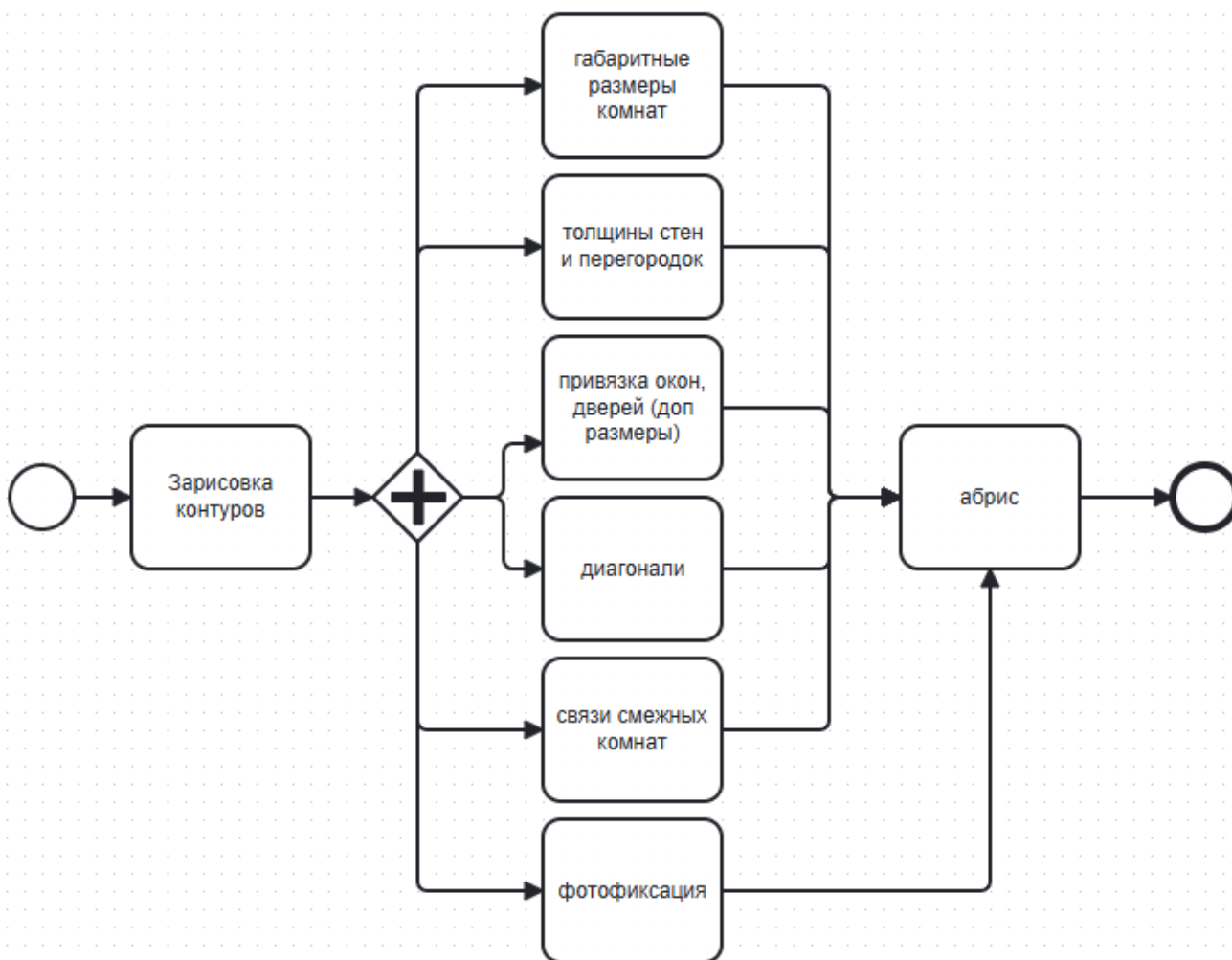


Рисунок 28 – Алгоритм обмеров

В случае выполнения внутренних обмеров лазерным дальномером или тахеометром он в САПР вычерчивает «планировочный каркас» каждого этажа. Для чего проверяют абрис, выбирают метод создания планировочного каркаса (приведение стен к прямым углам ручным способом или с применением Planner), проводят оценку точности. Алгоритм проиллюстрирован на Рисунке 29.

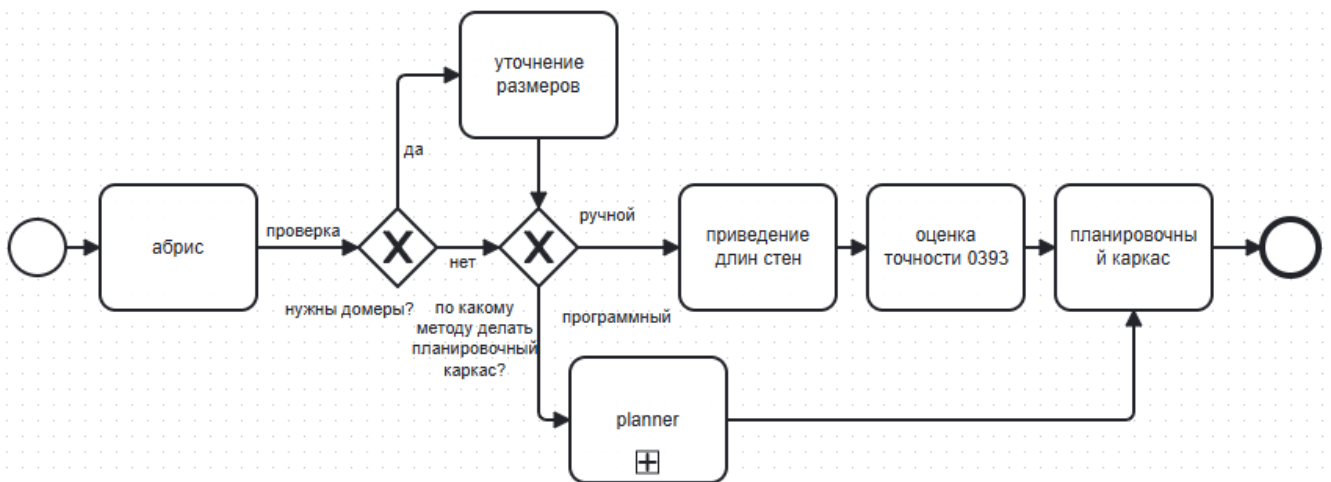


Рисунок 29 – Алгоритм составления планировочного каркаса

Результаты передают кадастровому инженеру вместе с абрисами и материалами фотофиксации для контроля результатов и завершения работ.

Применение ПЛС начинается с планирования маршрутов из-за существующих ограничений по длине и длительности маршрута. Кроме того, нужно планировать области перекрытия маршрутов и места для закрепления опорных и контрольных точек при их использовании. При этом следует при возможности минимизировать использование опорных точек, т.к. их координирование не всегда возможно и значительно повышает трудоемкость работ. Альтернативой избыточных измерений для последующей оценки точности могут быть контрольные измерения лазерной рулеткой и оценка точности по результатам двойных неравноточных линейных измерений. Блок-схема SLAM сканирования приведена на Рисунке 30.

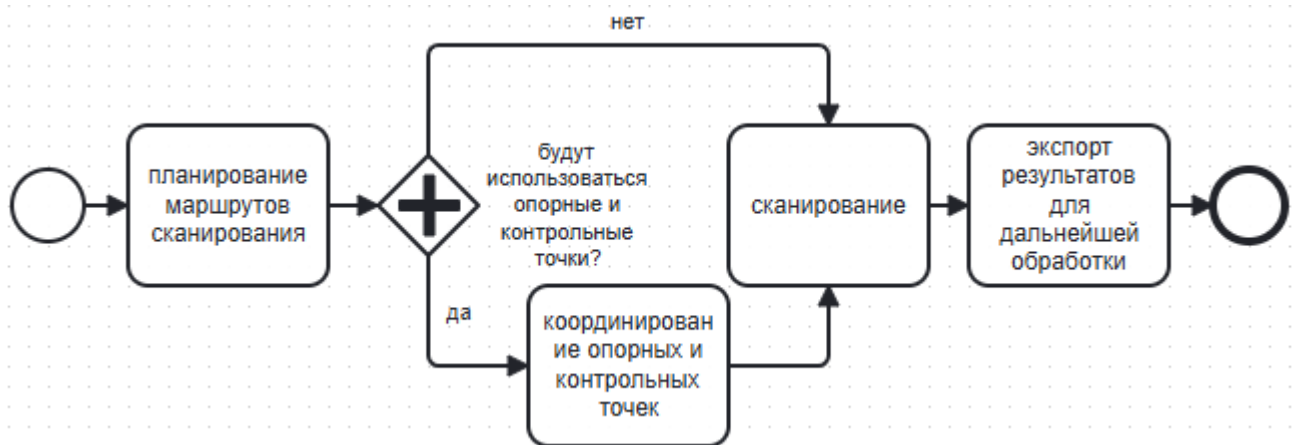


Рисунок 30 – Блок-схема SLAM сканирования

В случае применения ПЛС собранные данные в виде сырых файлов передаются специалисту камерального отдела, который проводит уравнивание и при необходимости сшивку облаков точек лазерного отражения (ТЛО). В ходе первичной обработки результатов в программном обеспечении, поставляемом вместе с мобильным лазерным сканером, выполняется частичная автоматическая (программная) классификация точек в облаке ТЛО, по контрольным точкам может выполняться оценка точности построения облака ТЛО, визуально выявляются артефакты (дефекты) в сканировании, обычно вызываемые плохими условиями освещенности или захламлённостью помещений. Далее происходит ручная векторизация облака ТЛО в среде САПР, сопоставление результатов сканирования и определения наружного контура (чаще всего геодезическим и комбинированным методом). В случае необходимости геодезисту ставится задача на частичное повторное выполнение обмеров, которое рациональнее проводить ручным способом лазерным дальномером с внесением конфигурации «домеряемых» помещений в САПР-файл векторизации облака ТЛО. После положительного завершения контроля формируется планировочный каркас, передаваемый для ортогонализации и оформления кадастровому инженеру. В случае трехмерного моделирования результат может быть представлен в виде файла с расширением .dxf для дальнейшего оформления в соответствии с техническим заданием, т.к. текущие нормативы не устанавливают других более детализированных требований.

2.6 Выводы по разделу 2

В разделе 2 описаны особенности применения различных методов определения координат характерных точек контура ОКС. Доказана возможность установления локальной системы координат при создании поэтажного плана. Путем составления параметрических уравнений связи параметров. В качестве параметров выступают координаты контура помещения в локальной системе. Данный подход обеспечивает возможность провести уравнивание результатов измерений и оценить их точность. Для целей автоматизации подобных вычислений разработана

программа для ЭВМ Planner, но в данном случае резко возрастает количество натурных измерений помещений. Для автоматизации предложено использовать ПЛС, в разделе 2 разобраны основные положения национальных стандартов, которые регламентируют применения технологии. Приведена технологическая схема моделирования по результатам обработки ПЛС. Необходимость разработки методики определения пространственных характеристик и моделирования (ОКС) для целей кадастрового учета обусловлена существующими недостатками системы кадастрового учета ОКС переходом к проектированию с использованием ТИМ. Установление локальной системы координат позволит автоматизировать процесс вычисления площадей, повысит технологичность (степень автоматизации) создания поэтажных планов. Рассмотрены вопросы предрасчета СКП линейных измерений в облаке ТЛО. Путем решения прямой задачи теории ошибок выведена зависимость между СКП определения координат измерения длин в облаке ТЛО.

$$m_s = \sqrt{2}m_{xy}, \quad (11)$$

Разработаны две программы для ЭВМ «Веб-сервис для расчета погрешностей определения площадей объектов капитального строительства (П/0393)» и «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)».

Для апробации методики необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть различные способы оценки точности измерений и вычислений;
- рассмотреть особенности векторизации облаков ТЛО.

3 Применение методики определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета

3.1 Отчеты об апробации

Автор имеет практический опыт обмерных и геодезических работ с 2011 года, за 2025 год принимал участие в сканировании и обработке его результатов (применение ПЛС в кадастровых работах) на объектах общей площадью чуть более 250 тыс. кв. м. С учетом требований был выполнен ряд экспериментов с использованием оборудования, информация о котором представлена в Таблице 8.

Таблица 8 – Используемое оборудование

Тип	Модель	Сертификат	Заводской номер	Свидетельство о поверке
Электронный тахеометр	SOUTH N40	№77919-20	276549	№С-ГСХ/24-11-2025/483489330 от 24.11.2025 до 23.11.2026
Лазерный дальномер	LEICA DISTO S910	№60792-15	5192330077	С-ГСХ/24-11-2025/483489329 от 24.11.2025 до 23.11.2026
Сканер лазерный мобильный	XGRIDS Lixel Kity K1	№95947-25	A443C3	№С-ВХН/17-11-2025/483076230 от 17.11.2025 до 16.11.2026

Проведено ПЛС этажа многоквартирного дома после завершения строительных и до завершения отделочных работ. Сканирование было выполнено дважды. В первом случае замыканием на начальную точку без использования опорных точек, а во втором с замыканием на начальную точку с использованием опорных точек. Протяженность маршрута сканирования составила 642,67 метра. Кроме того, геодезическим методом электронным тахеометром были определены координаты опорных и контрольных точек в условной прямоугольной системе этажа здания, СКП определения координат которых составила в плане 0,003 м и 0,002 м по высоте. Закрепление опорных и контрольных точек показано на Рисунке 31.



Рисунок 31 – Закрепление опорных и контрольных точек

В программном продукте LixelStudio были обработаны оба маршрута сканирования, готовые облака ТЛЮ импортированы в САПР nanoCAD для создания поэтажного плана (Рисунок 32).



Рисунок 32 – Облако ТЛЮ в среде САПР

По результатам оценки точности СКП определения местоположения контрольных точек внутри ТЛЮ составила 0,014 м в плане и 0,022 м по высоте. На

основании обоих облаков ТЛО созданы два типа поэтажных планов. В первом случае без учета приведения формы комнат к виду прямоугольников, что позволило учитывать при расчете площади неидеальную геометрию строительных конструкций (стен и перегородок) и рассчитать площади комнат по координатам характерных точек вершин полигонов с использованием формулы Гаусса. Пример поэтажного плана до ортогонализации показан на Рисунке 33. Во втором случае с приведением к прямым углам (Рисунок 34), т.е. к ортогонализации линий на плане, что некоторым образом исказило линейные размеры, но позволило в дальнейшем рассчитывать площади путем разбиения на простые геометрические фигуры. СКП (M_s) линейных измерений, определена исходя из средней величины неравности стен и составила 0,020 м.

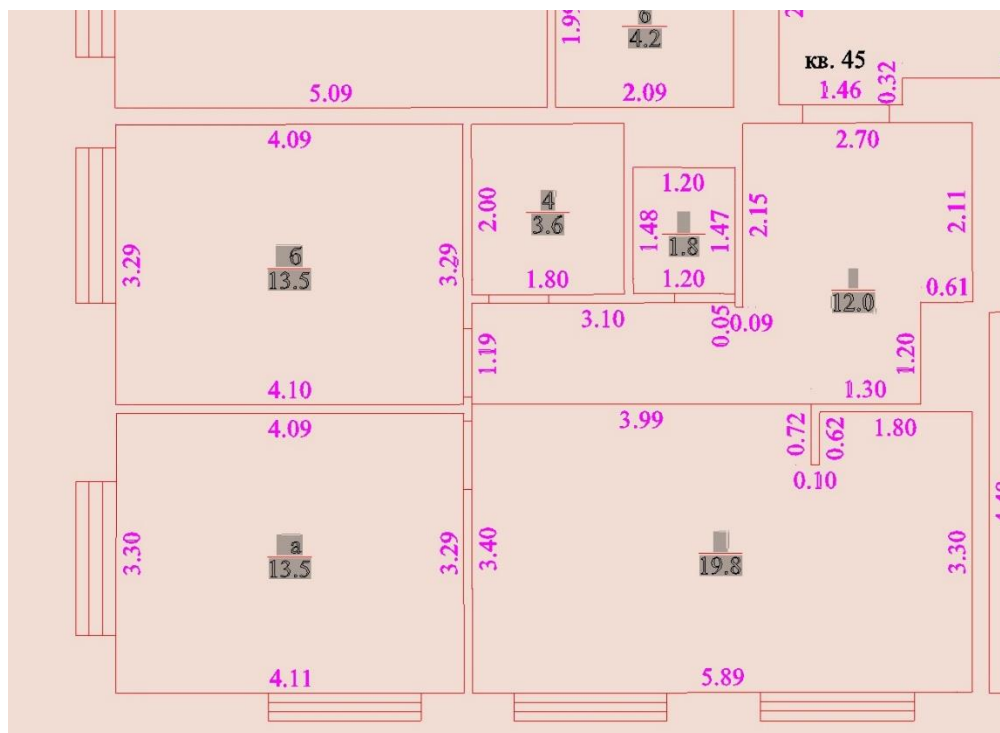


Рисунок 33 – Фрагмент поэтажного плана до ортогонализации

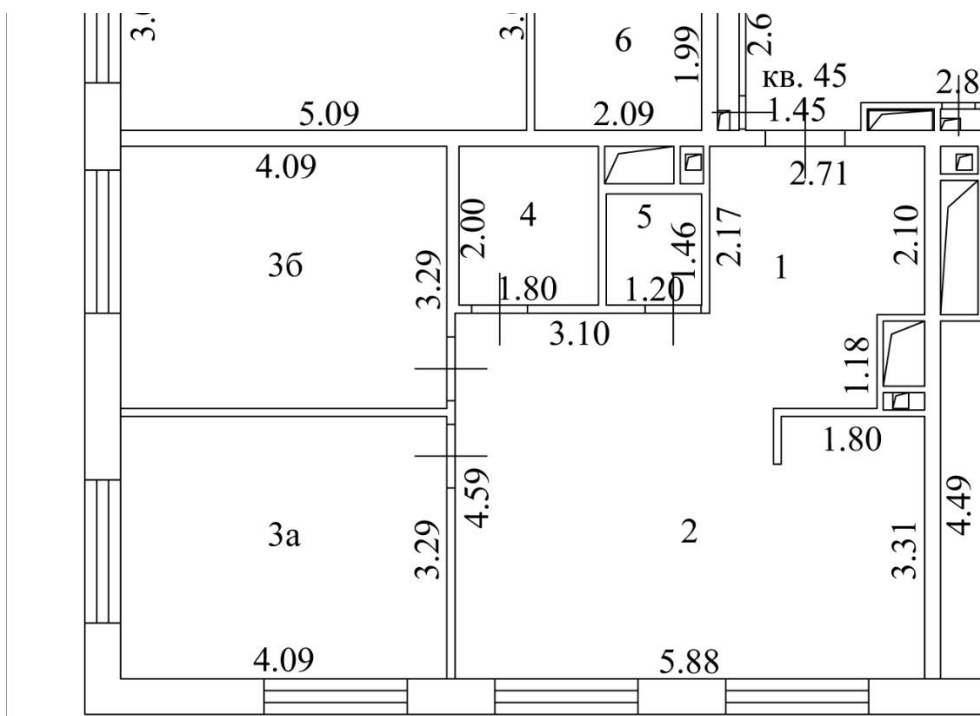


Рисунок 34 – Фрагмент поэтажного плана после ортогонализации

Поэтажные планы чертились путем создания векторного слоя разреза облака ТЛО на высоте сечения до 1,10 метра от уровня пола. Кроме этого, лазерной рулеткой были выполнены обмеры. Размеры помещений наносились на абрис, в качестве которого использовался лист проектной документации здания. После чего в среде САПР nanoCAD с учетом ортогонализации углов примыканий строительных конструкций был создан поэтажный план. Таким образом, в отношении исследуемого объекта (этажа строящегося многоквартирного дома) было составлено пять вариантов поэтажного плана:

1. по материалам сканирования с использованием опорных точек и без ортогонализации отрезков;
2. по материалам сканирования с использованием опорных точек с ортогонализацией отрезков;
3. по материалам сканирования без использования опорных точек и без ортогонализации отрезков;
4. по материалам сканирования без использования опорных точек с ортогонализацией отрезков;
5. по материалам обмеров лазерной рулеткой с ортогонализацией отрезков.

К каждому из вышеперечисленных вариантов составлена экспликация помещений, проведена оценка точности вычисления площадей. На этаже расположено 13 помещений, из них 7 квартир и 6 нежилых помещений общей площадью согласно проектной документации 516,4 кв. м.

По результатам обработки измерений проведено сравнение итоговых поэтажных планов и экспликаций. Сравнительные характеристики поэтажных планов приведены в Таблице 9.

Таблица 9 – Сравнительные характеристики поэтажных планов

Наименование сравниваемых характеристик	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Площадь, кв. м	519,0	520,0	520,2	520,7	521,8
СКП определения местоположения координат/ СКП линейных измерений, м	0,014/0,028	0,020	0,014	0,020	0,020
СКП вычисления площади, кв. м	0,11	0,73	0,11	0,73	0,42
Количество измеренных длин отрезков	662	662	662	662	130
Время съемки, мин	52	10	52	10	57
Время камеральной обработки, мин	120	140	110	140	120
Количество выявленных ошибок	0	0	0	0	2
Время дополнительных замеров, мин	0	0	0	0	20
Общее время выполнения работ, мин	172	150	162	150	197
Возможность использования для построения трёхмерной модели	да	да	да	да	нет

Продолжение Таблицы 9

Наименование сравниваемых ха- рактеристик	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Состав комплекта оборудования	компьютер с выделенной видеокартой, лазерный сканер, та- хеометр	компьютер с выделен- ной ви- деокартой, лазерный сканер, та- хеометр	компьютер с выделен- ной ви- деокартой, лазерный сканер	компьютер с выделенной видеокартой, лазерный сканер, та- хеометр	компьютер, лазерный дальномер
Стоимость ком- плекта оборудова- ния, млн. руб.	1,80	1,80	1,45	1,45	0,20

Суммарная площадь помещений этажа в каждом варианте отличается незначительно. В вариантах 1 и 3 для расчета применялась формула СКП (13) площади застройки сооружения, т.к. по своей конфигурации отдельные помещения близки к правильным геометрическим фигурам, как и сооружения, и в качестве параметров используют координаты характерных точек контура, СКП определения их местоположения, определенное выше (0,014 м в плане). Для вариантов 2, 4, 5 применялись рекомендуемые формулы СКП. Сравнение результатов показало, что при незначительном разбросе значений линейных размеров и площадей для пар вариантов 1 и 3, 2 и 4 СКП площади равны. В результате обработки измерений было подсчитано количество отрезков, используемых при составлении планов. Варианты основанные на обработке ТЛО кратно превышают по количеству измерений обмеры рулеткой. Кроме того, большее по сравнению с рулеткой количество выполненных измерений позволило точно указать на плане местоположение оконных и дверных проемов. В случае с обмерами лазерной рулеткой для окончательного оформления плана использовалась проектная документация, дополнительно пришлось затратить время на фотофиксацию объекта. При этом избежать грубых ошибок при неверной записи размеров в абрис не удалось, понадобилось дополнительно выезжать для определения контрольных размеров. Избежать грубых ошибок при оставлении планов по облаку ТЛО удалось. Для дешифрирования облака в зонах плохой видимости использованы фотографии со встроенных в оборудование фотокамер. Кроме

того, облако ТЛЮ возможно в дальнейшем использовать и для составления трёхмерной модели. На сканирование затрачивается гораздо меньше времени, чем на обмеры лазерной рулеткой, но в случае с координированием опорных и контрольных точек трудозатраты почти одинаковы. Камеральная обработка облаков ТЛЮ разделена на два этапа. На первом происходит уравнивание и экспорт материалов в САПР, где проходит непосредственно черчение. Время камеральной обработки при обмерах лазерной рулеткой несколько меньше, но разница нивелирована по причине дополнительных временных затрат на повторный выезд. В облаке ТЛЮ тоже могут присутствовать дефекты, которые потребуют дополнительного выезда на объект работ для контрольных измерений. В случае соблюдения технологии выполнения работ объем повторных измерений, как правило, незначительный. Обычно подобными проблемными местами являются отдельные комнаты, размеры которых уточняются лазерной рулеткой. Чаще повторные выезды на сканирование обусловлены проблемами обеспечения доступа к некоторым помещениям по производственным причинам. При общем сравнении технологии выполнения обмеров лазерной рулеткой и ПЛС можно сделать вывод о том, что в случае выполнения кадастровых работ в отношении объектов значительной площади резко растет количество ошибок, вызванных человеческим фактором. Чаще всего таковыми являются ошибки записи размера на абрис. При применении ПЛС человеческий фактор значительно меньше влияет на качество. Еще одним важным аспектом сравнения технологий является стоимость комплекта оборудования, но в случае с ПЛС мы получаем гораздо более высокую производительность работ и качество получаемых результатов.

Расхождение между приведенным и неортогонализованным поэтажным планом заложено нормативами по точности строительных работ. При этом на практике отсутствует традиция или необходимость вычерчивать поэтажный план с учетом кривизны, которая чаще всего не видна из-за графической точности масштаба, составляющей 5 мм в масштабе плана. При этом согласно государственному стандарту [28] строительные допуски изменяются в значительном интервале от единиц миллиметров до десятков сантиметров в зависимости от важности элемента.

Предусмотрены допуски линейных размеров, прямолинейности, перпендикулярности, равенства диагоналей, разбивки точек осей в плане и др. В ходе кадастровой деятельности уточнять класс строительной точности всех конструкций не представляется возможным, т.к. он не маркируется в проектной документации. Одновременно с этим единственным нормативным требованием к площади объекта в кадастровой деятельности является допуск на расхождение в 5% относительно площади, указанной в разрешении на строительство здания. На практике застройщики в договорах с инвесторами (в том числе физическими лицами) могут указывать предельные расхождения фактической и проектной площади помещений в 1 кв. м или 1% от проектных значений, что допускается принципом свободы договора. При этом сама по себе идея отказа от подсчета площадей помещений путем разбиения на простые геометрические фигуры привлекает снижением временных затрат при кадастровых работах, но одновременно перед кадастровым инженером стоит задача обеспечения достаточной точности в условиях нормативной неопределенности допуска за приведение к ортогональности. В такой ситуации для определения площадей помещений и указания линейных размеров предлагается использовать максимально точные данные, которые можно быстро собрать, используя технологию ПЛС, а для формирования непосредственно графического документа ортогонализировать отрезки, составляющие план, до вида, традиционно применяемого как в строительстве, так и в системе учета недвижимости. По результатам составлена блок-схема последовательности работ по созданию поэтажного плана на основе облака ТЛЮ, полученного по результатам ПЛС (Рисунок 35).

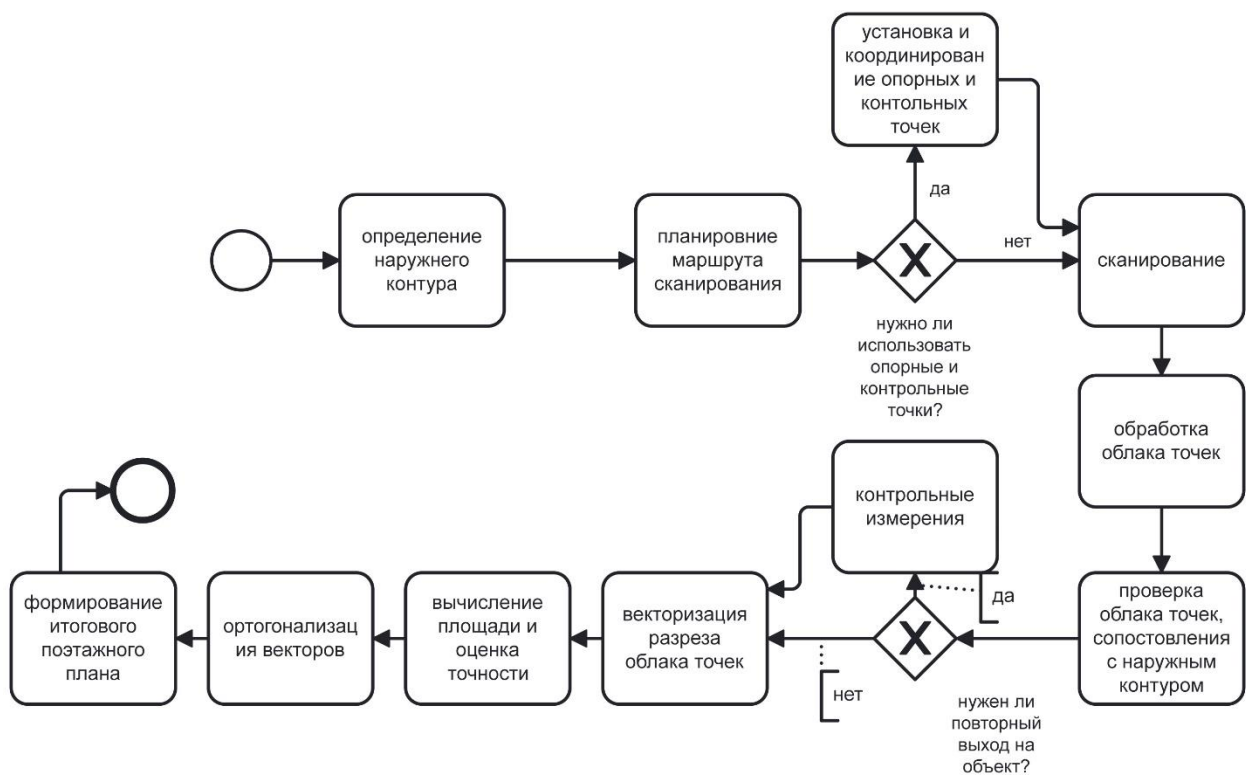


Рисунок 35 – Блок-схема последовательности работ по созданию поэтажного плана

Общая технологическая схема формирования поэтажного плана по результатам ПЛС состоит из нескольких этапов. Первым из них является подготовительный, который включает определение координат наружного контура этажа геодезическим или комбинированным методом, изучение исходных плановых материалов и (или) рекогносцировка с целью спланировать маршрут ПЛС. Полевой этап включает непосредственно сканирование и координирование опорных и контрольных точек (при необходимости). Камеральный этап включает уравнивание облака ТЛО, проверку на наличие грубых ошибок, контрольные измерения (при необходимости), векторизацию сечения облака ТЛО, формирование итогового поэтажного плана и экспликации. Дальнейшими направлениями исследования планируются применение автоматизация при векторизации облаков ТЛО, вопросы выбора условных знаков при составлении поэтажного плана с учетом различных уровней детализации плана или трехмерной модели. Создание поэтажного плана стен в локальной системе координат с ортогонализацией по материалам ПЛС на основе технологии SLAM отвечает требованиям кадастра. Показан практический пример использования данной технологии в кадастровых работах, проведено сравнение с

классической технологией обмеров. Проанализированы положения государственных стандартов, применяемые к ПЛС помещений, что может послужить основой для широкого практического применения данной технологии.

Одним из крупнейших объектов, на котором проводилась апробация методики, являлся строящийся жилой комплекс, расположенный в Москве. Объект представляет из себя два корпуса многоквартирного дома общей площадью порядка 56 тысяч квадратных метров, состоящий из 775 помещений. Кадастровые работы выполнялись для целей одновременного ввода в эксплуатацию и кадастрового учета с использованием измерительного оборудования, описанного в Таблице 8.

Работы проводились одновременно с использованием ПЛС и классическим способом (ручными обмерами лазерной рулеткой с ведением абриса). Кроме того, исходя из особенностей объекта для целей заказчика кадастровых работ специалистами БТИ была проведена техническая инвентаризация с составлением поэтажных планов и экспликаций. Все результаты сравнивались по основным параметрам. Стоит отметить, что ни в одном из рассматриваемых случаев не удалось обеспечить доступ во все помещения. Каждый раз те или иные из них были недоступны по производственным причинам (складирование материалов или оборудования в ходе строительных и отделочных работ). Эту особенность следует учитывать при планировании любых кадастровых работ в отношении всех типов ОКС. Одним из основных технических параметров сравнения результатов является точность. В данном случае для корректности сравнения ввиду применения различных технологий под средней квадратической погрешностью (СКП) измерения расстояния на плане (m_s) СКП понимается за неравенство стен при приведении помещения к правильной фигуре. В случае обмеров, выполненных специалистами, нам неизвестно количество ошибок, выявленных в ходе контроля, но оно теоретически должно быть примерно равно количеству грубых ошибок, допущенных кадастровым инженером в ходе обмеров лазерной рулеткой, что объясняется аналогичными методиками и квалификациями исполнителей, сходству точностных характеристик средств измерений (ручных лазерных дальномеров).

Таблица 10 – Сравнение способов составления поэтажных планов

Сравниваемый параметр/исполнитель	SLAM	Кадастровый инженер	БТИ
$m_s, \text{см}$	1	1	1
время выполнения, раб. дней	15	20	25
количество недоступных для измерения помещений, %	3	5	5
количество грубых ошибок измерений/ артефактов облаке ТЛО	8	23	н/д

Анализ результатов апробации (Таблица 10) показал следующее. При аналогичных точностных характеристиках ПЛС выигрывает в скорости сбора и объеме пространственных данных об объекте работ, минимизирует человеческий фактор возникновения ошибок при записи размеров на абрис. Это безальтернативно показывает необходимость применения ПЛС для создания трехмерных моделей, т.к. в противном случае нужно будет на порядки увеличивать количество ручных измерений и усложнять абрис. Различные способы выполнения обмерных работ показали одинаковую точность. Отчасти это может быть обусловлено высоким качеством строительных работ на объекте апробации, т.к. оценивалась именно ошибка при ортогонализации плана (неравенство длин параллельных стен). Для объектов с более грубыми строительными допусками были получены другие результаты. В таких случаях наблюдалось еще большее превосходство ПЛС, т.к. при обмерах исключительно лазерной рулеткой кратно росло количество линейных измерений и, как следствие, количество грубых ошибок. Автор предлагает не просто всегда применять ПЛС, а вписать его в технологическую цепочку кадастровых работ наравне с классическими методами, что позволит использовать сильные стороны технологии, нивелировать ее сложность при исправлении незначительных артефактов облаков ТЛО или не использовать для простых объектов. Создание поэтажного плана в локальной системе координат с ортогонализацией по материалам ПЛС на основе технологии SLAM отвечает требованиям кадастра. Показан практический пример использования данной технологии в кадастровых работах, проведено сравнение с классической технологией обмеров. Установление локальной системы координат при создании поэтажного плана позволит автоматизировать процесс вычисления

площадей, повысит технологичность (степень автоматизации) создания поэтажных планов. Кроме того, поэтажный план, составленный с применением методики, может послужить инструментом разрешения споров о площади и линейных размерах помещений, дополнять технологии лазерного сканирования для большей автоматизации трехмерного моделирования, что является направлением продолжения исследований автора.

3.2 Оценка точности результатов

Для СКП вычисления площади по формуле (13) приходится выполнять большое количество рутинных вычислений, т.к. для каждой комнаты необходимо оперировать координатами всех точек ее контура. С целью автоматизации вычислений для применения в Autocad был разработан плагин AreaErrorPlugin (команда AREERR), который добавляет в AutoCAD команду AREERR для расчета погрешности площади по выбранным замкнутым полигонам. Алгоритм работы приведен в Приложении Е. Команда выполняет следующие функции:

- использует уже выделенные до запуска команды полигоны (если есть);
- иначе просит выбрать полигоны;
- берет номера и обозначения полигонов с активного слоя (слой, который был текущим в момент запуска команды);
- для обычного текста допускаются любые обозначения (вся строка копируется без обрезки), включая буквы, цифры и любые разделители;
- для блока ищет текстовые значения внутри блока и берет верхний текст с целым числом/буквенным обозначением;
- считает погрешность каждого полигона;
- считает общую погрешность по формуле (13) $mp = \sqrt{(mp1^2 + mp2^2 + \dots)}$;
- сохраняет текстовый отчет `.txt` и открывает его автоматически.

Использование команды AREERR

1. Откройте нужный чертеж в AutoCAD.

2. (Необязательно) заранее выделите замкнутые полилинии.
3. Введите команду `AREERR`.
4. Подтвердите `m\_t` по умолчанию (`0.02`) или введите свое значение.
5. Введите номер (обозначение) помещения.
6. Если оставите поле пустым и просто нажмете Enter, строка помещения в отчете добавлена не будет.
7. Если объекты не были выделены заранее, выберите нужные замкнутые полилинии по запросу команды.
8. Дождитесь завершения расчета.
9. Откроется текстовый отчет с:

строками `mp1`, `mp2`, ... по каждому полигону и итоговой строкой `mp`
 $= \sqrt{(mp1^2 + mp2^2 + \dots)}$.

В отчете сначала идут строки по каждому полигону:

Для помещения 12: $mp1 = 0.35 * m_t * \sqrt{(\sum((y(i+1)-y(i-1))^2 + (x(i+1)-x(i-1))^2))}$
 $= 0.35 * 0.02 * \sqrt{(\dots)} = \dots$ кв.м. $mp2 = \dots$ $mp = \sqrt{(mp1^2 + mp2^2 + \dots)} = \sqrt{(\dots + \dots)} = \dots$ кв.м.
 Файл отчета всегда один и тот же (перезаписывается при каждом запуске команды).
 Применяются символы, которые допустимы для поля «заключение кадастрового инженера», согласно актуальной xml-схеме технического плана.

Не всегда возможно при ПЛС использовать опорные и контрольные точки, поэтому стоит задача оценки точности иным способом. Предлагается выполнять контрольные промеры лазерной рулеткой. В проведенном эксперименте из почти 600 размеров, определенных при ПЛС, выбраны 92, которые были проконтролированы лазерной рулеткой. Из поэтажных планов по вариантам 1, 3 и 5 были выбраны длины 92 линий и занесены в таблицу (Приложение Ж).

Пусть $d_i = l_{рул_i} - l_{плс_i}$, тогда все разности d_i равнозначны между собой, т.к. вычислялись как разности двух рядов равнозначных измерений внутри каждого ряда.

$$m_d^2 = m_{l_{рул}}^2 + m_{l_{плс}}^2$$

Отсюда, если принять $\mu^2 = m_d^2$, то веса всех d_i будут равны единице.

Веса $l_{рул_i}$ $P_{l_{рул}} = \frac{\mu^2}{m_{l_{рул}}^2}$, а веса $l_{плс_i}$ будут равны $P_{l_{плс}} = \frac{\mu^2}{m_{l_{плс}}^2}$

Где $m_{l_{рул}}^2 = \mu^2 \frac{1}{P_{l_{рул}}}$, аналогично $m_{l_{плс}}^2 = \mu^2 \frac{1}{P_{l_{плс}}}$

В случае, если критерий $\left[\left[d \right] \right] \leq 2,5 \frac{\left[\left[d \right] \right]}{\sqrt{n}}$ выполняется, что означает систематическая ошибка в разности d отсутствует, то для определения m_d используют формулу Гаусса:

$$m_d = \sqrt{\frac{\left[d^2 \right]}{n}}$$

Если критерий $\left[\left[d \right] \right] \leq 2,5 \frac{\left[\left[d \right] \right]}{\sqrt{n}}$ не выполняется, то формулу Бесселя:

$$v_{d_i} = d_i - \bar{d}$$

$$\bar{d} = \left[d \right] / n$$

$$m_d = \sqrt{\frac{\left[v_d^2 \right]}{n-1}}$$

Отметим, что значение СКП в разделе 1 путем решения прямой задачи теории ошибок является предрасчетом.

Для назначения весов измерений СКП определения длин рулеткой примем равной 1,0 см, как общая накопленная ошибка по сумме всех погрешностей, что подтверждается [32], а СКП определения длин по материалам ПЛС примем равной 1,2 см (как разброс точек отражения стены в облаке) (Рисунок 36), что соответствует значению относительной точности оборудования, заявленного на сайте официального поставщика в Россию. Были проведены вычисления разностей в парах 5-3 и 5-1. Результаты вычислений приведены в Приложении Ж. В обоих случаях: $m_d = \mu = 1,0 \text{ см}$

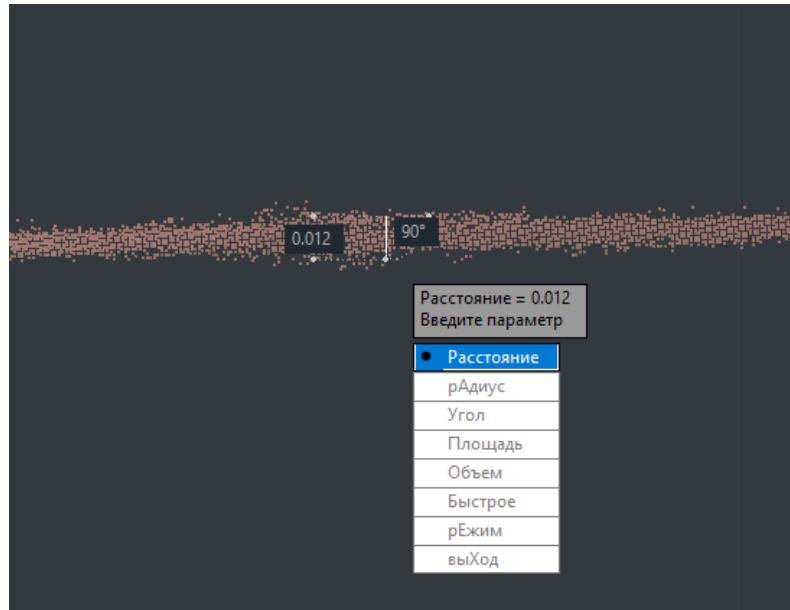


Рисунок 36 – Разброс точек отражения стены в облаке

В таком случае СКП вычислим следующим образом.

$$P_{lрул} = \frac{\mu^2}{m_{lрул}^2}$$

$$P_{lрул} = \frac{1,0^2}{1,0^2} = 1,00$$

$$m_{lрул}^2 = \mu^2 \frac{1}{P_{lрул}}$$

$$m_{lрул}^2 = 1,0^2 \frac{1}{1,00^2} = 1,0$$

$$m_{lрул} = 1,0 \text{ см}$$

$$P_{lнлс} = \frac{\mu^2}{m_{lнлс}^2}$$

$$P_{lнлс} = \frac{1^2}{1,2^2} = 0,69$$

$$m_{lнлс}^2 = \mu^2 \frac{1}{P_{lнлс}}$$

$$m_{lнлс}^2 = 1,0^2 \frac{1}{0,69} = 1,4$$

$$m_{lнлс} = 1,2 \text{ см}$$

Встаёт вопрос о необходимом количестве контрольных измерений. Инструкция о проведении учета жилищного фонда в Российской Федерации предусматривает проверку до 25% взятых при съемке измерений по зданиям, но с учетом исключения ошибок, вызванных невнимательностью исполнителя (т.к. он вручную не ведет записей измерений), объем контрольной выборки можно сократить. Величину такого сокращения предстоит исследовать отдельно. Представляется целесообразным контролировать размеры отдельных помещений с плохими условиями для работы SLAM сканера (плохое освещение и захламленность).

Использование опорных точек при ПЛС позволяют объединять различные сессии сканирования через область перекрытия. Минимальное количество опорных точек три. Определение координат и высот опорных и контрольных точек надежнее проводить электронным тахеометром, но не всегда это возможно. Например, в помещении может быть закрыт доступ с громоздким оборудованием. Проведен эксперимент по координированию опорных и контрольных точек лазерной рулеткой. Исследуемое помещение (Рисунок 37) представляет две смежных офисных комнаты (1 и 2) и прилегающий коридор (3).

Было выполнено две сессии ПЛС. В первом случае комната 2 и коридор 3 с проходом по 1. Во втором случае комната 1 и коридор 3. Такие измерения повторены дважды сначала с использованием в качестве опорных точек 1,2,3, а затем 1,2,4. Базис между точками 1 и 2 измерялся лазерной рулеткой на одной заданной высоте. Точке 1 заданы координаты 0,0. Точке 2 заданы координаты 0, S. Высота общая h. Точка 3 определена двумя измерениями параллельно стенам. Координаты точки 4 вычислены прямой засечкой с точек 1 и 2.

После этого электронным тахеометром по координатам были определены координаты точек 1,2,3 и контрольных точек 4, 5,6. Координаты 5 и 6 не определялись лазерной рулеткой. В результате оценки точности облаков ТЛО в СКП в плане составили 4 мм. СКП высоты составило около 10 см, но это обусловлено особенностями ПО LixelStudio: не удалось корректно в облаке ТЛО задать положение контрольных точек, лежащих в плоскости стены, для оценки точности. При контрольных измерениях высот потолков лазерной рулеткой они сошлись с данными высот в облаке ТЛО (Рисунок 38).

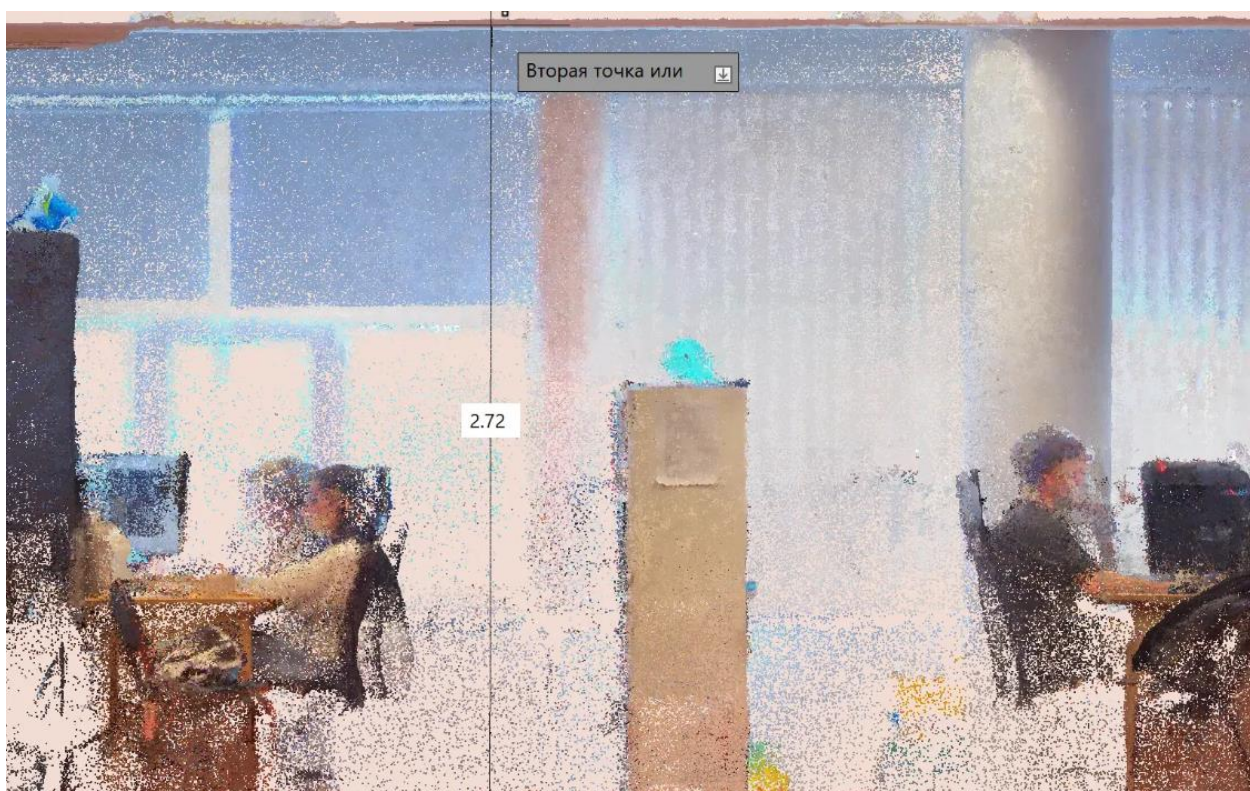


Рисунок 38 – Контроль высоты в облаке ТЛО

Как показано выше, результаты первичной векторизации материалов ПЛС подлежат дальнейшей ортогонализации. Для этого возможно использовать алгоритм Planner путем создания электронного абриса и последующих вычислений.

В ходе другого эксперимента проведено ПЛС первого этажа строящегося индивидуального жилого дома, проведена векторизация, определены размеры и площади помещений, составлен планировочный каркас в САПР (Рисунок 39).

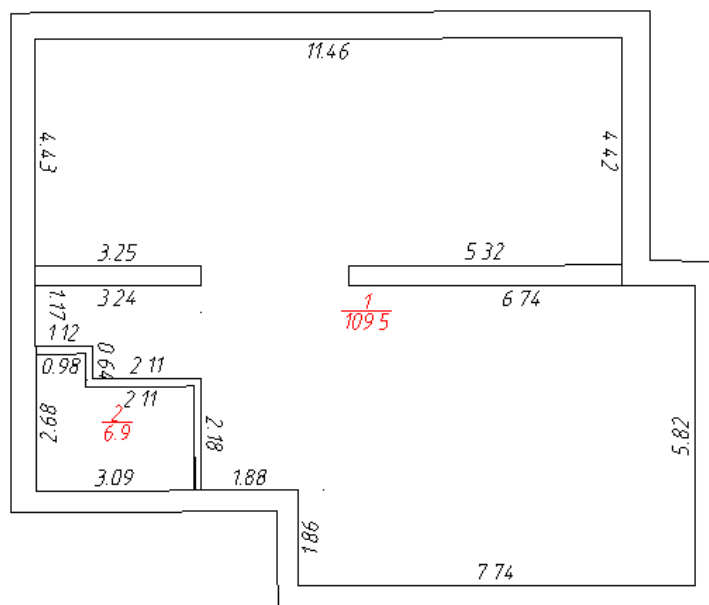


Рисунок 39 – Планировочный каркас до ортогонализации

По результатам дополнительных измерений в среде САПР определены дополнительные размеры, являющиеся избыточными измерениями. С использованием Planner создан ортогонализированный планировочный каркас (Рисунок 40), который может служить основой для оформления поэтажного плана в составе технического плана.

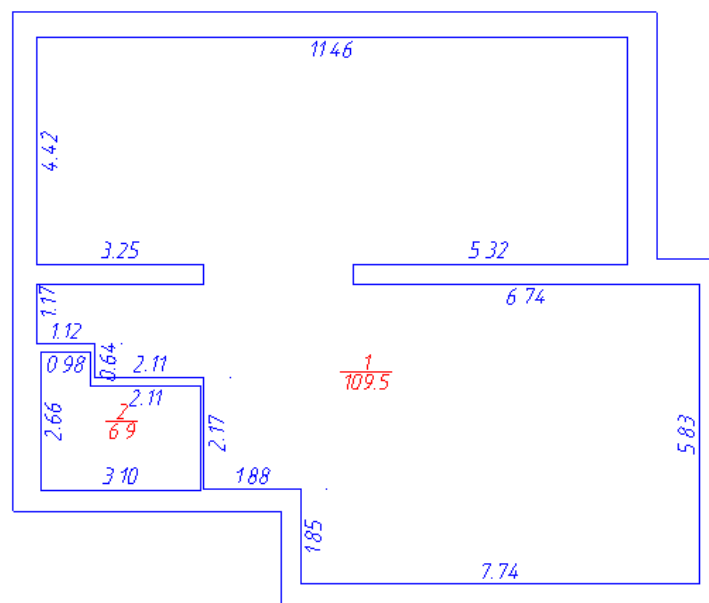


Рисунок 40 – Планировочный каркас после ортогонализации

Выполнено 36 измерений длин и составлено 24 параметрических уравнений связи. СКП измеряемого расстояния составила 0,66 см. Площади комнат, рассчитанные с помощью САПР и Planner, в данном случае равны. Можно сделать вывод о допустимости применения Planner для целей автоматической ортогонализации планировочного каркаса, что не снимает необходимости контролировать процесс вычисления площадей комнат, т.к. в случае значительных строительных отклонений значения площадей комнат между исходным (по вычерченным материалам ПЛС) и ортогонализированным чертежом могут быть значимыми.

3.3 Особенности векторизации облаков ТЛО

Для минимизации количества теневых зон и упрощения последующей обработки важно добиться полного покрытия объекта одним проходом сканирования. Если помещение включает несколько комнат или этажей, рекомендуется предварительно осмотреть пространство и убедиться, что все двери открыты. Когда вы проходите через дверной проем, двигайтесь медленно и поворачивайте корпус таким образом, чтобы видеть предметы по обе стороны двери. Это позволит правильно объединить точки облака при обработке результатов. Обратите внимание, что крупные объекты могут вызвать искажения облака точек при сканировании, поэтому убедитесь, что весь объем помещения зафиксирован должным образом. Во время процесса сканирования следует придерживаться умеренного, равномерного шага (примерная рекомендуемая скорость около 1 метра в секунду), особенно в плохо освещенных зонах, тесных помещениях или коридорах целесообразно замедлить движение. Важно соблюдать минимальное расстояние между объектом и сканером, которое составляет минимум полметра. Избегайте быстрых поворотов тела или неожиданных остановок, так как такие действия могут вызывать вибрацию устройства и негативно сказаться на точности сбора облака ТЛО. При работе в труднодоступных участках здания процесс сканирования может осложняться рядом факторов. Отражающие поверхности (например, стеклянные панели или зер-

кала) способны многократно отражать лазерный луч, приводя к искажениям измерений. Такие места предпочтительно измерять ручным инструментом, например, лазерной рулеткой. Объекты сложной геометрии: острые углы и необычные формы, усложняют получение полной картины пространства. Чем больше препятствий на пути лазера, тем сложнее собрать полную картину. Оптимальное положение сканера при сканировании лестниц, наклоненное относительно ступеней. Такое расположение позволяет точно зафиксировать каждую ступень и минимизировать появление слепых зон. Мебель или временные сооружения могут создавать преграды для обзора и приводить к пропускам данных. Рекомендуется удалить мешающие элементы или обработать полученные данные дополнительно, очистив их от ненужных деталей (шторы).

Данные передаются на компьютер с помощью карты памяти и картридера. Для хранения данных во время работы над проектом целесообразно использовать наиболее скоростные носители, например SSD. После завершения работ для экономии дискового пространства можно переносить файлы в архив. При необходимости файлы можно переименовывать, вписывать номер проекта, этажа или отдельных комнат на этаже (Рисунок 41).

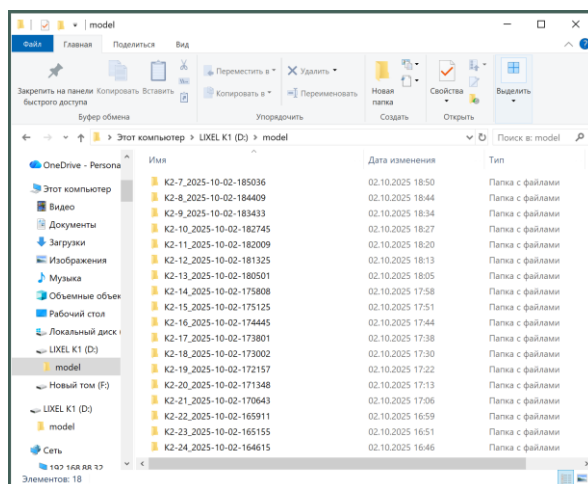


Рисунок 41 – Папки с файлами ПЛС на карте памяти сканера

При обработке данных ПЛС в стандартном для применяемого оборудования программном продукте Lixel Studio используются основные функции, которые являются типовыми.

GCP (Ground Control Points) не только преобразует данные облака точек из относительной системы координат в абсолютную, но и использует информацию о опорных точках в процессе обработки для повышения точности отображения облака точек.

GNSS (Global Navigation Satellite System) используются при обработке данных в Lixel Studio, в частности для привязки контрольных точек к координатам реального мира, собранным с помощью приёмника GNSS.

Функция **Coloring** раскраски облака точек использует данные изображения со встроенной камеры или внешней панорамной камеры для раскрашивания облака точек в цвет по материалам фотофиксации.

Если нужно создать панорамные изображения или в последствии использовать функцию наложения панорамы («Panorama overlay»), нужно установить флажок **Output Panoramic Images** и выбрать разрешение в окне **resolution**. После обработки в папке panoramic Image будут находиться созданные панорамные изображения.

Функция **Dynamic object removal** предназначена для удаления движущихся объектов, собранных во время сканирования, с целью очистки облака точек от шумов и получения более качественного результата.

Функция **Start-to-end loop closure** повышает общую точность облака точек. Если траектория движения образует замкнутую линию (т.е. сканирование заканчивается в начальной точке), можно включить эту функцию.

Subsection - разделение облака ТЛО на несколько файлов по объему занимаемой памяти.

Функция **SLAM mapping end time** показывает время сканирования облака точек на объекте и позволяет отсечь его по времени (минимальное время отображения не должно быть менее 3 минут).

Робастный метод (Robust mode) в основном используется для построения облака точек если в нем есть фрагментарные ухудшения или интенсивное движе-

ние объектов. Если при стандартной обработке выходит ошибка, прерывается процесс обработки, можно выбрать Robust mode для повторной обработки проекта. Этот режим повышает вероятность успешной обработки, составления карты и формирования облака точек, но точность результата может быть снижена в сравнении со стандартной обработкой.

Метод узкой сцены (Narrow scene) в основном используется в узких и прямых участках, таких как длинные прямые коридоры, и позволяет повысить вероятность успеха обработки облака точек. Во время сканирования протяженных объектов рекомендуется выполнять сканирование блоками и впоследствии совместить несколько облаков точек в единый проект. Рекомендуется сканировать каждые 500 метров и добавлять связующие точки в начале и конце каждого блока сканирования.

Для полуавтоматической векторизации или распознавания стен (Рисунок 42) нужно использовать **AI-Extract**. В открывшемся окне можно выбрать параметры распознавания. Основная функция — стены под углом 90° . Если не использовать функцию, стены будут отрисованы не под прямым углом друг к другу.

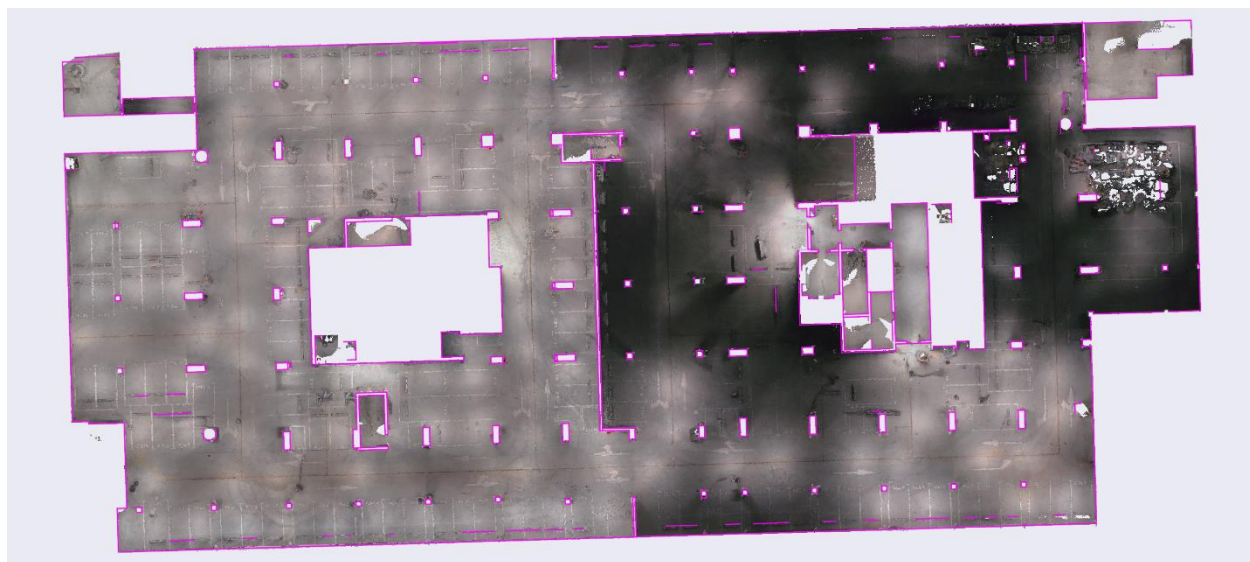


Рисунок 42 – Результаты полуавтоматической векторизации

После первичной обработки и полуавтоматической векторизации облако ТЛО следует перевести в общеизвестные и распространенные форматы для экспорта в САПР, например *.las и *.scr. При импорте в САПР для удобства работы следует

настроить слои. Помимо служебных слоев следует обеспечить возможность отдельно управлять облаком ТЛО, объектом, настраивающим сечение, слой для векторизации, дополнительный слой с рабочими комментариями. Крайне полезно использовать шаблоны чертежей с преднастроенными единицами измерения, списком слоев и зарамочным оформлением под различные форматы листов, условными знаками для создания поэтажных планов (Приложение И). Такие файлы должны иметь расширение *.dwt.

Рассмотрим типовые возникающие особенности или проблемы, возникающие при векторизации и моделировании. Одной из первых проблем, возникающих при работе с облаком ТЛО в САПР является замедление работы или некорректное отображение. Часто это обусловлено избыточным количеством ТЛО (Рисунок 43). Для решения подобных проблем предусмотрена функция прореживания облака точек (**Resampling**), предназначена для уменьшения количества точек в облаке. Если из-за большого объема облака какая-то часть плохо видна, можно воспользоваться этой функцией.

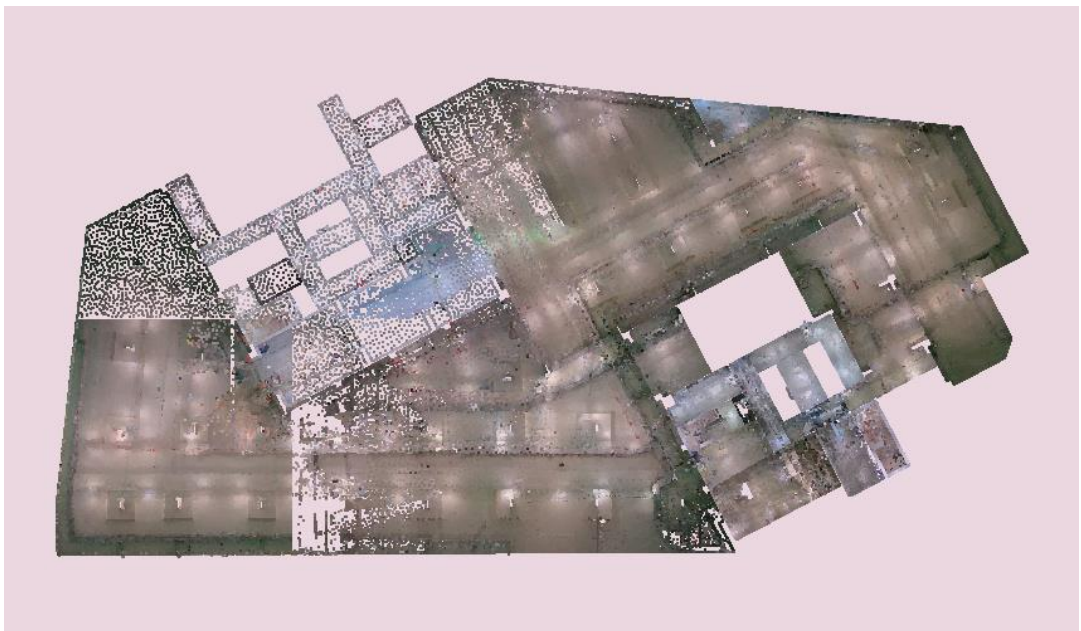


Рисунок 43 – Пример избыточного количества ТЛО в облаке

После обработки прореженное облако точек нужно экспортировать и открыть в САПР (Рисунок 44).

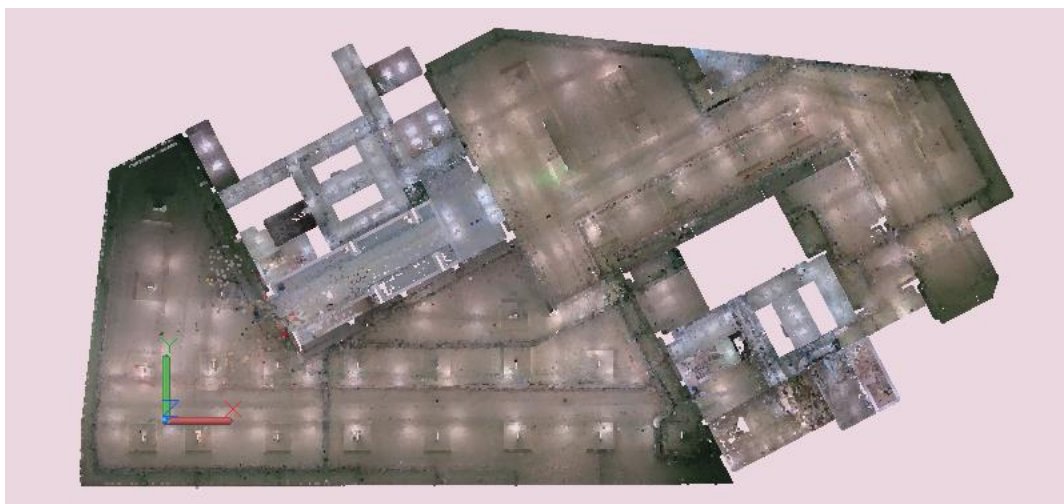


Рисунок 44 – Пример прореженного облака ТЛО

При сканировании желательно, чтобы в помещении было минимум лишних предметов. Мебель, строительный мусор и даже люди могут создавать помехи, искажая полученные данные (Таблица 11, 12).

Таблица 11 – Мебель в облаке ТЛО

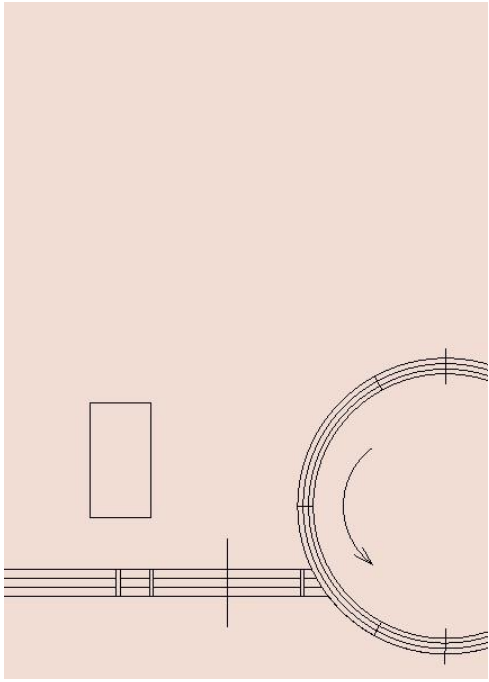
Фрагмент облака ТЛО	Результат векторизации
	



Рисунок 45 – Фото-пример к Таблице 11

В таком случае, чаще всего стараемся ориентироваться на фотографии. Справа видно, что в коридоре стоит шкаф, следовательно, за ним идет стена, которую не видно. Ещё один способ проверить себя, поднять секущую плоскость на такой уровень, чтобы был виден промежуток между потолком и шкафом (за исключением шкафов до потолка).

Таблица 12 – Строительный мусор и материалы в облаке ТЛО

Фрагмент облака ТЛО	Результат векторизации
	
	

Со стройматериалами нужно быть предельно внимательным. Очень часто на таких объектах можно пропустить что-то важное (колонны, заваленные лестницы и т.д.), либо нанести на чертеж много лишнего и ненужного. Пример – объект на стадии строительства. Не всегда с первого раза можно понять, что за конструкция находится в облаке и нужно ли её обводить, временная ли она или останется на постоянной основе. Ориентируясь на фото, понимаем, что объекты временные и это явно не колонны, следовательно, мы их не используем. Также, осуществив навигацию в облаке ТЛО, можно рассмотреть эти объекты без использования фотографий, но этот способ не всегда удобен для восприятия.

Когда в помещении имеется множество глянцевых или зеркальных поверхностей, возникает многократное отражение лазерного луча (Таблица 13). Это затрудняет сбор данных и может помешать сканированию стеклянных конструкций, окон и других абсолютно гладких поверхностей.

Таблица 13 – Векторизация конструкций с панорамным остеклением

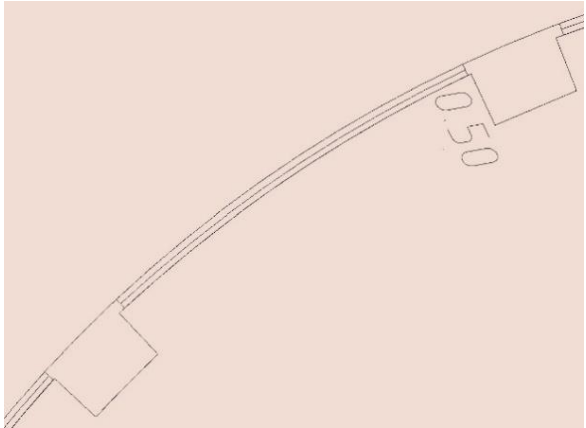
Фрагмент облака ТЛО	Результат векторизации
	



Рисунок 46 – Фото-пример к Таблице 13

В помещениях с панорамными окнами могут возникнуть проблемы с корректным отображением границ. В данном случае помогают косвенные ориентиры, например оконные профили или жалюзи, которые также зачастую перекрывают обзор. Границу комнаты отображаем по выступающей части металлического профиля, потому что на фасадных стенах не всегда видно толщину стекла (Таблица 14).

Таблица 14 – Отображение стеклянных перегородок без профиля в толщине стены

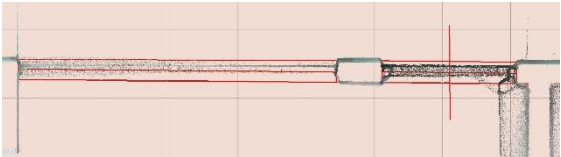
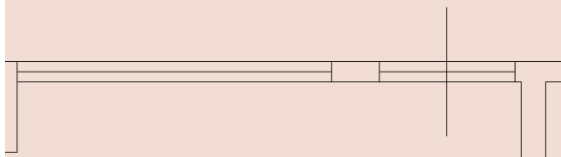
Фрагмент облака ТЛО	Результат векторизации
	



Рисунок 47 – Фото-пример к Таблице 14

В данном случае существует не просто тонкое остекление во всю длину, а есть ограждающие конструкции в виде стен, и независимо от толщины стекла отображаем его в толщине стены (Таблица 15).

Таблица 15 – Векторизация отдельностоящих стеклянных конструкций

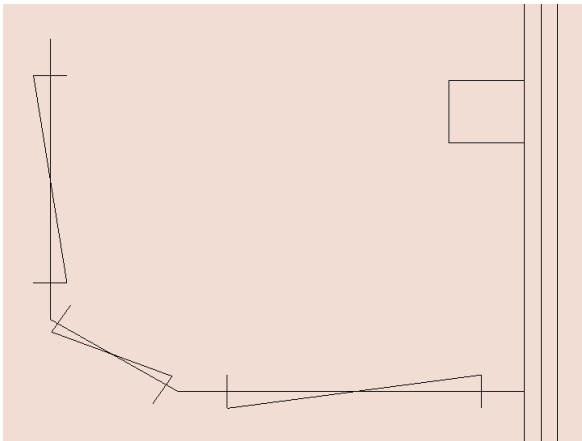
Фрагмент облака ТЛО	Результат векторизации
	



Рисунок 48 – Фото-пример к Таблице 15

Если остеклённая перегородка без профиля не заключена между стенами, то отображаем внемасштабным условным знаком.

Стеклянные перегородки с профилем во всю высоту стены отображаются по толщине самого профиля (Таблица 16).

Таблица 16 – Векторизация стеклянных перегородок с профилем

Фрагмент облака ТЛЮ	Результат векторизации
	



Рисунок 49 – Фото-пример к Таблице 16

Лазерные лучи проходят сквозь стекло, что затрудняет сбор данных, поэтому перед сканированием рекомендуется закрывать их. Если нет такой возможности, то можно дополнительно замерять такие комнаты рулеткой.

Зеркала вызывают переотражения, нужно отсекаать подобные артефакты (Таблица 17).

Таблица 17 – Переотражения от зеркал

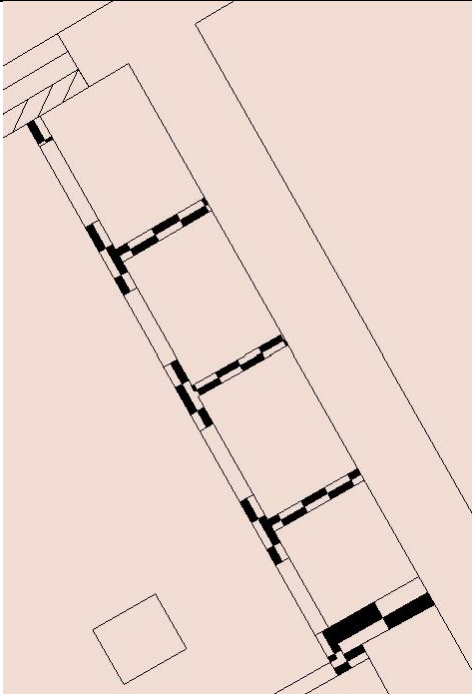
Фрагмент облака ТЛО	Результат векторизации
	



Рисунок 50 – Фото-пример к Таблице 17

Если комната полностью зеркальная (Рисунок 51, 52), не следует использовать ПЛС. Файл может не обработаться, либо будут сильные задвоения стен.



Рисунок 51 – Результаты обработки материалов ПЛС в полностью зеркальной комнате в Lixel Studio

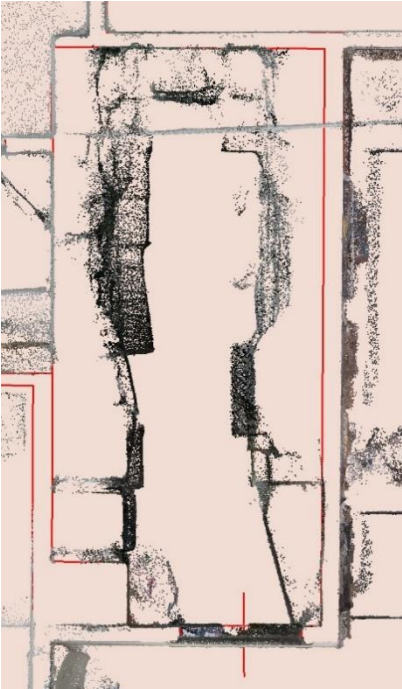
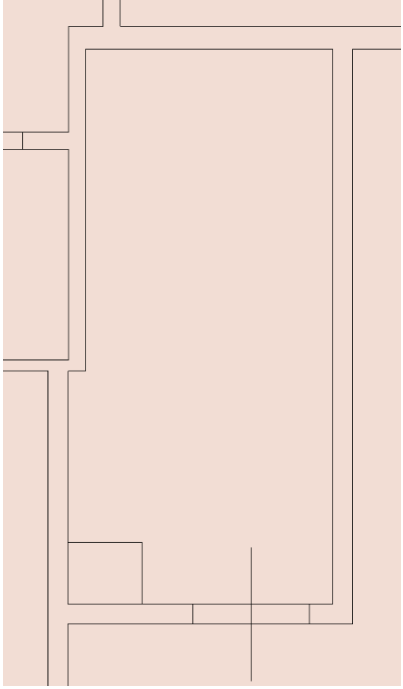
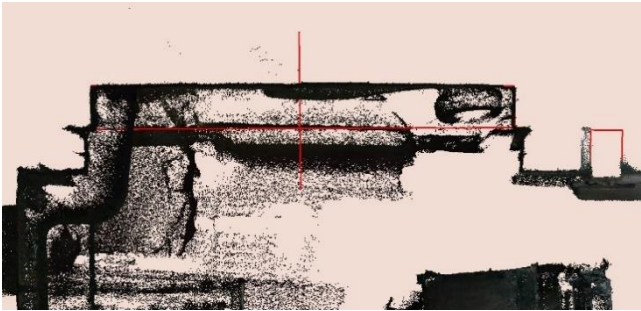
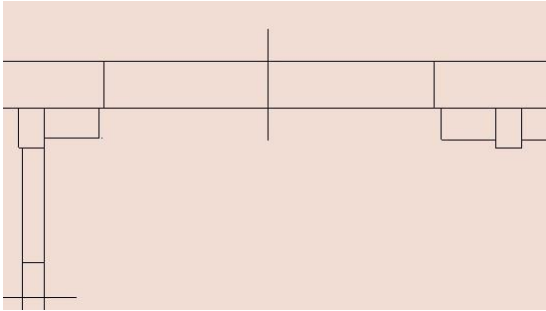
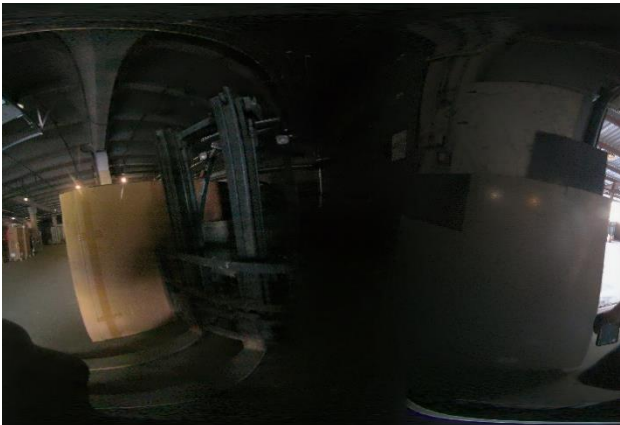
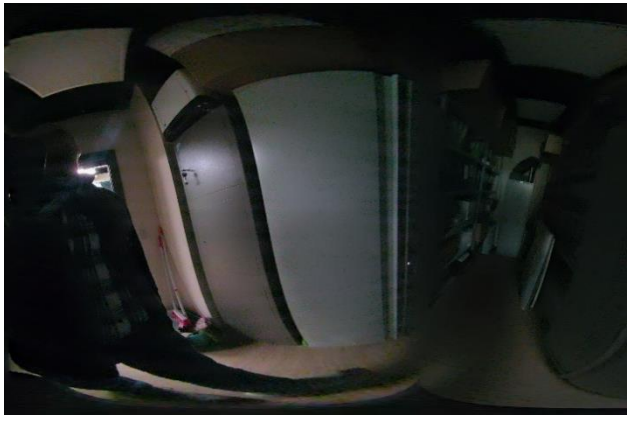
Как видно, использовать результаты ПЛС в данном случае невозможно.



Рисунок 52 – Фото помещения с полностью зеркальными стенами

Не меньшей проблемой являются плохо освещенные помещения. Не всегда возможно включить штатное освещение или оно вовсе отсутствует, носимая обмерщиком подсветка помогает скорее рассмотреть детали помещения на материалах фотофиксации. Качество облака ТЛЮ при недостаточном освещении значительно снижается (Таблица 18).

Таблица 18 – Результаты векторизации при недостаточном освещении

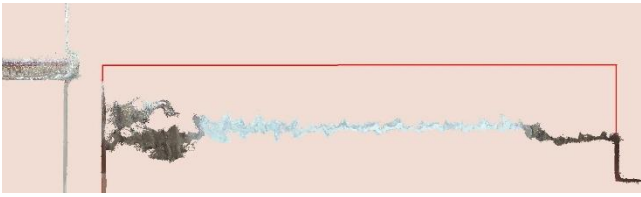
Фрагмент облака ТЛО	Результат векторизации
	
	
	

Темные объекты могут плохо отражать лазерный луч, что снижает качество и точность облака. При недостаточном освещении данные могут потеряться в темных углах. Можно воспользоваться временным внешним освещением (портативные светильники, фонари), чтобы увеличить отражение на поверхностях

и делать дополнительные остановки в темных зонах, повторно сканируя под другим углом.

При отображении границ комнаты с панорамными окнами помогают косвенные ориентиры, но зачастую, как было написано выше, они перекрывают обзор (Таблица 19).

Таблица 19 – Результаты векторизации по косвенным ориентирам

Фрагмент облака ТЛО	Результат векторизации
	

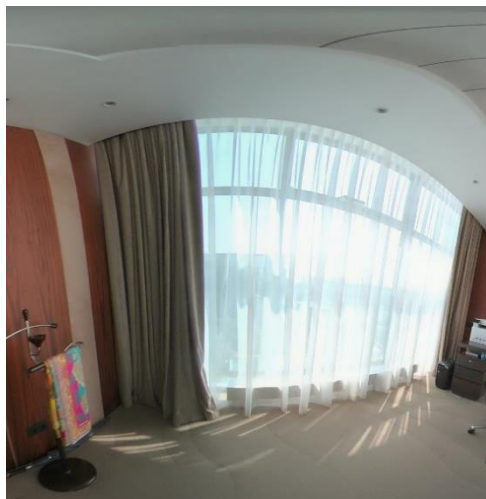


Рисунок 53 – Фото-пример к Таблице 19

На объекте нужно стараться отодвигать шторы и жалюзи, чтобы был виден хотя бы незначительный отрезок. Если по каким-то причинам отодвинуть шторы не удалось, то можно ориентироваться на соседние комнаты и чертить границу по ним, но не стоит забывать, что конфигурация комнат может быть разной и не во всех случаях так можно делать.

В случае векторизации наклонных стен следует учитывать следующие нормативные требования [27].

Площадь мансардного этажа *жилого здания, площадь жилого помещения мансардного этажа жилого здания* определяется в пределах высоты наклонного потолка (стены) при наклоне:

до 45° — от 1,6 метра;

от 45° и более — от 1,9 метра.

При высоте потолка менее 1,6 и 1,9 метра при соответствующих углах наклона потолка площадь не учитывается.

Площадь мансардного этажа *нежилого здания, сооружения, площадь нежилого помещения мансардного этажа нежилого здания, сооружения* определяется в пределах высоты наклонного потолка (стены) при наклоне:

30° — до 1,5 метра;

45° — до 1,1 метра;

60° и более — до 0,5 метра.

При промежуточных значениях угла наклона высота определяется по интерполяции (Таблица 20).

Таблица 20 – Векторизация при наклонных стенах

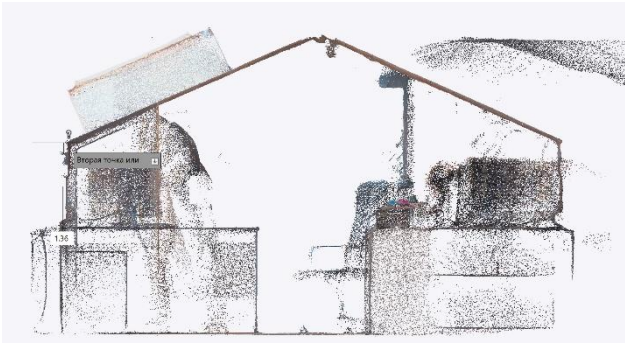
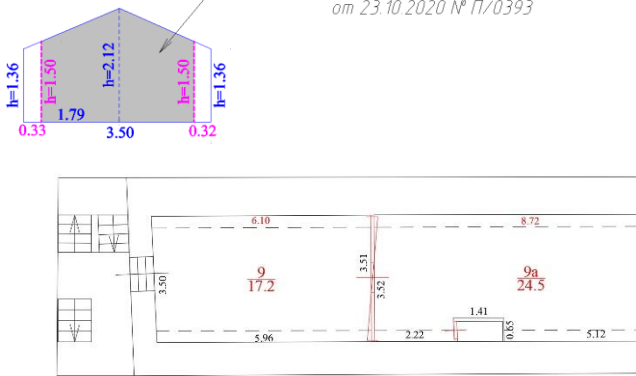
Фрагмент облака ТЛЮ	Результат векторизации
	Область определения площади в соответствии с п. 8.6 Приказа Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 

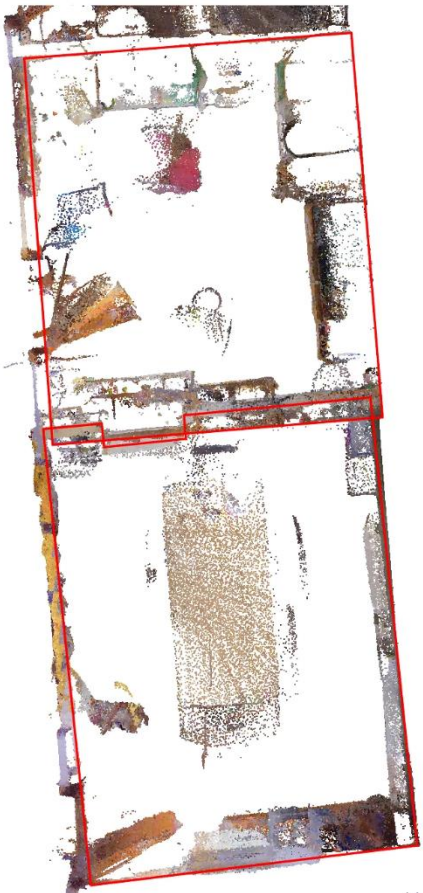


Рисунок 54 – Фото-пример к Таблице 20

При векторизации мансардного этажа нужно проставить высоты от пола до потолка. С помощью сечения убрать всё лишнее, оставляя наиболее удачный фрагмент, на котором видно и пол, и потолок. С помощью функции «Измерить» промеряем высоты посередине и по двум противоположным стенам. Для простоты понимания кадастровым инженерам нужно составить схему-разрез.

В сложных по конфигурации помещениях могут наблюдаться артефакты в виде частичного разворота стен в отдельных комнатах (Таблица 21). В таком случае следует достраивать стены до логичных пересечений по фото и повторно выходить на объект для контрольных измерений, которые в таком случае гораздо эффективнее выполнять лазерной рулеткой.

Таблица 21 – Векторизация после повторных обмеров

Фрагмент облака ТЛО	Результат векторизации
	

В случае сканирования протяженных помещений важно использовать опорные точки на всем протяжении коридоров, иначе облако ТЛО значительно изгибается как в плане (Рисунок 55), так и по высоте (Рисунок 56).

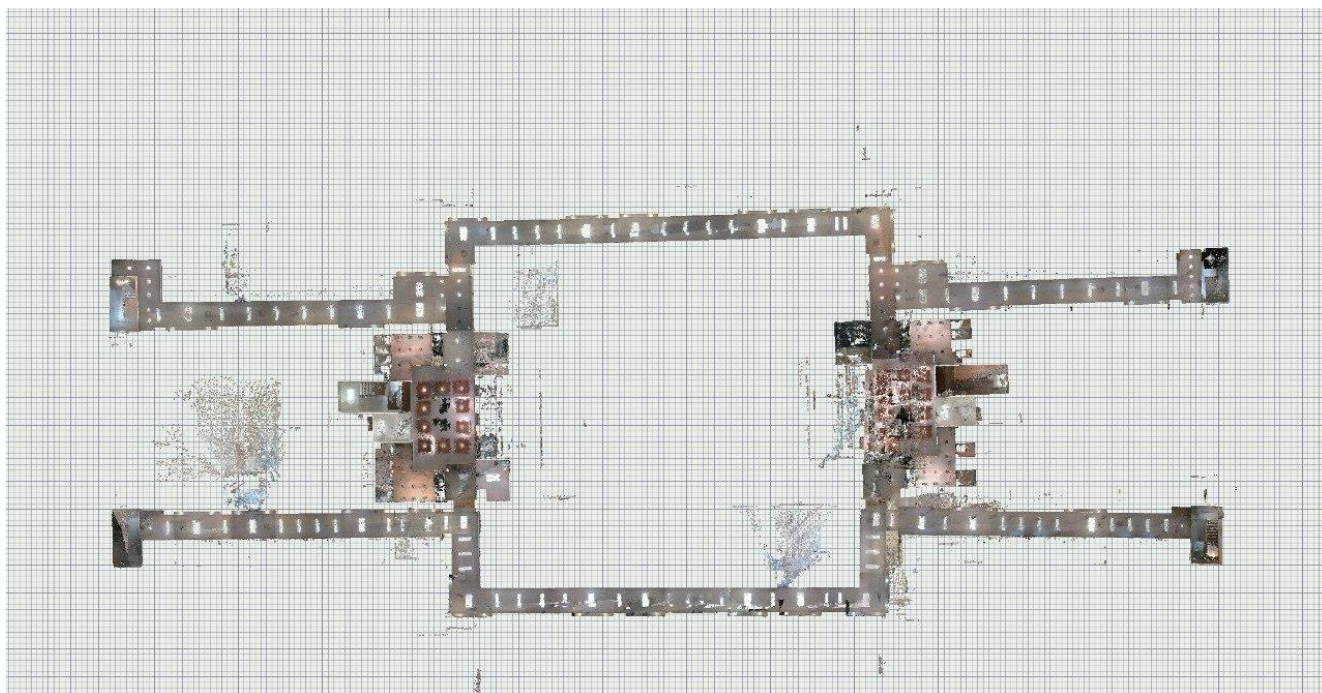


Рисунок 55 – Изгиб облака ТЛО в плане



Рисунок 56 – Изгиб облака ТЛО по высоте

3.4 Выводы по разделу 3

Выполнена апробация методики на объектах общей площадью чуть более 250 тыс. кв. м. Проведен эксперимент по созданию плана этажа строящегося многоквартирного дома в пяти вариантах: по материалам сканирования с использованием опорных точек и без ортогонализации отрезков; по материалам сканирования с использованием опорных точек с ортогонализацией отрезков; по материалам сканирования без использования опорных точек и без ортогонализации отрезков; по

материалам сканирования без использования опорных точек с ортогонализацией отрезков; по материалам обмеров лазерной рулеткой с ортогонализацией отрезков. Для каждого варианта выполнена оценка точности. Проведено общее сравнение технологий. Сделан вывод: создание поэтажного плана в локальной системе координат с ортогонализацией по материалам ПЛС на основе технологии SLAM отвечает требованиям кадастра.

Для оценки точности вычисления площадей помещений применена формула:

$$m_p = 0.35m_t \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_{i-1})^2 + (x_{i+1} - x_{i-1})^2} \quad (13),$$

проведено ее сравнение с другими, сделан вывод о допустимости применения (13). Разработан алгоритм для автоматизации подобных вычислений в среде САПР (Приложение К).

Рассмотрен пример оценки точности по разностям двойных линейных измерений в облаке ТЛО и контрольных измерений лазерным дальномером.

Показан пример координирования опорных точек для ПЛС путем координирования линейными засечками без использования угловых измерений, проведена оценка точности.

Рассмотрены особенности векторизации облака ТЛО для моделирования и создания поэтажных планов в ходе выполнения кадастровых работ.

Апробируемая методика основана на совместном применении как классических, так и современных средств измерения ручных лазерных сканеров. Показан практический пример использования данной технологии в кадастровых работах, проведено сравнение с классической технологией обмеров. Установление локальной системы координат позволит автоматизировать процесс вычисления площадей, повысит технологичность (степень автоматизации) создания поэтажных планов.

Заключение

В результате проведенного диссертационного исследования достигнута поставленная цель – разработана методика определения пространственных характеристик ОКС, включаемых в кадастр недвижимости, под которыми понимаются местоположение контура на земельном участке (для зданий и сооружений), поэтажный план и площадь помещений.

Разработанная классификация объектов кадастровых работ для целей применения методики позволяет обосновать выбор метода сбора и обработки пространственных данных. Проведено сравнение результатов оценки точности для различных методов измерений помещений при составлении поэтажных планов и планировочного каркаса для трехмерного моделирования. Предложены алгоритмы автоматического определения площадей помещений и вычисление значения СКП их площади. Для достижения поставленных целей разработаны две программы для ЭВМ «Веб-сервис для расчета погрешностей определения площадей объектов капитального строительства (П/0393)» и «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)».

Результатом решения поставленных задач стало формирование общей методики, которая позволяет определять пространственные характеристики ОКС по общим правилам. Первое положение, выносимое на защиту, определяет создание поэтажного плана в локальной системе координат как возможность алгоритмизировать процесс распределения невязки при наличии избыточных измерений, что дает возможность выявлять грубые ошибки до формирования итоговых документов. Второе положение, выносимое на защиту, определяет применение ПЛС как допустимый и самый эффективный способ сбора данных для определения пространственных характеристик и моделирования ОКС. При этом методика предусматривает использование и другого оборудования в зависимости от рациональности его применения согласно классификации, приведенной выше. В ходе апробации разработан алгоритм автоматизированной оценки точности вычисления значения СКП

площади помещений. Предложен подход к оценке точности результатов сканирования по результатам двойных измерений без использования опорных и контрольных точек, что значительно снижает трудозатраты при сканировании. В ходе апробации рассмотрены проблемы векторизации облаков ТЛО в рамках кадастровой деятельности, предложены подходы к применению специальных условных знаков.

Направлением дальнейших исследований является изучение алгоритмов векторизации облаков ТЛО с применением систем искусственного интеллекта, т.к. в разрабатываемой методике распознавание и векторизация облака ТЛО является наиболее трудозатратным процессом.

Список сокращений и условных обозначений

ТИМ – технологии информационного моделирования зданий

САПР – система автоматизированного проектирования

ГИСОГД – государственная информационная система обеспечения градостроительной деятельности

ЕГРН – единый государственный реестр недвижимости

Росреестр – Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии

ОКС – объект капитального строительства

НСПД – национальная система пространственных данных

БТИ – бюро технической инвентаризации

СКП – средняя квадратическая погрешность

ЦИМ – цифровая информационная модель

SLAM (simultaneous localization and mapping) – метод одновременной локализации и построения карты

облако ТЛО – облако точек лазерных отражений

ГНСС – глобальные навигационные спутниковые системы

ТМОГИ – теория математической обработки геодезических измерений

ПЛС – переносное лазерное сканирование

Список литературы

1. Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства: постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 №331 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2021. – №11. – Ст. 1823.
2. Атаманов, С. А. Похоже, что в ЕГРН все-таки будут учитываться информационные модели ОКС / С. А. Атаманов, М. С. Чуприн. – Текст : электронный // Учет недвижимости : электронный журнал : сайт «Кадастр.Москва». – Москва, 2021. – URL: <http://кадастр.москва/news/738>. – Дата публикации: 01.12.2021.
3. Тарарин, А. М. Пространственные данные в градостроительной деятельности / А. М. Тарарин, В. Л. Беляев // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81. – №. 11. – С. 29-39.
4. Бачурина, С. С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. В 3 частях. Ч. 2. Переход к цифровому проектированию и строительству. Методология / С. С. Бачурина. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 128 с.
5. Бачурина, С. С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. В 3 частях. Ч. 3. Примеры лучших практик использования цифровых моделей в градостроительстве / С. С. Бачурина. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 192 с.
6. Бачурина, С. С. Цифровизация, BIM-модель, технологии информационного моделирования, стандартизация: Базовые принципы / С. С. Бачурина // Вестник НОПРИЗ. Национальное объединение изыскателей и проектировщиков. М., 2022. № 9. – С. 23-31.

7. Опыт ГК «Геоскан». Создание высокоточной трехмерной модели Тульской области / Е. В. Гринько, М. В. Курков, Ф. В. Солощенко, Н. Р. Суздальцев // Геопрофи. – 2018 – №. 2 – С. 10-14.
8. Российско-Нидерландский проект «Создание модели трехмерного кадастра объектов недвижимости в России» // Вестник Росреестра. – 2012. – № 3(13). – С. 74–76.
9. Трехмерный кадастровый паспорт ГУ БТИ-24 // Студия Артемия Лебедева : [сайт]. – 2017. – URL: <https://www.artlebedev.ru/bti24/plans/> (дата обращения: 23.02.2026).
10. An Outline of the Building Description System / Ch. Eastman, D. Fisher, G. Lafue [et al.]. – Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University, 1974. – URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED113833.pdf> (дата обращения: 14.04.2026)
11. Решения по итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России // Правительство России : [сайт]. – 2014. – URL: <http://government.ru/orders/selection/401/11022/> (дата обращения: 23.02.2026).
12. Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства: приказ Минстроя России от 29.12.2014 №926/пр // Минстрой России : [сайт]. – 2015. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/2663/> (дата обращения: 23.02.2026).
13. Атаманов, С. А. По измененному СП 48.13330.2019 «Организация строительства» предусматривается внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ) / С. А. Атаманов, М. С. Чуприн. – Текст : электронный // Учет недвижимости : электронный журнал : сайт «Кадастр.Москва». – Москва, 2022. – URL: <http://кадастр.москва/news/832>. – Дата публикации: 26.05.2022.
14. СП 48.13330.2019. Свод правил. Организация строительства. СНиП 12-01-2004: утв. Приказом Минстроя России от 24.12.2019 №861/пр: введ. в действие 25.06.2020. Доступ из справочно-правовой системы Консультант Плюс.

15. Градостроительный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2004 №190-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2005. – №1 (часть 1). – п.12 ч. 3 ст. 55
16. Атаманов, С. А. Базовые требования к ведению кадастра / С. А. Атаманов, С. А. Григорьев. – Текст : электронный // Учет недвижимости : электронный журнал : сайт «Кадастр.Москва». – Москва, 2021. – URL: <http://кадастр.москва/news/709>. – Дата публикации: 14.10.2021
17. Гура, Д. А. Методологические принципы трехмерной идентификации объектов недвижимости / Д. А. Гура // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 109-116. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-109-116
18. О государственной регистрации недвижимости: Федеральный закон от 13.07.2015 №218-ФЗ // Контур.норматив : справочно-правовая система. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=504539> (дата обращения: 03.03.2026)
19. О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 30.12.2015 N 431-ФЗ // Контур.норматив : справочно-правовая система. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=504447> (дата обращения: 03.03.2026)
20. ГОСТ Р 70846.4-2023. Национальная система пространственных данных. Система классификации и кодирования. Разработка и применение систем классификации и кодирования пространственных данных. Общие требования: введ. впервые: дата введения 2023-11-22. М. : Российский институт стандартизации, 2023. – 28 с.
21. ГОСТ Р 70846.5-2023. Национальная система пространственных данных. Правила координатного описания пространственных объектов: введ. впервые: дата введения 2023-12-05. М. : Российский институт стандартизации, 2023. – 16 с.

22. Лисицкий, Д. В. Теоретические основы трехмерного кадастра объектов недвижимости / Д. В. Лисицкий, А. В. Чернов // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 153-170. – EDN XSDDEL.

23. Классификация (типология) объектов недвижимости. – Текст : электронный // Справочник кадастрового инженера Cadastre.ru : монография / С. А. Атаманов, С. А. Григорьев, З. С. Косаруков, М. С. Чуприн. – Москва, 2026. – URL: <http://cadastre.ru/article/7> (дата обращения: 25.02.2026).

24. ГОСТ Р 56905-2016. Проведение обмерных и инженерно-геодезических работ на объектах культурного наследия. Общие требования: введ. впервые: дата введения 2016-03-29. М. : Стандартинформ, 2016. – 24 с.

25. Об утверждении Инструкции о проведении учёта жилищного фонда в Российской Федерации: приказ Минземстроя РФ от 04.081998 № 37 // Контур.норматив: справочно-правовая система. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=9110> (дата обращения: 03.03.2026).

26. Об установлении формы технического плана, требований к его подготовке и состава содержащихся в нём сведений: приказ Росреестра от 15.03.2022 № П/0082 // Контур.норматив : справочно-правовая система. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=504476> (дата обращения: 03.03.2026)

27. 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 Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 // Контур.норматив: справочно-правовая система. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=412794> (дата обращения: 03.03.2026).

28. ГОСТ Р 58942-2020. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски: введ. впервые: дата введения 2020-07-29. М. : Стандартинформ, 2020. – 20 с.

29. СТО 11468812.006 – 2025 Типовой стандарт осуществления кадастровой деятельности описание характеристики нежилых зданий: утв. Ассоциацией «Национальная палата кадастровых инженеров» от 21.03.2025: взамен: СТО 11468812.006 – 2022: введ. в действие 21.03.2025. – URL: <https://ki-rf.ru/standart/> (дата обращения: 26.01.2026).

30. СТО 11468812.005 – 2025 Типовой стандарт осуществления кадастровой деятельности описание характеристики жилых зданий: утв. Ассоциацией «Национальная палата кадастровых инженеров» от 21.03.2025: взамен: СТО 11468812.005 – 2022: введ. в действие 21.03.2025. – URL: <https://ki-rf.ru/standart/> (дата обращения: 26.01.2026).

31. СТО 11468812.010 – 2024 Типовой стандарт осуществления кадастровой деятельности описание характеристики многоквартирного дома: утв. Ассоциацией «Национальная палата кадастровых инженеров» от 26.12.2024: введ. впервые: дата введения 2024-12-26. – URL: <https://ki-rf.ru/standart/> (дата обращения: 26.01.2026).

32. СТО 11468812.007 – 2023 Типовой стандарт осуществления кадастровой деятельности описание характеристики помещений: утв. Ассоциацией «Национальная палата кадастровых инженеров» от 29.03.2026: введ. впервые: дата введения 2023-03-29. – URL: <https://ki-rf.ru/standart/> (дата обращения: 26.01.2026).

33. Стандарты кадастровой деятельности: юбилейное издание в честь 10-летия Национальной палаты кадастровых инженеров / Под общ. ред. М.И. Петрушиной, А.Г. Овчинниковой. – М.: Кадастр недвижимости, 2022. –544 с., 151 ил. – ISBN 978-5-9906474-5-9.

34. Международные стандарты измерений объектов недвижимости: офисные здания // А СПО «Кадастровые инженеры». – Москва, 2015. – URL: <https://roscadastre.ru/html/docnews/01-RU-IPMS-Rics2015.pdf> (дата обращения: 02.03.2026).

35. Чуприн, М. С. Методика измерения площади офисных зданий АРКН / М. С. Чуприн, С. А. Атаманов. – Текст : электронный // Учет недвижимости : электронный журнал : сайт «Кадастр.Москва». – Москва, 2025. – URL: <http://кадастр.москва/news/1394>. – Дата публикации: 15.12.2025.
36. СП 118.13330.2022. Свод правил. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009: утв. Приказом Минстроя России от 19.05.2022 N 389/пр: введ. в действие 20.06.2022. – Москва, 2022. – 97 с.
37. Презентация приложения ТехПлан // ТехПлан CAD : [сайт]. – 2022. – URL: <https://techplancad.ru/support> (дата обращения 15.12.2023).
38. Leica DISTO Plan // App Store for iPhone : [сайт]. – 2022. – URL: <https://apps.apple.com/app/leica-disto-plan/id1361178866> (дата обращения: 02.03.2026).
39. Григорьев, С. А. Достоверность сведений ЕГРН и ее критерии / С. А. Григорьев // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2021. – Т. 26. – №. 4. – С. 100-107.
40. Thompson, R. Bi-temporal foundation for LADM v2: Fusing event and state based modelling of Land administration data 2D and 3D / R. Thompson, P. van Oosterom // Land Use Policy. – 2021. – Vol. 102. – P. 105246. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837720325849?via%3Dihub>. (дата обращения: 13.04.2026).
41. Tekavec, J. Indoor space as the basis for modelling of buildings in a 3D Cadastre / J. Tekavec, M. Čeh, A. Lisec // Survey Review. – 2021. – Vol. 53, № 380. – P. 464-475. – DOI 10.1080/00396265.2020.1838761.
42. ГОСТ Р 10.0.02-2019/ИСО 16739-1:2018. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства: введ. впервые: дата введения 2019-09-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 124 с.
43. An IFC-based Database Schema for Mapping BIM Data into a 3D Spatially Enabled Land Administration Database / M. Barzegar, A. Rajabifard, M. Kalantari, B.

Atazadeh // International Journal of Digital Earth. – 2021. – Vol. 14, No 6. – P. 736-765. – DOI 10.1080/17538947.2021.1875062.

44. Tekavec, J. Cadastral data as a source for 3D indoor modelling / J. Tekavec, A. Lisec // Land Use Policy. – 2020. – Vol. 98. – P. 104322. – DOI 10.1016/j.landusepol.2019.104322.

45. Calculation for Multidimensional Topological Relations in 3D Cadastre Based on Geometric Algebra / Z. Shi, D. Hu, P. Yin, [et al.] // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2019. – Vol. 8. – P. 469. – DOI 10.3390/ijgi8110469.

46. Towards 3D Indoor Cadastre Based on Change Detection from Point Clouds / M. Koeva, S. Nikoohemat, S. Oude Elberink, [et al.] // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11. – P. 1972. – DOI 10.3390/rs11171972.

47. Automating Three-Dimensional Cadastral Models of 3D Rights and Buildings Based on the LADM Framework / R. Widyastuti, D. Suwardhi, I. Meilano, [et al.] // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2025. – Vol. 14. – P. 293. – DOI 10.3390/ijgi14080293.

48. Shahidinejad, J. 3D Cadastral Database Systems – A Systematic Literature Review / J. Shahidinejad, M. Kalantari, A. Rajabifard // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2024. – Vol. 13. – P. 30. – DOI 10.3390/ijgi13010030.

49. Oldfield, J. Can data from BIMs be used as input for a 3D cadastre / J. Oldfield // Proceedings of the 5th International FIG 3D Cadastre Workshop, Athens, Greece. – 2016. – P. 18-20.

50. Modelling 3-dimensional cadastral boundaries in a BIM environment: a case study using volumetric format plans in Queensland, Australia / B. Bryant, A. Agha Karimi, B. Atazadeh, A. Rajabifard // International Journal of Digital Earth. – 2025. – Vol. 18, No 1. – P. 2518578. – DOI 10.1080/17538947.2025.2518578.

51. Developing an integrated approach to validate 3D ownership spaces in complex multistorey buildings / A. Asghari, M. Kalantari, A. Rajabifard, J. Shin // International Journal of Geographical Information Science. – 2023. – Vol. 37, No 1. – P. 215-242. – DOI: 10.1080/13658816.2022.2109159.

52. Guntel, A. Producing and visualizing 3D building geodatabase as a part of 3D cadastre project / A. Guntel, A. C. Aydinoglu // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2021. – Vol. XLVI-4/W5. – P. 239-242. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W5-2021-239-2021.
53. An object-relational IFC storage model based on Oracle database / H. Li, H. Liu, Y. Liu, Y. Wang // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2016. – Vol. XLI-B2. – P. 625-631. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLI-B2-625-2016.
54. Višnjevac, N. Towards Quality Management Procedures in 3D Cadastre / N. Višnjevac, M. Šoškić, R. Mihajlović // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2024. – Vol. 13. – No 5. – P. 160. – DOI 10.3390/ijgi13050160.
55. Registration of apartments and office spaces in 3D land administration – A case study in Croatia / N. Vučić, S. Vranić, M. Sutherland, P. van Oosterom // Land Use Policy. – 2024. – Vol. 142. – P. 107187. – DOI 10.1016/j.landusepol.2024.107187.
56. Аврунев, Е. И. Технологическая схема создания геодезического обеспечения для целей трехмерного кадастра недвижимости / Е. И. Аврунев, А. И. Гиниятов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18-20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 3 : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – С. 49-55. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-3-49-55.
57. Гиниятов, А. И. Разработка методики геодезического обеспечения кадастровых работ для создания и ведения 3D-кадастра недвижимости : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 1.6.15. / Гиниятов Артур Ильгизович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» ; Диссовет Д 212.251.XX (24.2.402.02)]. – Новосибирск, 2023. – 24 с.
58. Аврунёв, Е. И. Классификация способов создания геодезического обоснования для выполнения комплексных кадастровых работ в формате 3D / Е. И. Аврунёв, А. И. Гиниятов // Регулирование земельно-имущественных отношений в

России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сб. материалов VI Национальной научно-практической конференции, 23-25 ноября 2022 г., Новосибирск, СГУГиТ. – 2023. – Ч. 1. – С. 30-37. – DOI 10.33764/2687-041X-2023-1-30-37.

59. Аврунёв, Е. И. Разработка системы нормативных допусков при создании геодезического обоснования для выполнения кадастровых работ в формате 3D / Е. И. Аврунёв, А. И. Гиниятов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – № 3. – С. 16-26. – DOI 10.30533/GiA-2023-020.

60. Яковлева, Н. Д. Обоснование требований к точности и параметрам 3D-кадастровой съемки на городских территориях с использованием наземного лазерного сканирования / Н. Д. Яковлева // Успехи современного естествознания. – 2026. – № 1. – С. 51-57. – DOI 10.17513/use.38472.

61. Брылев, И. С. Применение комплекса цифровых технологий для формирования трехмерного объекта недвижимости городского пространства / И. С. Брылев, В. А. Бударова // Геодезия и картография. – 2024. – Т. 85, № 3. – С. 42-49. – DOI 0.22389/0016-7126-2024-1005-3-42-49. – EDN VJNNDM.

62. Брылев, И. С. Опыт подготовки пространственных данных для решения задач трехмерного моделирования объектов недвижимости / И. С. Брылев, В. А. Бударова, Н. С. Елисеева // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2024. – №3. – С. 145-156. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-podgotovki-prostranstvennyh-dannyh-dlya-resheniya-zadach-trehmernogo-modelirovaniya-obektov-nedvizhimosti> (дата обращения: 01.03.2026).

63. Лисицкий, Д. В. Формирование трехмерных картографических изображений зданий / Д. В. Лисицкий, Н. Ань Тай // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 3. – С. 35-39. – EDN TYJUUN.

64. Брынь, М. Я. Исследования точности построения цифровых моделей рельефа техногенных массивов по данным спутниковых определений координат / М. Я. Брынь, М. Г. Мустафин, Д. Р. Баширова, Б. Ю. Васильев // Записки Горного института. – 2025. – №271. – С. 95-107. – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-tochnosti-postroeniya-tsifrovyyh-modeley-reliefa-tehnogennyh-massivov-po-dannym-sputnikovyh-opredeleniy-koordinat> (дата обращения: 01.03.2026).

65. Яковлева, Н. Д. Определение и оценка точности объемов объектов недвижимости, имеющих форму цилиндра / Н. Д. Яковлева, М. Я. Брынь // Управление объектами недвижимости и комплексное развитие территорий: сборник статей IV Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. Санкт-Петербург. – 2025. – С. 176-181.

66. О сроках и порядке включения в государственный кадастр недвижимости сведений о ранее учтенных объектах недвижимости: приказ Минэкономразвития РФ от 11.01.2011 N 1 // Контур.норматив : справочно-правовая система. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=304813> (дата обращения: 02.03.2026).

67. СТО 94121715.614 – 2022 Определение координат характерных точек объектов недвижимости: утв. Ассоциацией «Саморегулируемая организация кадастровых инженеров» от 03.02.2022: взамен: СТО 94121715.614 – 2017: введ. в действие 03.02.2022. – URL: <https://www.roskadastr.ru/html/standart/koordinat2022.pdf> (дата обращения: 02.03.2026).

68. Макконнелл, К. Р. Экономикс: принципы, проблемы и политика : [в 2-х томах] : перевод с английского / К. Р. Макконнелл, С. Л. Брю. – М. : Республика, 1992. – Т. 1. – С. 54-55. – ISBN 5-250-01486-0.

69. Краснопевцев, Б. В. Фотограмметрия : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 120200 «Фотограмметрия и дистанционное зондирование» в соответствии с программой курса «Аэрокосмические методы и фотограмметрия» специальности «Картография» / Б. В. Краснопевцев; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Московский гос. ун-т геодезии и картографии (МИИГАиК). – Москва : МИИГАиК, 2008. – 160 с. – EDN QKHVXH.

70. Михайлов, А. П. Фотограмметрия : Учебник для вузов / А. П. Михайлов, А. Г. Чибуничев ; Под общей редакцией А. Г. Чибуничева. – Москва : Московский государственный университет геодезии и картографии, 2016. – 294 с. – ISBN 978-5-91188-070-5. – EDN ZAPIVZ.

71. Чибуничев, А. Г. Фотограмметрия: Учебник для вузов. / А. Г. Чибуничев; М.: Изд-во МИГАиК, – 2022. – С. 328: ил. – ISBN 978-5-91188-080-4.

72. Данилов, В. А. Сравнение методов фотограмметрии и лазерного сканирования для создания трехмерных моделей объектов и территорий археологических ГИС (на примере археологического раскопа Увекского городища) / В. А. Данилов, А. В. Федоров, Л. С. Безвершенко // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2019. – Т. 19, №2. – С. 72-78. – DOI 10.18500/1819-7663-2019-19-2-72-78.

73. Лазерное сканирование – фотограмметрия: что лучше выбрать // Гео-скан: [сайт]. – 2025. – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/blog/lazernoe-skanirovanie-fotogrammetriya-cto-luchshe-vybrat> (дата обращения: 02.03.2026)

74. Брусов, В. А. Лазерное сканирование и фотограмметрия в реконструкции с применением bim технологий / В. А. Брусов // Вестник науки. – 2025. – №5 (86). – С. 1030-1080. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernoe-skanirovanie-i-fotogrammetriya-v-rekonstruktsii-s-primeneniem-bim-tehnologiy> (дата обращения: 03.03.2026).

75. Сравнение лазерного сканирования и фотограмметрии при съемке объектов культурного наследия // Навгеоком: [сайт]. – 2024. – URL: https://ngcm.ru/blog/photogrammetriya_i_skanirovanie/ (дата обращения: 03.03.2026).

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

77. Комиссаров, А. В. Методика исследования точности измерений сканеров SLAM / А. В. Комиссаров, С. А. Арбузов, В. В. Дедкова // Геодезия и картография. – 2025. – № 11. – С. 27-32. – DOI 10.22389/0016-7126-2025-1025-11-27-32.

78. ГОСТ Р 72225 – 2025. Фототопография. Сканирование лазерное наземное. Технические требования: введ. впервые: дата введения 2025-08-05. – Москва : Стандартиформ, 2025.

79. Рыбкина, А. М. Повышение достоверности кадастровой информации о зданиях и помещениях и применение мобильных Lidar технологий / А. М. Рыбкина // Пространственные данные: наука и технологии: сборник статей по итогам научных конференций. – М., – 2021. – № 12. – С. 178-185. – DOI 10.30533/scidata-2021-12-178-185.

80. Майничева, А. Ю. Методика обмеров зданий методом лазерного сканирования (на примере двух объектов культурного наследия Новосибирской области) / А. Ю. Майничева, Е. А. Груздева, Е. Ю. Орлова // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. – 2023. – № 51. – С. 258-269. – DOI 10.17223/22220836/51/22.

81. Яхина, Е. П. Анализ тенденций использования технологии лазерного сканирования при сохранении объектов культурного наследия России / Е. П. Яхина, О. И. Светлова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 2 (48). – С. 58-63. – DOI 10.52684/2312-3702-2024-48-2-58-63.

82. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500. – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2004. – 286 с.

83. ГКИНП-02-033-82 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 и 1:500: введ. впервые: дата введения 1983-01-01 – М.: Недра, 1982.

84. Аврунев, Е. И. Совершенствование аналитического способа вычисления границ земельных участков / Е. И. Аврунев, В. В. Вылегжанина, И. А. Гиниятов [и др.] // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 197-207.

85. Голубев, В. В. Геодезия. Теория математической обработки геодезических измерений: учебник для вузов / В. В. Голубев. – Москва: Издательство МИИ-ГАиК, 2016. – 422 с. – ISBN 978-5-91188-073-6.

86. Очков, В. Ф. Информационные технологии в инженерных расчетах: SMath и Python / В. Ф. Очков, К. А. Орлов, Ю. В. Чудова [и др.]. – СПб.: Лань, 2023. – 212 с. – Р. 212. – ISBN 978-5-507-45821-9.

87. Нехин, С. С. Техническое регулирование процессов лазерного сканирования / С. С. Нехин, А. Н. Рубенок, Н. М. Бабашкин, А. А. Ковров // Геодезия и картография. – 2025. – № 10. – С. 45-54. – DOI 10.22389/0016-7126-2025-1024-10-45-54.

88. ГОСТ Р 70174 – 2022. Картография цифровая. Процессы создания элемента содержания «Рельеф» цифровых топографических карт масштаба 1:25 000. Общие требования: введ. впервые: дата введения 2022-06-22. М. : Российский институт стандартизации, 2022. – 10 с.

89. ГОСТ Р 59562 – 2021. Съёмка аэрофототопографическая. Технические требования: введ. впервые: дата введения 2021-06-10. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 62 с.

90. ГОСТ Р 70689 – 2023 Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к проведению работ: введ. впервые: дата введения 2023-08-10. – М. : Российский институт стандартизации, 2023. – 23 с.

91. ГОСТ Р 71863 – 2024 Фототопография. Лазерное сканирование. Общие положения: введ. впервые: дата введения 2024-12-09. – М. : Российский институт стандартизации, 2024. – 24 с.

92. ГОСТ Р 72225 – 2025 Фототопография. Сканирование лазерное наземное. Технические требования: введ. впервые: дата введения 2025-08-05. М. : Российский институт стандартизации, 2025.

93. Камалетдинов, Т. А. Обратное моделирование / Т. А. Камалетдинов // CADmaster. – 2019. – № 3 (91). – URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_91_06.html (дата обращения: 14.04.2026).

94. Яковлев, А. А. От облака точек к цифровому паспорту Использование программного комплекса nanoCAD Облака точек при создании «цифровых двойников» объектов капитального строительства / А. А. Яковлев // Информационное моделирование. – 2025. – № 1. – С. 50-57. – EDN LVSSSET.

95. ГОСТ Р 21.101 – 2020 Система проектной документации для строительства Основные требования к проектной и рабочей документации: взамен: ГОСТ Р 21.1101 – 2013: введ. в действие 23.06.2020. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 84 с.

96. Особенности создания параметрического узла в nanoCAD BIM Строительство // САПР и графика: [сайт]. – 2025. – URL: <https://sapr.ru/article/25996> (дата обращения: 14.04.2026).

97. Лебедев, Н. Н. Курс инженерной геодезии. Геодезические работы при проектировании и строительстве городов и тоннелей: учебное пособие 2-е изд./ Лебедев, Н. Н. – М. : Недра, 1974. – 360 с.

98. Атаманов, С. А. Перспективы развития системы учета недвижимости / С. А. Атаманов, С. А. Григорьев, З. С. Косаруков, М. С. Чуприн // Пространственные данные: наука и технологии. – 2023. – Т. 14, № 4. – С. 28-46. – DOI 10.30533/scidata-2023-14-16. – EDN BUZFDJ.

99. Овчинникова, А. Г. Примеры расчётов СКП площади зданий : методическое пособие / А. Г. Овчинникова // А СРО «Кадастровые инженеры». – Москва, 2021. – URL: <https://www.roskadaastre.ru/magazine/metod/4121041/> (дата обращения: 13.04.2026).

Список иллюстративного материала

Рисунок 1 – Место кадастровых работ при использовании ТИМ	11
Рисунок 2 – Несоответствие длин отрезков и размеров, указанных на плане	36
Рисунок 3 – Ортогональный поэтажный план	37
Рисунок 4 – Неортогональность помещений	37
Рисунок 5 – Физические и правовые границы помещений	40
Рисунок 6 – Растрированный поэтажный план	44
Рисунок 7 – Фрагментированный поэтажный план	44
Рисунок 8 – 2D информация о границах помещения	46
Рисунок 9 – 3D информация о границах помещения	46
Рисунок 10 – Схема построения съемочной основы комбинированным методом	52
Рисунок 11 – Недоступная для измерения точка контура	55
Рисунок 12 – Аналитическое определение координат в САПР	55
Рисунок 13 – Решение системы уравнений пересечения прямых в среде SMath Studio	56
Рисунок 14 – Алгоритм создания поэтажного плана	57
Рисунок 15 – Типы размеров	58
Рисунок 16 – Абрис с указанием связей параметров	60
Рисунок 17 – Ввод данных в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)»	63
Рисунок 18 – Электронный абрис в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)»	

Рисунок 19 – Результаты вычисления площадей в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner).....	64
Рисунок 20 – Результаты уравнивания в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)	65
Рисунок 21 – Алгоритм работы Planner.....	67
Рисунок 22 – Сопоставление поэтажного плана и контура ОКС.....	72
Рисунок 23 – Определение положения координатных осей в облаке ТЛО....	73
Рисунок 24 – Последовательность операций при моделировании	73
Рисунок 25 – Пример исходных данных для вычисления СКП площади	74
Рисунок 26 – Пример отчета о вычислении СКП площади	76
Рисунок 27 – Алгоритм определения координат контура ОКС.....	80
Рисунок 28 – Алгоритм обмеров	81
Рисунок 29 – Алгоритм составления планировочного каркаса	82
Рисунок 30 – Блок-схема SLAM сканирования	82
Рисунок 31 – Закрепление опорных и контрольных точек	86
Рисунок 32 – Облако ТЛО в среде САПР.....	86
Рисунок 33 – Фрагмент поэтажного плана до ортогонализации	87
Рисунок 34 – Фрагмент поэтажного плана после ортогонализации.....	88
Рисунок 35 – Блок-схема последовательности работ по созданию поэтажного плана	93
Рисунок 36 – Разброс точек отражения стены в облаке	99
Рисунок 37 – Схема измерений при координировании опорных точек.....	101
Рисунок 38 – Контроль высоты в облаке ТЛО	102
Рисунок 39 – Планировочный каркас до ортогонализации.....	103
Рисунок 40 – Планировочный каркас после ортогонализации	103

Рисунок 41 – Папки с файлами ПЛС на карте памяти сканера.....	105
Рисунок 42 – Резуальтаты полуавтоматической векторизации	107
Рисунок 43 – Пример избыточного количества ТЛО в облаке	108
Рисунок 44 – Пример прореженного облака ТЛО	109
Рисунок 45 – Фото-пример к Таблице 11	109
Рисунок 46 – Фото-пример к Таблице 13	112
Рисунок 47 – Фото-пример к Таблице 14	112
Рисунок 48 – Фото-пример к Таблице 15	113
Рисунок 49 – Фото-пример к Таблице 16	114
Рисунок 50 – Фото-пример к Таблице 17	115
Рисунок 51 – Результаты обработки материалов ПЛС в полностью зеркальной комнате в Lixel Studio	116
Рисунок 52 – Фото помещения с полностью зеркальными стенами	116
Рисунок 53 – Фото-пример к Таблице 19	118
Рисунок 54 – Фото-пример к Таблице 20	120
Рисунок 55 – Изгиб облака ТЛО в плане.....	122
Рисунок 56 – Изгиб облака ТЛО по высоте	122
Таблица 1 – Классификация объектов для целей применения методики	22
Таблица 2 – Сопоставление документов и типов пространственных данных	24
Таблица 3 – Особенности определения площадей в международных стандартах	30
Таблица 4 – Сопоставление типов данных в ЦИМ и ЕГРН	46
Таблица 5 – Зависимость СКП от масштаба и вида картографической продукции	54
Таблица 6 – Виды параметрических уравнений поправок	61

Таблица 7 – Параметрические уравнения связи и поправок	62
Таблица 8 – Используемое оборудование	85
Таблица 9 – Сравнительные характеристики поэтажных планов	89
Таблица 10 – Сравнение способов составления поэтажных планов	95
Таблица 11 – Мебель в облаке ТЛО.....	109
Таблица 12 – Строительный мусор и материалы в облаке ТЛО.....	110
Таблица 13 – Векторизация конструкций с панорамным остеклением	111
Таблица 14 – Отображение стеклянных перегородок без профиля в толщине стены	112
Таблица 15 – Векторизация отдельностоящих стеклянных конструкций ..	113
Таблица 16 – Векторизация стеклянных перегородок с профилем.....	114
Таблица 17 – Переотражения от зеркал.....	115
Таблица 18 – Результаты векторизации при недостаточном освещении ...	117
Таблица 19 – Результаты векторизации по косвенным ориентирам	118
Таблица 20 – Векторизация при наклонных стенах	119
Таблица 21 – Векторизация после повторных обмеров.....	121

Приложение А

Доклады автора по теме диссертации на конференциях

1. V Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Управление объектами недвижимости и комплексное развитие территорий» Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II 5-6 февраля 2026 года. Доклад: Чуприн М.С. Методика определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета.
2. Международный научный конгресс «ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ 2025» докторская сессия «Методологические, теоретические и технологические исследования в области цифровизации экономики Российской Федерации для ее устойчивого развития» СГУГиТ 19 мая 2025 года. Доклад: Чуприн М.С. Разработка методики определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учёта.
3. Международный научный конгресс «ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ 2024» докторская сессия «Методологические, теоретические и технологические исследования в области цифровизации экономики Российской Федерации для ее устойчивого развития» СГУГиТ 14 мая 2024 года. Доклад: Чуприн М.С. Методическое обеспечение математической обработки измерений для целей кадастрового учета зданий.
4. III Международный научно-практический семинар «Управление объектами недвижимости и комплексное развитие территорий» Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II 5-6 декабря 2023 года. Доклад: Чуприн М.С. Анализ методов сбора пространственных данных для формирования эксплуатационной модели здания и последующего кадастрового учета.
5. Международная научная конференция «Пространственные данные: наука и технологии» МИИГАиК 23-24 мая 2023 года. Доклад: Чуприн М.С. Анализ

современных методов геодезических измерений помещений для получения пространственных данных кадастра недвижимости.

6. Всероссийская конференция по кадастровой деятельности на базе Государственного университета по землеустройству, организованная Ассоциацией «Национальное объединение саморегулируемых организаций кадастровых инженеров» 19 декабря 2022 года. Доклад: Чуприн М.С. Проблемы создания поэтажных планов при проведении кадастровых работ.

7. Международная научно-техническая онлайн конференция «Пространственные данные в условиях цифровой трансформации» МИИГАиК 27 мая 2020 года. Доклад: Чуприн М.С. Уровень проработки модели объекта недвижимости для включения в трехмерный кадастр с учетом правил информационного моделирования в строительстве.

8. Международная научно-техническая конференция «Пространственные данные — основа стратегического планирования, управления и развития» МИИГАиК 27–29 мая 2019 года. Доклад: Чуприн М.С. Проблемы оценки точности результатов измерений с применением геодезического и спутникового методов определения координат характерных точек границ объектов недвижимости.

Приложение Б

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024666929

**Веб-сервис для создания планировочного каркаса
объекта капитального строительства (Planner)**

Правообладатель: **Чуприн Максим Сергеевич (RU)**

Авторы: **Чуприн Максим Сергеевич (RU), Атаманов Сергей
Александрович (RU), Голубев Владимир Викторович (RU)**

Заявка № **2024664603**
Дата поступления **20 июня 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **17 июля 2024 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности


ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a107e33633540a196b93b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 18.06.2025 по 02.08.2028

Ю. С. Зубов

Приложение В

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2024616544

**Веб-сервис для расчета погрешностей определения
площадей объектов капитального строительства
(П/0393)**

Правообладатели: *Чуприн Максим Сергеевич (RU), Атаманов
Сергей Александрович (RU), Голубев Владимир Виктрович
(RU), Григорьев Сергей Александрович (RU), Косаруков Закир
Сергеевич (RU)*

Авторы: *Чуприн Максим Сергеевич (RU), Атаманов Сергей
Александрович (RU), Голубев Владимир Виктрович (RU),
Григорьев Сергей Александрович (RU), Косаруков Закир
Сергеевич (RU)*



Заявка № **2023690067**
Дата поступления **29 декабря 2023 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **21 марта 2024 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a7e31b1164bf90f83b73b4a07
Задолков Юрий Сергеевич
Действителен с 19.01.2023 по 02.08.2024

Приложение Г

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

1. Чуприн, М. С. Установление локальной системы координат при создании поэтажного плана / М. С. Чуприн // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 142-154. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-142-154.
2. Чуприн, М. С. Анализ методов сбора пространственных данных для формирования эксплуатационной модели здания и последующего кадастрового учета / М. С. Чуприн, С. А. Григорьев // Управление объектами недвижимости и комплексное развитие территорий: сборник статей III Международного научно-практического семинара. Санкт-Петербург, 2024. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2024. – С. 204-211. – ISBN 978-5-94211-993-5. – EDN BQUENY.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024666929 Российская Федерация. Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner) : № 2024664603 : заявлено 20.06.2024 опубликовано 17.07.2024, Бюл. № 7 / Чуприн Максим Сергеевич (RU), Атаманов Сергей Александрович (RU), Голубев Владимир Викторович (RU). правообладатель Чуприн Максим Сергеевич (RU) – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616544 Российская Федерация Веб-сервис для расчета погрешностей определения площадей объектов капитального строительства (П/0393) : № 2023690067 : заявлено 29.12.2023 опубликовано 21.03.2024, Бюл. № 4 / Чуприн Максим Сергеевич (RU), Атаманов Сергей Александрович (RU), Голубев Владимир Викторович (RU), Григорьев Сергей Александрович (RU), Косаруков Закир Сергеевич (RU). правообладатели: Чуприн Максим Сергеевич (RU), Атаманов Сергей Александрович (RU), Голубев Владимир Викторович (RU), Григорьев Сергей Александрович (RU), Косаруков Закир Сергеевич (RU) – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

5. Атаманов, С. А. Перспективы развития системы учета недвижимости / С. А. Атаманов, С. А. Григорьев, З. С. Косаруков, М. С. Чуприн // Пространственные данные: наука и технологии. – 2023. – Т. 14, № 4. – С. 28-46. – DOI 10.30533/scidata-2023-14-16. – EDN BUZFDJ.
6. Атаманов, С. А. Проблема понятия точности в кадастре недвижимости / С. А. Атаманов, С. А. Григорьев, З. С. Косаруков, М. С. Чуприн // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2023. – Т. 67, № 2. – С. 65-77. – DOI 10.30533/GiA-2023-010.
7. Чуприн, М. С. Уровень проработки модели объекта недвижимости для включения в трехмерный кадастр с учетом правил информационного моделирования в строительстве / М. С. Чуприн // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции. – 2020. – № 11. – С. 165-167.
8. Чуприн, М. С. Проблемы оценки точности результатов измерений с применением геодезического и спутникового методов определения координат характерных точек границ объектов недвижимости / М. С. Чуприн // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции. – 2019. – № 10-1. – С. 164-166.
9. Чуприн, М. С. Применение ДЗЗ в кадастровой деятельности / М. С. Чуприн // Актуальные проблемы землеустройства и кадастров на современном этапе: сборник статей VI Международная научно-практическая конференция. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2019. – С. 241-245.
10. Атаманов, С. А. Апелляция 2.0 / С. А. Атаманов, С. А. Григорьев, З. С. Косаруков, М. С. Чуприн // Кадастр недвижимости. – 2019. – № 3 (56). – С. 94-95.
11. Сизов, А. П. Анализ влияния технологических укладов производства на технологии землеустройства, кадастра и мониторинга земель в России и Китае / А. П. Сизов, А. Ф. Кораблин, З. С. Косаруков, М. С. Чуприн // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2015. – Т. 140, № 2. – С. 17–21. – ISSN: 2222-5633.

12. Атаманов, С. А. Особенности кадастровых работ в отношении помещений / С. А. Атаманов, С. А. Григорьев, А. Ф. Кораблин, З. С. Косаруков, М. С. Чуприн // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции. – 2014. – № 7-2. – С. 10-12.
13. Чуприн, М. С. Объектно-ориентированная модель земельно-имущественных отношений / М. С. Чуприн, Е. В. Моздир // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет геодезии и картографии", 2014. – №. 7-2. – С. 148-150.

Приложение Д

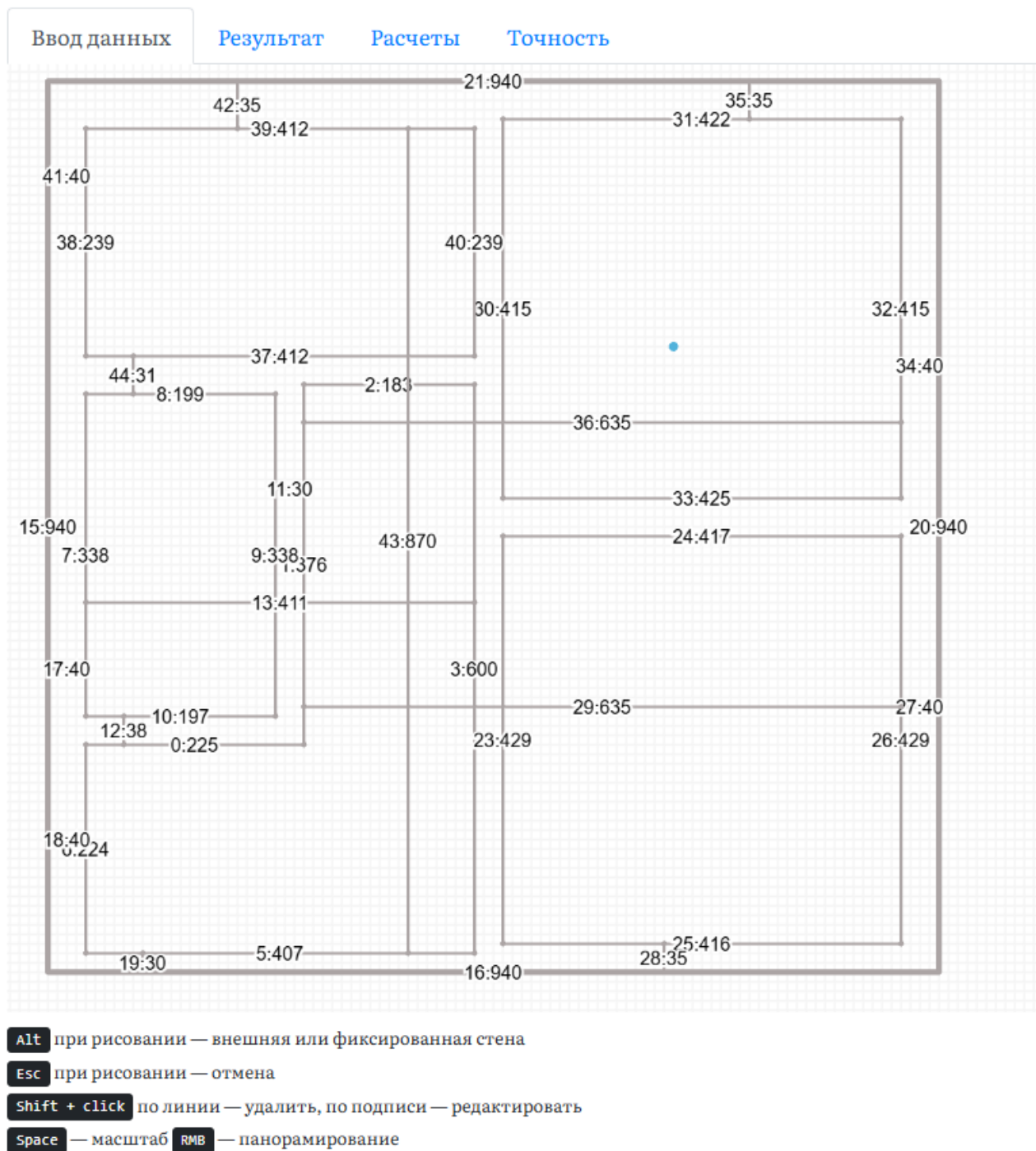
Пример создания планировочного каркаса в Planner

Исходные данные

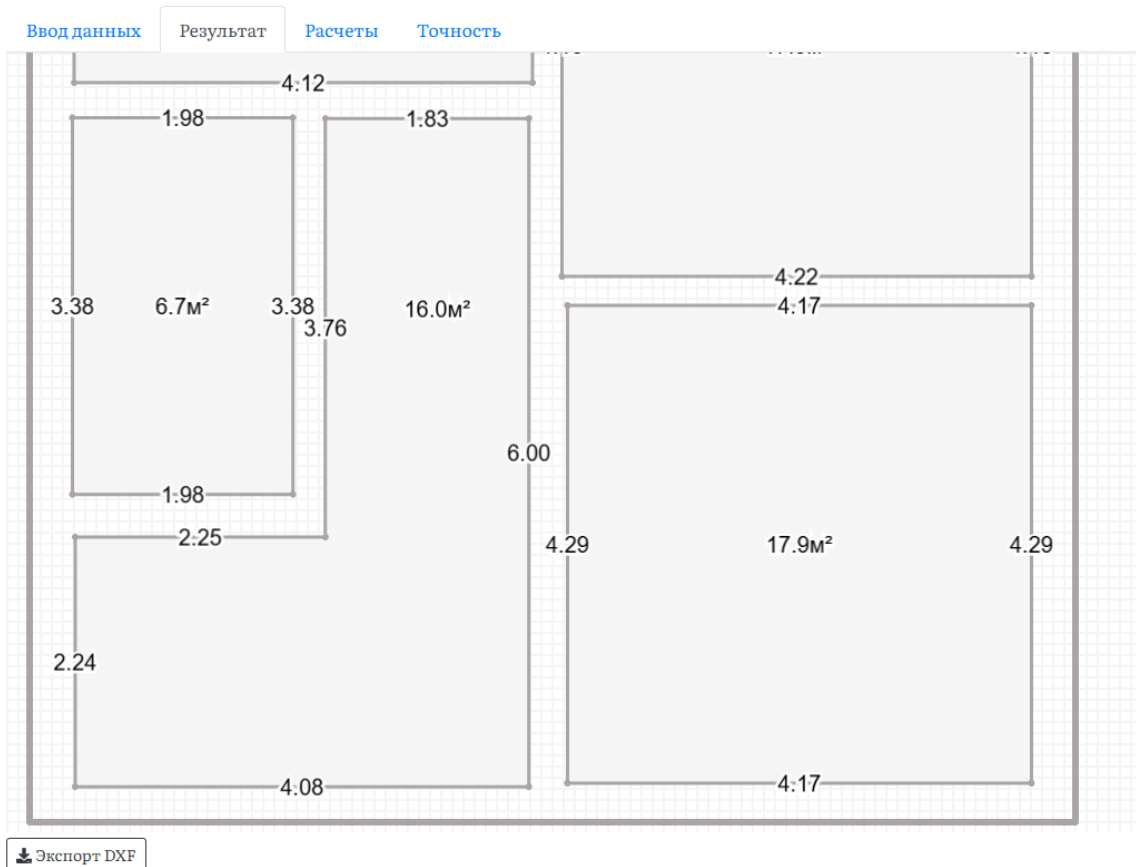
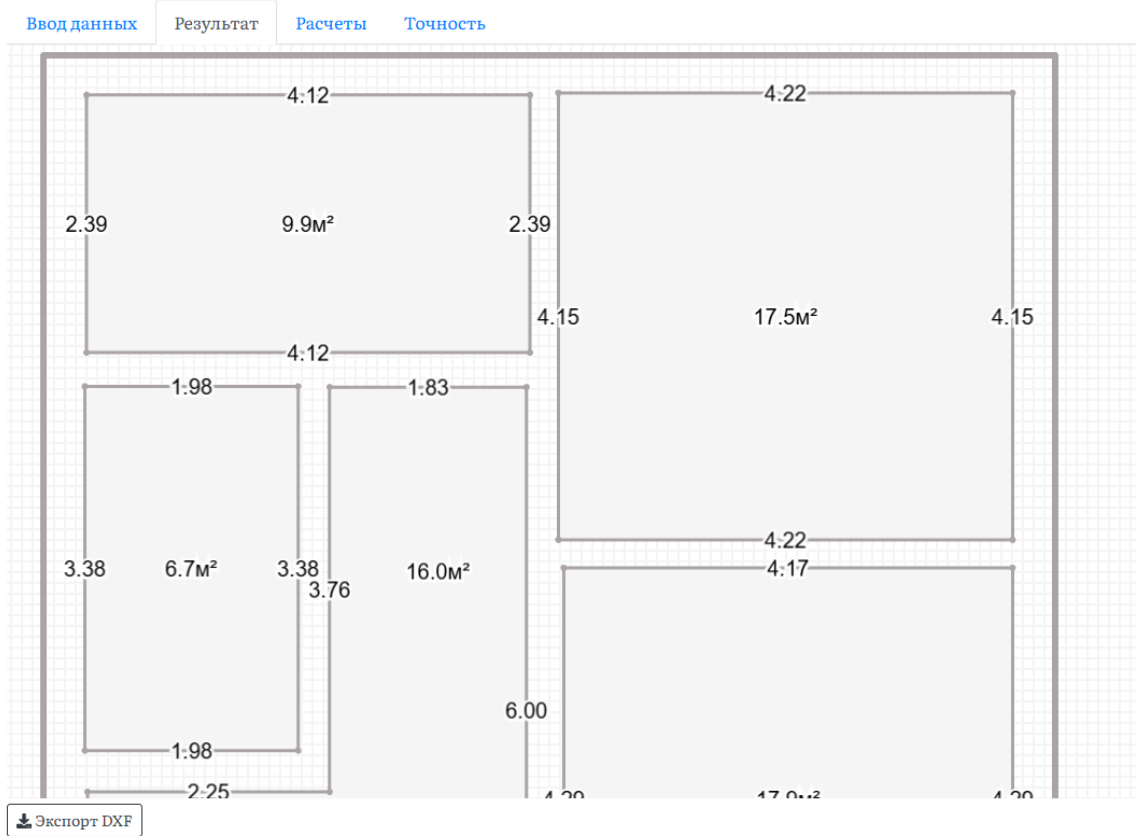
```
{
  "outline_0": {
    "id": "0",
    "a": {
      "x": 4650,
      "y": 4950
    },
    "b": {
      "x": 4880,
      "y": 4950
    },
    "s": "225",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_1": {
    "id": "1",
    "a": {
      "x": 4880,
      "y": 4950
    },
    "b": {
      "x": 4880,
      "y": 4570
    },
    "s": "376",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_2": {
    "id": "2",
    "a": {
      "x": 4880,
      "y": 4570
    },
    "b": {
      "x": 5060,
      "y": 4570
    },
    "s": "183",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_3": {
    "id": "3",
    "a": {
      "x": 5060,
      "y": 4570
    },
    "b": {
      "x": 5060,
      "y": 5170
    },
    "s": "600",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_5": {
    "id": "5",
    "a": {
      "x": 5060,
      "y": 5170
    },
    "b": {
      "x": 4650,
      "y": 5170
    },
    "s": "407",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_6": {
    "id": "6",
    "a": {
      "x": 4650,
      "y": 5170
    },
    "b": {
      "x": 4650,
      "y": 4950
    },
    "s": "224",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_7": {
    "id": "7",
    "a": {
      "x": 4650,
      "y": 4920
    },
    "b": {
      "x": 4650,
      "y": 4580
    },
    "s": "338",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_8": {
    "id": "8",
    "a": {
      "x": 4650,
      "y": 4580
    },
    "b": {
      "x": 4850,
      "y": 4580
    },
    "s": "199",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_9": {
    "id": "9",
    "a": {
      "x": 4850,
      "y": 4580
    },
    "b": {
      "x": 4850,
      "y": 4920
    },
    "s": "338",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_10": {
    "id": "10",
    "a": {
      "x": 4850,
      "y": 4920
    },
    "b": {
      "x": 4650,
      "y": 4920
    },
    "s": "197",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_11": {
    "id": "11",
    "a": {
      "x": 4850,
      "y": 4680
    },
    "b": {
      "x": 4880,
      "y": 4680
    },
    "s": "30",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_12": {
    "id": "12",
    "a": {
      "x": 4690,
      "y": 4920
    },
    "b": {
      "x": 4690,
      "y": 4950
    },
    "s": "38",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_13": {
    "id": "13",
    "a": {
      "x": 4650,
      "y": 4800
    },
    "b": {
      "x": 5060,
      "y": 4800
    },
    "s": "411",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_15": {
    "id": "15",
    "a": {
      "x": 4610,
      "y": 5190
    },
    "b": {
      "x": 4610,
      "y": 4250
    },
    "s": "940",
    "isFixedWall": 1
  },
  "outline_16": {
    "id": "16",
    "a": {
      "x": 4610,
      "y": 5190
    },
    "b": {
      "x": 5550,
      "y": 5190
    },
    "s": "940",
    "isFixedWall": 1
  },
  "outline_17": {
    "id": "17",
    "a": {
      "x": 4650,
      "y": 4870
    },
    "b": {
      "x": 4610,
      "y": 4870
    },
    "s": "40",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_18": {
    "id": "18",
    "a": {
      "x": 4650,
      "y": 5050
    },
    "b": {
      "x": 4610,
      "y": 5050
    },
    "s": "40",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_19": {
    "id": "19",
    "a": {
      "x": 4710,
      "y": 5170
    },
    "b": {
      "x": 4710,
      "y": 5190
    },
    "s": "30",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_20": {
    "id": "20",
    "a": {
      "x": 5550,
      "y": 5190
    },
    "b": {
      "x": 5550,
      "y": 4250
    },
    "s": "940",
    "isFixedWall": 1
  },
  "outline_21": {
    "id": "21",
    "a": {
      "x": 5550,
      "y": 4250
    },
    "b": {
      "x": 4610,
      "y": 4250
    },
    "s": "940",
    "isFixedWall": 1
  },
  "outline_23": {
    "id": "23",
    "a": {
      "x": 5090,
      "y": 5160
    },
    "b": {
      "x": 5090,
      "y": 4730
    },
    "s": "429",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_24": {
    "id": "24",
    "a": {
      "x": 5090,
      "y": 4730
    },
    "b": {
      "x": 5510,
      "y": 4730
    },
    "s": "417",
    "isFixedWall": 0
  },
  "outline_25": {
    "id": "25",
    "a": {
      "x": 5510,
      "y": 4730
    },
    "b": {
      "x": 5510,
      "y": 4730
    },
    "s": "417",
    "isFixedWall": 0
  }
}
```

```
{
  "x":5090,"y":5160},
  "b":{"x":5510,"y":5160},
  "s":416,"isFixedWall":0},
  "outline_26":{
    "id":26,"a":{"x":5510,"y":4730},
    "b":{"x":5510,"y":5160},
    "s":429,"isFixedWall":0},
    "outline_27":{
      "id":27,"a":{"x":5510,"y":4910},
      "b":{"x":5550,"y":4910},
      "s":40,"isFixedWall":0},
      "outline_28":{
        "id":28,"a":{"x":5260,"y":5160},
        "b":{"x":5260,"y":5190},
        "s":35,"isFixedWall":0},
        "outline_29":{
          "id":29,"a":{"x":4880,"y":4910},
          "b":{"x":5510,"y":4910},
          "s":635,"isFixedWall":0},
          "outline_30":{
            "id":30,"a":{"x":5090,"y":4690},
            "b":{"x":5090,"y":4290},
            "s":415,"isFixedWall":0},
            "outline_31":{
              "id":31,"a":{"x":5090,"y":4290},
              "b":{"x":5510,"y":4290},
              "s":422,"isFixedWall":0},
              "outline_32":{
                "id":32,"a":{"x":5510,"y":4290},
                "b":{"x":5510,"y":4690},
                "s":415,"isFixedWall":0},
                "outline_33":{
                  "id":33,"a":{"x":5510,"y":4690},
                  "b":{"x":5090,"y":4690},
                  "s":425,"isFixedWall":0},
                  "outline_34":{
                    "id":34,"a":{"x":5510,"y":4550},
                    "b":{"x":5550,"y":4550},
                    "s":40,"isFixedWall":0},
                    "outline_35":{
                      "id":35,"a":{"x":5350,"y":4250},
                      "b":{"x":5350,"y":4290},
                      "s":35,"isFixedWall":0},
                      "outline_36":{
                        "id":36,"a":{"x":4880,"y":4610},
                        "b":{"x":5510,"y":4610},
                        "s":635,"isFixedWall":0},
                        "outline_37":{
                          "id":37,"a":{"x":5060,"y":4540},
                          "b":{"x":4650,"y":4540},
                          "s":412,"isFixedWall":0},
                          "outline_38":{
                            "id":38,"a":{"x":4650,"y":4540},
                            "b":{"x":4650,"y":4300},
                            "s":239,"isFixedWall":0},
                            "outline_39":{
                              "id":39,"a":{"x":4650,"y":4300},
                              "b":{"x":5060,"y":4300},
                              "s":412,"isFixedWall":0},
                              "outline_40":{
                                "id":40,"a":{"x":5060,"y":4300},
                                "b":{"x":5060,"y":4540},
                                "s":239,"isFixedWall":0},
                                "outline_41":{
                                  "id":41,"a":{"x":4650,"y":4350},
                                  "b":{"x":4610,"y":4350},
                                  "s":40,"isFixedWall":0},
                                  "outline_42":{
                                    "id":42,"a":{"x":4810,"y":4300},
                                    "b":{"x":4810,"y":4250},
                                    "s":35,"isFixedWall":0},
                                    "outline_43":{
                                      "id":43,"a":{"x":4990,"y":4300},
                                      "b":{"x":4990,"y":5170},
                                      "s":870,"isFixedWall":0},
                                      "outline_44":{
                                        "id":44,"a":{"x":4700,"y":4540},
                                        "b":{"x":4700,"y":4580},
                                        "s":31,"isFixedWall":0}
                                      }
                                    }
                                  }
                                }
                              }
                            }
                          }
                        }
                      }
                    }
                  }
                }
              }
            }
          }
        }
      }
    }
  }
}
```

Электронный абрис



Результат



Точность

Вводданных	Результат	Расчеты	Точность
#	S _{изм} , см	V, см (поправка)	S _{уравн} , см
1	225	-0.04	224.96
2	376	-0.10	375.90
3	183	-0.10	182.90
4	600	0.10	600.10
5	407	0.86	407.86
6	224	0.21	224.21
7	338	0.31	338.31
8	199	-0.83	198.17
9	338	0.31	338.31
10	197	1.17	198.17
11	429	0.00	429.00
12	417	0.00	417.00
13	416	1.00	417.00
14	429	0.00	429.00
15	415	0.00	415.00
16	422	0.00	422.00
17	415	0.00	415.00
18	425	-3.00	422.00
19	412	0.00	412.00
20	239	0.31	239.31
21	412	0.00	412.00
22	239	0.31	239.31

n = 30 (количество выполненных измерений и параметрических уравнений связи); k = 22 (количество параметров)

Средняя квадратическая ошибка измеряемого расстояния $\mu = ms = \sqrt{((\sum v^2)/(n-k))} = 1.29$ см

#	Qx	m	outline	orientation	pointNameA	pointNameB
1	1.15	1.38	0	гор (my = m)	4650_4950	4880_4950
2	0.49	0.90	1	верт (mx = m)	4880_4950	4880_4570
3	1.25	1.44	2	гор (my = m)	4880_4570	5060_4570
4	0.67	1.05	3	верт (mx = m)	5060_4570	5060_5170
5	0.65	1.03	5	гор (my = m)	5060_5170	4650_5170
6	0.54	0.94	6	верт (mx = m)	4650_5170	4650_4950
7	0.58	0.98	7	верт (mx = m)	4650_4920	4650_4580
8	1.65	1.65	8	гор (my = m)	4650_4580	4850_4580
9	0.88	1.21	9	верт (mx = m)	4850_4580	4850_4920
10	1.58	1.62	10	гор (my = m)	4850_4920	4650_4920
11	1.62	1.64	23	верт (mx = m)	5090_5160	5090_4730
12	2.00	1.82	24	гор (my = m)	5090_4730	5510_4730
13	1.00	1.29	25	гор (my = m)	5090_5160	5510_5160
14	0.62	1.02	26	верт (mx = m)	5510_4730	5510_5160
15	1.62	1.64	30	верт (mx = m)	5090_4690	5090_4290
16	1.00	1.29	31	гор (my = m)	5090_4290	5510_4290
17	0.62	1.02	32	верт (mx = m)	5510_4290	5510_4690
18	2.00	1.82	33	гор (my = m)	5510_4690	5090_4690
19	1.33	1.49	37	гор (my = m)	5060_4540	4650_4540
20	1.00	1.29	38	верт (mx = m)	4650_4540	4650_4300
21	0.65	1.03	39	гор (my = m)	4650_4300	5060_4300
22	2.00	1.82	40	верт (mx = m)	5060_4300	5060_4540

Оценка точности местоположения точек

#	PointName	Xприблиз	Yприблиз	Vx	Vy	Xуравн	Yуравн	m _x	m _y	Mt
1	4650_4950	4650	4950	0.81	-15.98	4650.81	4934.02	0.94	1.38	1.67
2	4880_4950	4880	4950	-4.23	-15.98	4875.77	4934.02	0.90	1.38	1.65
3	4880_4570	4880	4570	-4.23	-11.88	4875.77	4558.13	0.90	1.44	1.70
4	5060_4570	5060	4570	-1.33	-11.88	5058.67	4558.13	1.05	1.44	1.78
5	5060_5170	5060	5170	-1.33	-11.77	5058.67	5158.23	1.05	1.03	1.47
6	4650_5170	4650	5170	0.81	-11.77	4650.81	5158.23	0.94	1.03	1.40

#	PointName	Xприблиз	Yприблиз	Vx	Vy	Xуравн	Yуравн	m _x	m _y	Mt
7	4650_4920	4650	4920	-1.58	-24.29	4648.42	4895.71	0.98	1.62	1.89
8	4650_4580	4650	4580	-1.58	-22.60	4648.42	4557.40	0.98	1.65	1.92
9	4850_4580	4850	4580	-3.41	-22.60	4846.59	4557.40	1.21	1.65	2.05
10	4850_4920	4850	4920	-3.41	-24.29	4846.59	4895.71	1.21	1.62	2.02
11	5090_5160	5090	5160	3.38	-5.00	5093.38	5155.00	1.64	1.29	2.09
12	5090_4730	5090	4730	3.38	-4.00	5093.38	4726.00	1.64	1.82	2.45
13	5510_4730	5510	4730	0.38	-4.00	5510.38	4726.00	1.02	1.82	2.09
14	5510_5160	5510	5160	0.38	-5.00	5510.38	5155.00	1.02	1.29	1.64
15	5090_4690	5090	4690	-1.62	10.00	5088.38	4700.00	1.64	1.82	2.45
16	5090_4290	5090	4290	-1.62	-5.00	5088.38	4285.00	1.64	1.29	2.09
17	5510_4290	5510	4290	0.38	-5.00	5510.38	4285.00	1.02	1.29	1.64
18	5510_4690	5510	4690	0.38	10.00	5510.38	4700.00	1.02	1.82	2.09
19	5060_4540	5060	4540	2.00	-13.92	5062.00	4526.08	1.82	1.49	2.35
20	4650_4540	4650	4540	0.00	-13.92	4650.00	4526.08	1.29	1.49	1.97
21	4650_4300	4650	4300	0.00	-13.23	4650.00	4286.77	1.29	1.03	1.65
22	5060_4300	5060	4300	2.00	-13.23	5062.00	4286.77	1.82	1.03	2.09

Примеры расчета СКП площади комнаты

СКП площади $f \cdot Q_x \cdot f_t 0.09$

8. Для комнаты с площадью 9.86

Наименьший индекс в матрице Q_x 19

Наибольший индекс в матрице Q_x 22

Часть матрицы Q_x

1.33	0.00	0.58	0.00
0.00	1.00	0.00	1.00
0.58	0.00	0.65	0.00
0	1	0	2

Матрица f

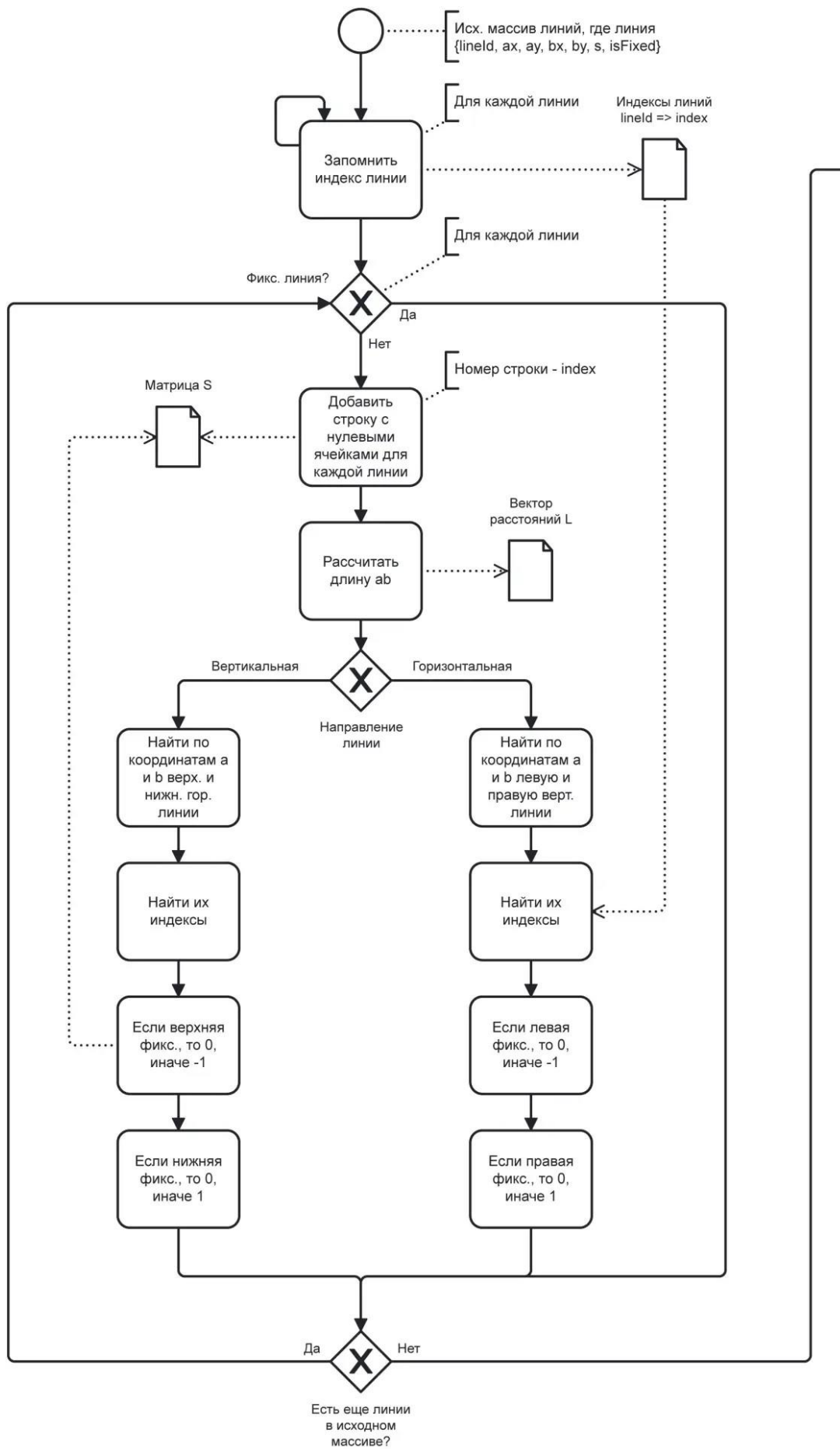
206.00	-119.66	-206.00	119.66
--------	---------	---------	--------

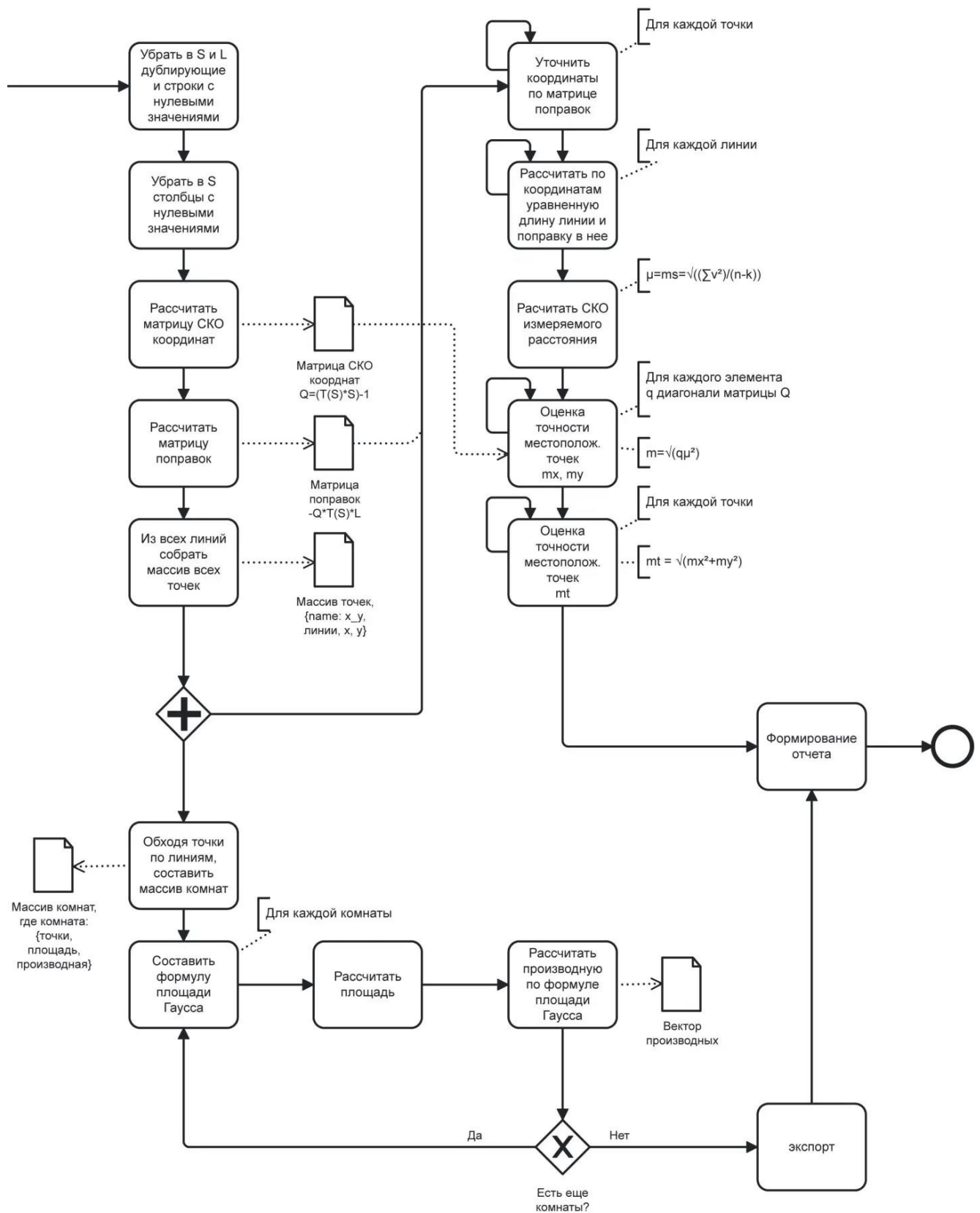
Матрица f_t

206.00
-119.66
-206.00
119.66

СКП площади $f \cdot Q_x \cdot f_t 0.05$

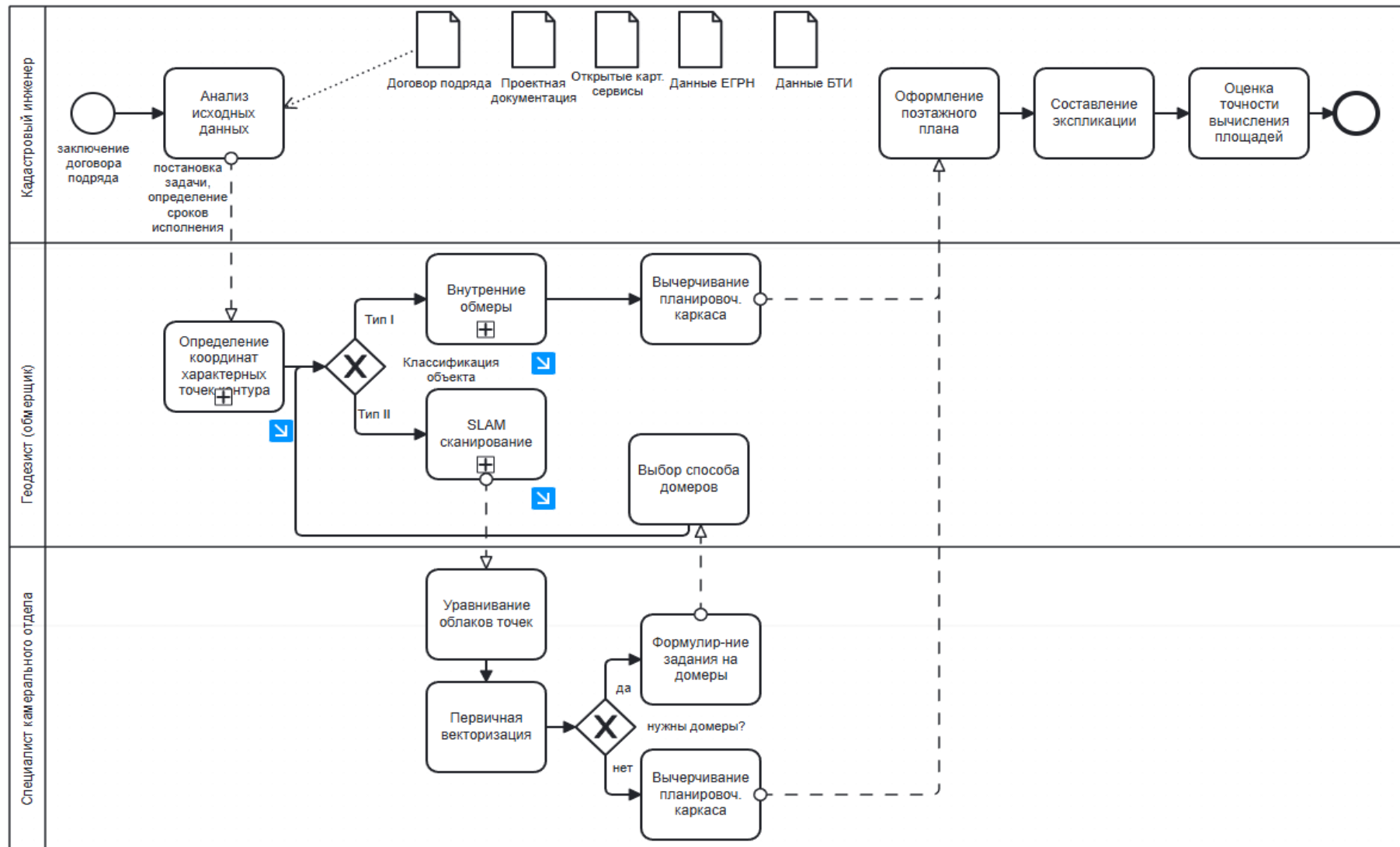
Алгоритм





Приложение Е

Общая блок-схема методики определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета



Приложение Ж

Оценка точности по разностям двойных линейных измерений

N	помещение	комната	рулетка (5)	ПЛС (3)	d, см	[d]
1	КВ. 47	1	5,65	5,65	0	0
2			2,89	2,88	1	1
3		2	4,30	4,30	0	0
4			3,60	3,59	1	1
5		3а	6,09	6,10	-1	1
6			3,40	3,41	-1	1
7		3б	5,00	4,99	1	1
8			4,21	4,20	1	1
9		3в	3,80	3,80	0	0
10			5,60	5,60	0	0
11		5	1,90	1,89	1	1
12			1,54	1,55	-1	1
13		6	1,25	1,25	0	0
14			1,90	1,90	0	0
15		7	2,99	2,99	0	0
16	КВ. 41	1	4,12	4,11	1	1
17			6,20	6,19	1	1
18		2	4,09	4,09	0	0
19			3,10	3,12	-2	2
20		3а	4,09	4,10	-1	1
21			2,95	2,97	-2	2
22		3б	3,00	3,00	0	0
23		6	3,00	3,00	0	0
24			1,81	1,81	0	0
25		7	2,60	2,59	1	1
26	КВ. 42	1	2,00	1,99	1	1
27			3,10	3,09	1	1
28		2	4,00	3,99	1	1
29			3,40	3,40	0	0
30		3	3,40	3,40	0	0
31			4,10	4,10	0	0
32		4	2,58	2,58	0	0
33			1,91	1,90	1	1
34		7	2,98	2,99	-1	1
35	КВ. 43	1	4,45	4,43	2	2
36			3,27	3,26	1	1

N	помещение	комната	рулетка (5)	ПЛС (3)	d, см	[d]
37			1,80	1,80	0	0
38		2	3,60	3,60	0	0
39			3,50	3,50	0	0
40		3a	3,60	3,60	0	0
41			5,09	5,10	-1	1
42		3б	3,60	3,59	1	1
43			3,54	3,55	-1	1
44		4	2,31	2,29	2	2
45			1,80	1,80	0	0
46		5	1,26	1,26	0	0
47			1,78	1,78	0	0
48	КВ. 44	1	2,09	2,10	-1	1
49			2,09	2,09	0	0
50		2	4,50	4,51	-1	1
51			3,41	3,42	-1	1
52		3	4,51	4,52	-1	1
53			3,11	3,11	0	0
54		4	2,10	2,10	0	0
55			1,75	1,75	0	0
56		5	2,09	2,10	-1	1
57			2,00	2,01	-1	1
58	КВ. 45	1	2,70	2,70	0	0
59			2,11	2,10	1	1
60		2	5,89	5,88	1	1
61			3,30	3,30	0	0
62			1,80	1,80	0	0
63		3a	3,30	3,30	0	0
64			4,10	4,10	0	0
65		3б	3,30	3,30	0	0
66			4,10	4,10	0	0
67		4	2,00	2,00	0	0
68			1,80	1,80	0	0
69		5	1,48	1,47	1	1
70			1,20	1,20	0	0
71	КВ. 46	1	2,10	2,11	-1	1
72		2	3,89	3,90	-1	1
73			3,39	3,40	-1	1
74		3	5,09	5,10	-1	1
75			3,10	3,10	0	0
76		4	2,10	2,10	0	0
77			1,75	1,75	0	0

N	помещение	комната	рулетка (5)	ПЛС (3)	d, см	[d]
78		6	2,10	2,10	0	0
79			2,00	2,00	0	0
80		7	2,98	3,00	-2	2
81	МОП	1Ма	1,18	1,19	-1	1
82			1,46	1,46	0	0
83		1М	2,52	2,52	0	0
84		2М	5,19	5,19	0	0
85			2,65	2,66	-1	1
86		3М	1,88	1,88	0	0
87			10,20	10,22	-2	2
88			1,53	1,54	-1	1
89		4М	10,89	10,89	0	0
90			1,55	1,54	1	1
91		5М	5,62	5,63	-1	1
92			1,18	1,18	0	0

Σ	-7
[d]	51
m_d	1,0

$$|[d]| \leq 2,5 \frac{[|d|]}{\sqrt{n}}$$

$$m_d = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}$$

N	помещение	комната	рулетка (5)	ПЛС (1)	d, см	d	v _d , см	v ² _d
1	КВ. 47	1	5,65	5,65	0	0	-0,23	0,05
2			2,89	2,88	1	1	0,77	0,60
3		2	4,30	4,30	0	0	-0,23	0,05
4			3,60	3,60	0	0	-0,23	0,05
5		3а	6,09	6,08	1	1	0,77	0,60
6			3,40	3,40	0	0	-0,23	0,05
7		3б	5,00	4,98	2	2	1,77	3,14
8			4,21	4,20	1	1	0,77	0,60
9		3в	3,80	3,80	0	0	-0,23	0,05
10			5,60	5,59	1	1	0,77	0,60
11		5	1,90	1,88	2	2	1,77	3,14
12			1,54	1,55	-1	1	-1,23	1,51
13		6	1,25	1,24	1	1	0,77	0,60
14			1,90	1,88	2	2	1,77	3,14
15		7	2,99	2,99	0	0	-0,23	0,05
16	КВ. 41	1	4,12	4,12	0	0	-0,23	0,05

N	помещение	комната	рулетка (5)	ПЛС (1)	d, см	d	v _d , см	v ² _d
17			6,20	6,21	-1	1	-1,23	1,51
18		2	4,09	4,08	1	1	0,77	0,60
19			3,10	3,11	-1	1	-1,23	1,51
20		3а	4,09	4,09	0	0	-0,23	0,05
21			2,95	3,00	-5	5	-5,23	27,33
22		3б	3,00	3,00	0	0	-0,23	0,05
23		6	3,00	3,01	-1	1	-1,23	1,51
24			1,81	1,79	2	2	1,77	3,14
25		7	2,60	2,59	1	1	0,77	0,60
26	КВ. 42	1	2,00	1,99	1	1	0,77	0,60
27			3,10	3,09	1	1	0,77	0,60
28		2	4,00	4,00	0	0	-0,23	0,05
29			3,40	3,40	0	0	-0,23	0,05
30		3	3,40	3,39	1	1	0,77	0,60
31			4,10	4,10	0	0	-0,23	0,05
32		4	2,58	2,57	1	1	0,77	0,60
33			1,91	1,89	2	2	1,77	3,14
34		7	2,98	2,97	1	1	0,77	0,60
35	КВ. 43	1	4,45	4,45	0	0	-0,23	0,05
36			3,27	3,26	1	1	0,77	0,60
37			1,80	1,80	0	0	-0,23	0,05
38		2	3,60	3,59	1	1	0,77	0,60
39			3,50	3,50	0	0	-0,23	0,05
40		3а	3,60	3,60	0	0	-0,23	0,05
41			5,09	5,08	1	1	0,77	0,60
42		3б	3,60	3,59	1	1	0,77	0,60
43			3,54	3,53	1	1	0,77	0,60
44		4	2,31	2,30	1	1	0,77	0,60
45			1,80	1,80	0	0	-0,23	0,05
46		5	1,26	1,26	0	0	-0,23	0,05
47			1,78	1,78	0	0	-0,23	0,05
48	КВ. 44	1	2,09	2,09	0	0	-0,23	0,05
49			2,09	2,09	0	0	-0,23	0,05
50		2	4,50	4,49	1	1	0,77	0,60
51			3,41	3,42	-1	1	-1,23	1,51
52		3	4,51	4,50	1	1	0,77	0,60
53			3,11	3,10	1	1	0,77	0,60
54		4	2,10	2,09	1	1	0,77	0,60
55			1,75	1,74	1	1	0,77	0,60
56		5	2,09	2,09	0	0	-0,23	0,05
57			2,00	2,00	0	0	-0,23	0,05

N	помещение	комната	рулетка (5)	ПЛС (1)	d, см	d	v _d , см	v ² _d
58	КВ. 45	1	2,70	2,70	0	0	-0,23	0,05
59			2,11	2,11	0	0	-0,23	0,05
60		2	5,89	5,89	0	0	-0,23	0,05
61			3,30	3,30	0	0	-0,23	0,05
62			1,80	1,80	0	0	-0,23	0,05
63		3а	3,30	3,30	0	0	-0,23	0,05
64			4,10	4,10	0	0	-0,23	0,05
65		3б	3,30	3,29	1	1	0,77	0,60
66			4,10	4,10	0	0	-0,23	0,05
67		4	2,00	2,00	0	0	-0,23	0,05
68			1,80	1,80	0	0	-0,23	0,05
69		5	1,48	1,48	0	0	-0,23	0,05
70			1,20	1,20	0	0	-0,23	0,05
71	КВ. 46	1	2,10	2,10	0	0	-0,23	0,05
72		2	3,89	3,91	-2	2	-2,23	4,97
73			3,39	3,40	-1	1	-1,23	1,51
74		3	5,09	5,09	0	0	-0,23	0,05
75			3,10	3,10	0	0	-0,23	0,05
76		4	2,10	2,09	1	1	0,77	0,60
77			1,75	1,74	1	1	0,77	0,60
78		6	2,10	2,09	1	1	0,77	0,60
79			2,00	1,99	1	1	0,77	0,60
80		7	2,98	2,98	0	0	-0,23	0,05
81	МОП	1Ма	1,18	1,17	1	1	0,77	0,60
82			1,46	1,46	0	0	-0,23	0,05
83		1М	2,52	2,52	0	0	-0,23	0,05
84		2М	5,19	5,19	0	0	-0,23	0,05
85			2,65	2,67	-2	2	-2,23	4,97
86		3М	1,88	1,88	0	0	-0,23	0,05
87			10,20	10,22	-2	2	-2,23	4,97
88			1,53	1,55	-2	2	-2,23	4,97
89		4М	10,89	10,89	0	0	-0,23	0,05
90			1,55	1,54	1	1	0,77	0,60
91		5М	5,62	5,62	0	0	-0,23	0,05
92			1,18	1,18	0	0	-0,23	0,05
					Σ	21	92,21	
					[d]	59		
						0,23		
					m _d	1,0		

$$|[d]| \leq 2,5 \frac{[|d|]}{\sqrt{n}}$$

$$v_{d_i} = d_i - \bar{d}$$

$$\bar{d} = \frac{[d]}{n}$$

$$m_d = \sqrt{\frac{[v_d^2]}{n-1}}$$

Приложение К

Алгоритм AreaErrorPlugin (команда AREERR)

