

На правах рукописи

Гиниятов Артур Ильгизович



Разработка методики геодезического обеспечения кадастровых работ  
для создания и ведения 3D-кадастра недвижимости

1.6.15. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Новосибирск – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Аврунев Евгений Ильич.

Официальные оппоненты:

Басова Ирина Анатольевна, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», заведующая кафедрой геоинженерии и кадастра;

Щукина Вера Николаевна, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет по землеустройству» (г. Москва).

Защита диссертации состоится 28 ноября 2023 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»:

<https://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/giniyatov-artur-ilgizovich/>

Автореферат разослан 10 октября 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Дубровский Алексей Викторович

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.  
Подписано в печать 25.09.2023. Формат 60 × 84 1/16.  
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 118.  
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ  
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.  
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ  
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы исследования.* Развитие городской инфраструктуры и потребность рационального использования территорий в современном мегаполисе диктуют новые правила развития городских систем, их взаимодействия между собой и жителями города. Необходимость гармоничного решения вопросов логистики и обеспечения комфорта городской среды обусловило применение метода многоуровневой застройки объектов недвижимости (ОН). Объекты инженерной и транспортной коммуникации (подземные парковки, метрополитен, многоуровневые автомобильные дороги) и многие другие ОН располагаются на разных отметках одного и того же земельного участка и, как следствие, корректное двухмерное (2D) представление такой застройки не является возможным.

Технический прогресс в сфере геодезического оборудования и расширение возможностей применения геоинформационных систем создают благоприятные условия для внедрения 3D-кадастра. Необходимо отметить, что сегодня во многих сферах деятельности, в том числе в строительстве, кадастре и градостроительстве, используются технологии лазерного сканирования, позволяющие получать 3D-модели объектов капитального строительства (ОКС). Однако в некоторых случаях их широкое использование затруднено рядом факторов, таких как высокая стоимость оборудования, особенности конструкции ОКС (выступы, карнизы и т. п.), не позволяющие определять пространственное положение характерных точек (ХТ) контура ОКС с требуемой нормативной точностью.

Поэтому в настоящее время вопросы пространственного геодезического обеспечения кадастровых работ приобретают особую актуальность. Однако, несмотря на детальное изучение вопросов в отношении геодезического обеспечения кадастровых работ в 2D-формате, проектированию, оценке точности и уравниванию пространственных геодезических построений уделено недостаточно внимания.

Информационно-аналитический обзор научных работ по данному направлению ведущих российских и зарубежных ученых позволил сделать следующие выводы:

- создание 3D-кадастра, как правило, осуществляется на основе 2D-кадастра с параллельным внедрением BIM-технологий на этапе проектирования новых ОКС;
- при создании трехмерных моделей ОКС используется проектная документация, которая зачастую расходится с его фактическими параметрами;
- кадастровая и градостроительная деятельность, как правило, осуществляются в разных координатных системах, что в ряде случаев обуславливает систематические расхождения между проектными параметрами ОКС и их значениями, полученными в результате координирования;
- в действующей нормативно-правовой литературе отсутствуют научно-обоснованные требования к точности построения пространственного геодезического обоснования, необходимого для выполнения кадастровых работ.

*Степень разработанности темы исследования.* Вопросам создания и ведения трехмерных кадастровых систем посвящены работы следующих российских и зарубежных ученых: Басовой И. А., Брыня М. Я., Беленко В. В., Варламова А. А., Волкова С. Н., Карпика А. П., Комиссарова А. В., Сизова А. П., Уставича Г. А., Хорошилова В. С., Шаповалова Д. А., Шоломицкого А. А., Jantien E. Stoter, Petervan Oosterom, Sisi Zlatanova, Fatih Doner, Sudarshan Karki, Kevin McDougall, Shen Ying, Jenny Paulsson, Rod Thompson и др.

*Цель и задачи исследования.* Целью диссертационного исследования является разработка методики геодезического обеспечения кадастровых работ, предназначенных для создания и ведения 3D-кадастра недвижимости.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих научно-технических задач:

- информационно-аналитический обзор современного состояния геодезического обеспечения кадастровых работ, предназначенных для создания и ведения 3D-кадастра недвижимости в России и за рубежом;
- разработка системы принципов геодезического обеспечения кадастровых работ, выполняемых в 3D-формате;

- теоретическое обоснование системы нормативных допусков для построения пространственной геодезической сети специального назначения (ГССН), предназначенной для выполнения кадастровых работ в 3D-формате;
- разработка программного обеспечения априорной оценки точности параметров ГССН с выбором соответствующего измерительного оборудования;
- апробация разработанной методики геодезического обеспечения кадастровых работ на примере города Новосибирска.

*Объект и предмет исследования.*

*Объектом исследования* является геодезическое обеспечение кадастровых работ, предназначенных для создания и ведения 3D-кадастра недвижимости.

*Предметом исследования* является методика геодезического обеспечения создания и ведения трехмерного кадастра объектов недвижимости, включая принципы геодезического обеспечения, систему нормативных допусков для построения ГССН, предназначенной для выполнения кадастровых работ в 3D-формате, вопросы проектирования и оценки точности пространственных геодезических построений и выбора методов и средств измерений при формировании 3D-моделей ОН.

*Научная новизна* результатов исследования заключается в следующем:

- разработана система принципов геодезического обеспечения кадастровых работ, предназначенных для создания и ведения 3D-кадастра;
- теоретически обоснована и предложена система нормативных допусков для построения ГССН.

*Теоретическая и практическая значимость работы.*

*Теоретическая значимость* работы заключается в концептуальном подходе к геодезическому обеспечению кадастровых работ, предназначенных для создания и ведения 3D-кадастра недвижимости, включающем в себя систему принципов выполнения геодезических работ при координировании ОКС, систему нормативных допусков для построения ГССН и координатную систему для математической обработки геодезических измерений при вычислении фактических параметров ОКС.

*Практическая значимость работы* заключается в том, что разработанная методика геодезического обеспечения кадастровых работ может быть использована кадастровыми инженерами для создания геодезического обоснования и выбора измерительного технологического оборудования для определения параметров ОКС в пространственной системе координат в соответствии с заданными нормативными допусками.

*Методология и методы исследования.* Для решения поставленных задач в диссертации использовались базовые понятия и методология кадастровой деятельности, методы проектирования и математической обработки геодезических сетей, а также методы системного анализа.

*Положения, выносимые на защиту:*

– предлагаемая система принципов геодезического обеспечения кадастровых работ позволит наиболее технологично осуществлять перевод кадастра недвижимости в 3D-формат;

– предлагаемая структура геодезического обоснования и система нормативных допусков позволят с наименьшими затратами наполнять ЕГРН актуальной и достоверной информацией о пространственных параметрах ОН;

– компьютерная реализация алгоритма априорной оценки точности пространственной ГССН позволит осуществлять проектирование, предрасчет точности и выбор необходимого измерительного технологического оборудования для геодезического обеспечения кадастровых работ.

*Соответствие диссертации паспорту научной специальности.* Диссертационное исследование по содержанию и характеру полученных результатов соответствует следующим областям исследования: 7 – Принципы сбора, документирования, накопления, обработки и хранения сведений об объектах недвижимости. Разработка единой методики по ведению комплексного кадастра; 9 – Информационное обеспечение кадастровой, землеустроительной и градостроительной деятельности в интересах цифровой трансформации экономики. Применение искусственного интеллекта, нейросетевых алгоритмов, «облачных» технологий, технологии потоковой обработки информации, геопорталов, цифровых двойни-

ков паспорта научной специальности 1.6.15. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России.

*Степень достоверности и апробация результатов.* Основные результаты научного исследования докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских научно-практических конференциях: Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (Новосибирск, СГУГиТ, 2020, 2021, 2022, 2023 гг.); Национальной научно-практической конференции с международным участием «Нефтегазовый комплекс: технологические решения, аэрокосмический мониторинг, регулирование земельно-имущественных отношений, кадастровая оценка» (Южно-Сахалинск, СахГУ, 2019 г.); Национальной научно-практической конференции «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» (Новосибирск, СГУГиТ, 2019, 2020, 2021, 2022 гг.), Национальной конференции с международным участием «Применение BIM-технологий для управления объектами недвижимости» (Новосибирск, СГУГиТ, 2020 г.), научных семинарах кафедры кадастра и территориального планирования СГУГиТ.

Результаты исследования внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» и ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», а также в производственный процесс Управлений Росреестра по Новосибирской и Томской областям и ООО «Геосити» (г. Новосибирск), о чем свидетельствуют соответствующие акты о внедрении.

*Публикации по теме диссертации.* Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в одиннадцати научных статьях, три из которых – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

*Структура диссертации.* Общий объем диссертации составляет 132 страницы машинописного текста. Диссертация состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка литературы, включающего 118 наименований, содержит 15 таблиц, 22 рисунка, 7 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Во введении* обоснован выбор темы и показана актуальность научного исследования, определена степень разработанности данного направления, сформулированы цель и задачи исследования, установлены объект и предмет научного исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов исследования, представлены публикации по теме диссертации и ее структура.

*В первом разделе* выполнен информационно-аналитический обзор современного состояния геодезического обеспечения создания 3D-кадастра в России и за рубежом, анализ которого позволил выявить проблематику, существующую в данной сфере деятельности, и сформулировать научно-технические вопросы, требующие своей разработки для повышения качества кадастровых работ.

Отмечено, что основная проблема заключается в отсутствии методики геодезического обеспечения кадастровых работ, базирующейся на системе научно-обоснованных принципов и нормативных требований для построения геодезических сетей, предназначенных для определения пространственных параметров ОН и их внесения в ЕГРН.

*Второй раздел* диссертации посвящен разработке методики геодезического обеспечения кадастровых работ, предназначенных для создания и ведения 3D-кадастра недвижимости. Основой разработанной методики стали: система принципов геодезического обеспечения кадастровых работ в отношении ОН в формате 3D; теоретически обоснованная система нормативных допусков построения

пространственной ГССН; структура геодезического обоснования для выполнения кадастровых работ; система координат, используемая при математической обработке результатов измерений, и классификация способов создания геодезического обоснования для выполнения кадастровых работ в формате 3D.

Для решения поставленной задачи, в развитие ранее выполненных исследований были сформулированы следующие принципы:

1) создание 3D-кадастра наиболее технологично выполнять на основе существующего 2D-кадастра, используя для координирования ОН местную плоскую прямоугольную систему координат, дополненную третьей координатой  $H$  (нормальная высота, отсчитанная от уровенной поверхности, проходящей через среднюю отметку территориального образования);

2) для устранения системных противоречий между проектными параметрами ОКС, которые соответствуют реальным размерам сооружения на физической поверхности Земли, и результатами координирования, выполненными в математической проекции Гаусса – Крюгера, при 3D-моделировании ОКС необходимо использовать условную систему координат ОКС, привязанную к его основным осям и координатной системе территориального образования;

3) установление научно-обоснованных нормативных требований к точности выполнения кадастровых работ должно осуществляться в соответствии с принципом «изотропности» координатного пространства кадастрового квартала, когда точность определения высоты должна соответствовать точности планового положения характерных точек (ХТ) ОН;

4) научно-обоснованные нормативные требования к точности выполнения кадастровых работ должны устанавливаться для кадастрового квартала как структурной единицы территориального образования;

5) для надежного закрепления принятой системы координат при выполнении кадастровых работ необходимо использовать углы ОКС, которые при соответствующей точности их координирования целесообразно применять как исходную геодезическую основу для восстановления утраченных ХТ границ земельных участков (ЗУ);

б) нормативная точность координирования ХТ контуров ОКС должна быть установлена вне зависимости от категории земель, на которых расположен ОКС.

Реализация первого, четвертого и пятого принципов позволила установить нормативный допуск на среднюю квадратическую ошибку (СКО  $m$ ) определения третьей координаты ХТ контура ОКС (нормальной высоты  $H$ ), которая позволяет создать пространственную координатную систему кадастрового квартала и с минимальной трудоемкостью перейти к ведению ЕГРН в формате 3D.

Исходя из предложенного принципа «изотропности», нормативная СКО пространственного положения ХТ границы ЗУ имеет следующее значение:

$$m_{x,y} = m_H = 10 \text{ см}, \quad m_{ХТ} = \sqrt{m_{x,y}^2 + m_H^2} = 14,1 \text{ см}. \quad (1)$$

Для реализации принципа закрепления координатного пространства углами ОКС и восстановления утраченных ХТ границ ЗУ относительно этих структурных элементов установим требование, чтобы СКО определения координат углов ОКС была пренебрегаемо мала по отношению к нормативной точности определения ХТ границ ЗУ:

$$m_{\text{ОКС}} = \frac{m_{ХТ}}{t} = \frac{14,1 \text{ см}}{2} = 7,1 \text{ см}, \quad m_{\text{ОКС}}^2 = m_{x,y}^2 + m_H^2, \quad m_{x,y} = m_H = \frac{m_{\text{ОКС}}}{\sqrt{2}} = 5,0 \text{ см}. \quad (2)$$

Отметим, что установленный нормативный допуск относится как к взаимному положению определения координат ХТ, закрепляющих контур только одного ОКС, так и к СКО взаимного положения ОКС относительно друг друга.

При использовании комбинированного способа координирования ХТ ОКС, состоящего из *GNSS* и наземных измерительных технологий для плановой и, соответственно, высотной составляющей, справедливы следующие выражения:

$$m_{x,y}^{\text{ОКС}} = \sqrt{(m_{x,y}^{\text{GNSS}})^2 + (m_{x,y}^{\text{ИЗМ}})^2} = 5,0 \text{ см}, \quad m_H^{\text{ОКС}} = \sqrt{(m_H^{\text{GNSS}})^2 + (m_H^{\text{ИЗМ}})^2} = 5,0 \text{ см}. \quad (3)$$

Применяя к (3) «принцип равного влияния», получаем следующее выражение:

$$m_{x,y}^{GNSS} = m_{x,y}^{ИЗМ} = \frac{m_{x,y}^{ОКС}}{\sqrt{2}} = 3,5 \text{ см}, \quad m_H^{GNSS} = m_H^{ИЗМ} = \frac{m_H^{ОКС}}{\sqrt{2}} = 3,5 \text{ см}. \quad (4)$$

Учитывая уровень развития современных измерительных технологий и наличие во многих территориальных образованиях РФ достаточно плотной сети дифференциальных геодезических станций (ДГС), предлагается в качестве нормативных критериев при построении ГССН использовать эти допуски.

Реализация предлагаемой системы нормативных допусков позволит восстанавливать утраченные ХТ границы земельного участка, на котором расположен ОКС, вне зависимости от изменения действующей системы координат и стабильности в пространстве и времени исходных пунктов ДГС.

На основании информационно-аналитического обзора существующей нормативно-правовой базы формирования технических планов ОКС и выполнения исполнительных съемок при приеме ОКС в эксплуатацию установлено, что точность геодезических измерений, в зависимости от размеров помещения, составляет от 2 до 10 мм. Таким образом, СКО определения параметров внутренних структурных элементов ОКС является более высокой по сравнению с внешним контуром, который координируется относительно исходных пунктов ГССН. Отсюда следует, что использование при выполнении 3D-моделирования ОКС координатной системы, принятой для ведения ЕГРН (в кадастровом округе), приведет к искаженным результатам и не позволит оценивать соответствие параметров возведенного ОКС проектным значениям. Данная ситуация обусловлена, во-первых, редуцированием измерений с физической поверхности Земли на плоскость в проекции Гаусса – Крюгера, а во-вторых, более низкой точностью координирования внешнего контура ОКС по сравнению с его внутренними элементами.

Выходом из создавшейся ситуации может стать применение при 3D-моделировании ОКС условной системы координат ОКС, привязанной к координатной системе ЕГРН одной характерной точкой, закоординированной относительно исходных пунктов ГССН.

Образование условной координатной системы ОКС предлагается осуществлять путем совмещения координатных осей с основными осями ОКС, а за начало системы координат выбирать ХТ, закрепляющую на местности внешний контур ОКС и закоординированную относительно исходных пунктов ГССН.

Принципиальная схема такого решения приведена на рисунке 1.

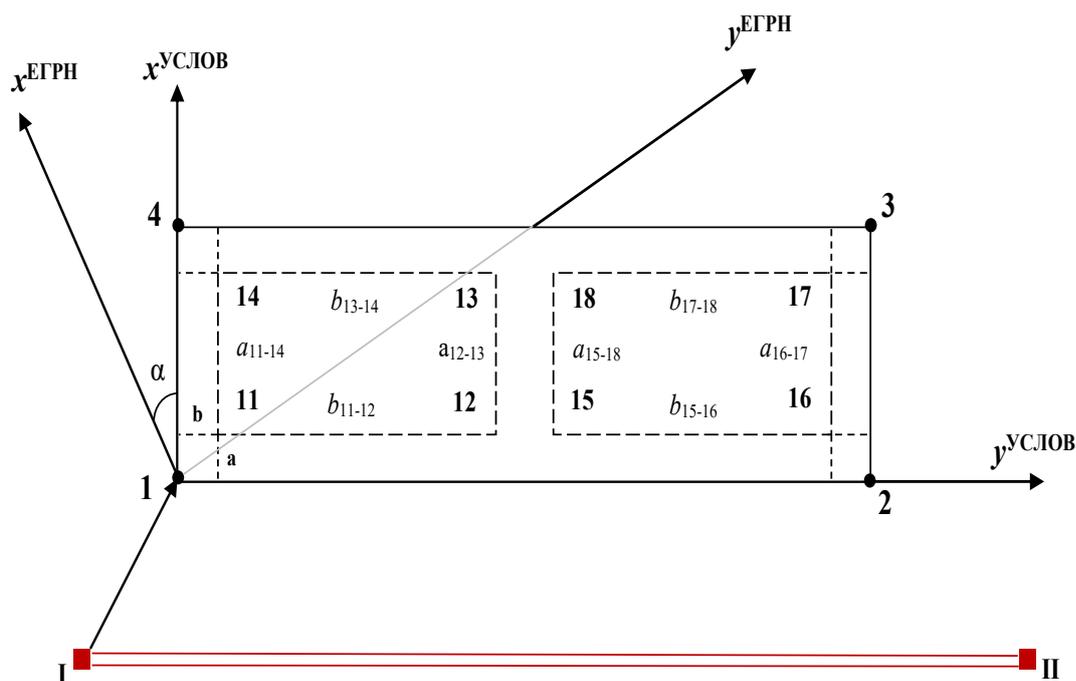


Рисунок 1 – Принципиальная схема определения параметров внутренних элементов для 3D-моделирования ОКС

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:  $a$ ,  $b$  – проектные расстояния, определяющие расположение основных и дополнительных осей относительно внутренних элементов здания;  $a_{i-j}$ ,  $b_{i-j}$  – измеренные параметры внутренних помещений ОКС; 11–18 – характерные точки, определяющие параметры внутренних структурных элементов ОКС и его дополнительных осей; 1, 2, 3, 4 – характерные точки, определяющие расположение основных осей ОКС; I, II – исходные пункты ГССН.

Ключи перехода от условной координатной системы ОКС в координатную систему ЕГРН имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} X^{\text{ЕГРН}} &= X^{\text{УСЛ}} \cdot \cos \alpha - Y^{\text{УСЛ}} \cdot \sin \alpha ; \\ Y^{\text{ЕГРН}} &= Y^{\text{УСЛ}} \cdot \cos \alpha + X^{\text{УСЛ}} \cdot \sin \alpha , \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\alpha$  – угол разворота координатных осей.

Реализация такого подхода даст возможность определять реальные параметры ОКС и оценивать их отличия от проектных значений, что позволит давать обоснованное заключение о возможности введения в эксплуатацию ОКС.

Алгоритм определения аналитических координат внутренних помещений, проверки гипотез об их прямоугольности и соответствии параметров проектным размерам, подробно рассмотрен в диссертации (раздел 2.1).

Соблюдение вышерассмотренных нормативных допусков позволит создавать геодезическое обоснование в кадастровом квартале и 3D-модели ОКС, соответствующие современным требованиям, предъявляемым для формирования 3D-кадастра на территории Российской Федерации.

В результате ранее выполненных исследований было установлено, что уменьшение числа ступеней при построении геодезического обоснования (ГО) приводит к существенному повышению точности уравниваемых параметров ГССН вследствие уменьшения влияния ошибок исходных данных и сокращения трудоемкости при выполнении полевых геодезических работ. Продолжая исследования в этом направлении, представляется целесообразным ограничиться только двумя ступенями, где в качестве первой ступени используется сеть ДГС, а в качестве второй ступени – ГССН, совместив передачу координатного пространства в соответствующий кадастровый квартал с координированием всех ХТ, необходимых для выполнения кадастровых работ при создании 3D-кадастра.

Следует отметить, что предложенный ранее нормативный допуск к СКО взаимного положения пунктов первой ступени, составляющий  $m_{\text{ДГС}} = 1,2$  см, следует оставить без изменения, поскольку он соответствует решению всех поставленных выше научно-технических задач как для градостроительной, так и для

кадастровой деятельности. Предлагаемая двухступенчатая структура ГО приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Предлагаемая структура двухступенчатого геодезического обоснования в формате 3D для координатного обеспечения кадастровой и градостроительной деятельности

Название ступени ГО	Используемые измерительные технологии	Решаемые задачи и особенности построения на местности
Дифференциальная геодезическая сеть (ДГС)	<i>GNSS</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Создание единого координатного пространства, состоящего из пунктов ГГС, ОМС, ОГС, ГСС.</li> <li>2 Расстояние между пунктами ДГС порядка 25–30 км<sup>2</sup> с расположением их на крышах зданий и сооружений.</li> <li>3 Решение научно-технических задач, связанных с тектонической и антропогенной нагрузкой на соответствующую территорию</li> </ol>
Геодезическая сеть специального назначения (ГССН)	Комбинированный способ, сочетание спутниковых и традиционных наземных измерительных технологий	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Передача системы координат в район выполнения кадастровых работ.</li> <li>2 Расположение пунктов и их закрепление в кадастровом квартале (КК), в количестве не менее двух при наличии прямой оптической видимости между ними.</li> <li>3 Координирование с установленной нормативной точностью объектов недвижимости, расположенных в соответствующем КК.</li> <li>4 Восстановление утраченных ХТ, закрепляющих границы земельных участков, при проведении землеустроительной экспертизы и осуществлении государственного земельного надзора (контроля)</li> </ol>

Итоговым результатом решения всех вышерассмотренных задач стала методика геодезического обеспечения кадастровых работ, предназначенных для создания и ведения 3D-кадастра ОН, технологическая схема которой приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Технологическая схема методики создания геодезического обеспечения трехмерного кадастра недвижимости

*Третий раздел* диссертации посвящен апробации разработанной методики на примере кадастрового квартала города Новосибирска.

Важным аспектом разработанной методики геодезического обеспечения кадастровых работ для создания и ведения 3D-кадастра недвижимости является выбор измерительного технологического оборудования, позволяющего обеспечить установленную нормативную точность. Для решения этой задачи в диссер-

тации разработан и реализован в форме программного обеспечения алгоритм априорной оценки точности проекта пространственной ГССН с последующим выбором измерительного оборудования. Принципиальным отличием предложенного алгоритма от существующих является то, что совместной обработке подвергаются измерения, определяющие не только плановое (горизонтальные углы, длины линий), но и высотное (вертикальные углы) положение ХТ ОН.

Блок-схема разработанной компьютерной программы приведена на рисунке 3.

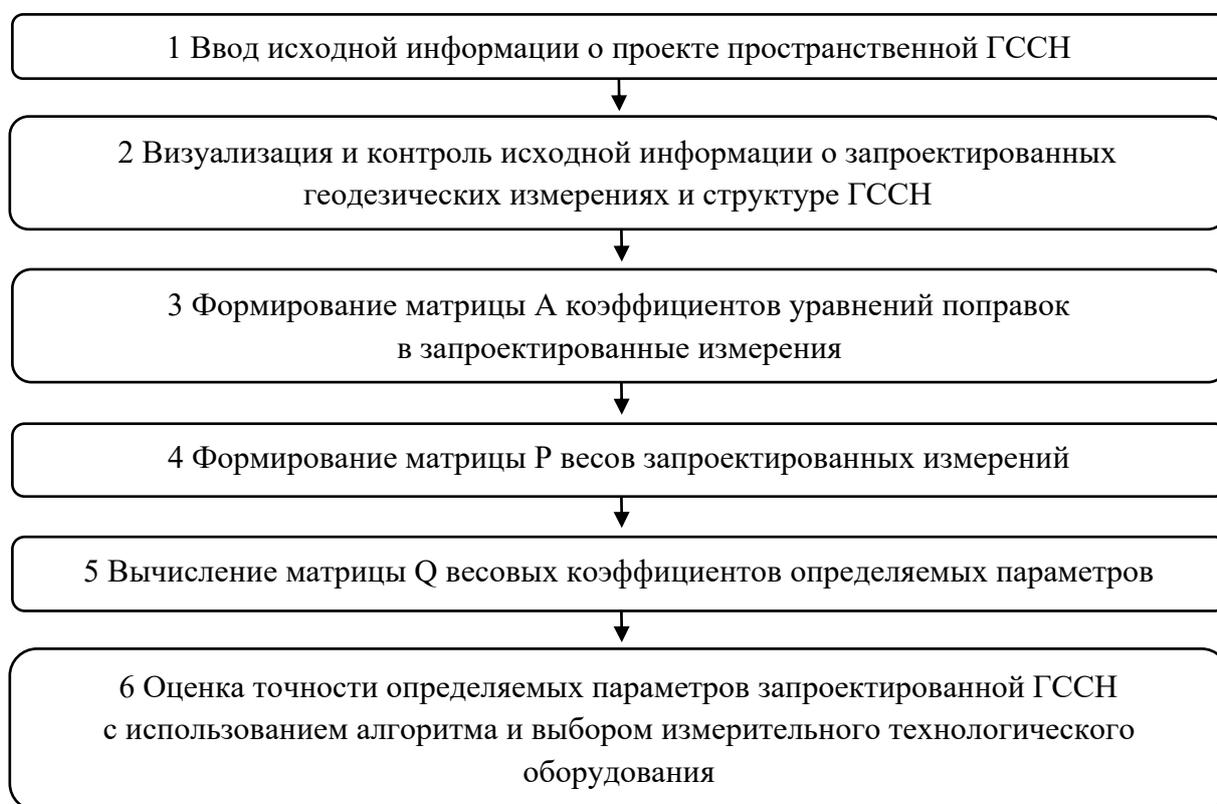
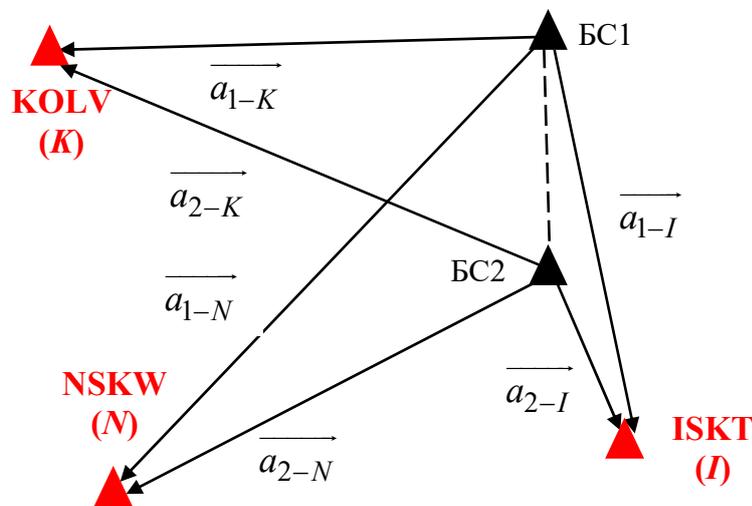


Рисунок 3 – Блок-схема компьютерной программы для априорной оценки точности проекта ГССН

Проектирование и построение на местности ГССН по разработанной методике и с применением составленной компьютерной программы выполнялись на территории кадастровых кварталов, расположенных в Октябрьском районе города Новосибирска в рамках выполнения кадастровых работ ООО «Геосити» для подготовки технического паспорта на объект капитального строительства в формате 3D.

Для выполнения натурных геодезических измерений использовался спутниковый приемник Javad Triumph-1M, который характеризуется следующими точностными характеристиками: в плане  $m_{GNSS} = 3 \text{ мм} + 0,1 \text{ мм} * L_{(км)}$  и по высоте  $m_{GNSS} = 3,5 \text{ мм} + 0,4 \text{ мм} * L_{(км)}$ , соответственно.

В качестве исходных пунктов использовались базовые станции (БС1, БС2), координаты которых были получены относительно исходных пунктов ДГС. Принципиальная схема координирования приведена на рисунке 4.



Условные обозначения:

- ▲ Исходные ДГС;
- ▲ Определяемые базовые станции;
- ➔ Определяемые пространственные векторы;
- - - Контрольная длина линии для определения точности применяемой GNSS-технологии

Рисунок 4 – Принципиальная схема построения первой ступени ГССН

Оценка точности GNSS-измерений выполнялась по предложенному алгоритму, основанному на сравнении координат БС, полученных относительно трех исходных пунктов ДГС. Результаты математической обработки натурных GNSS-измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты математической обработки GNSS-определений

Базовая станция	Исходная ДГС	СКО базового вектора (см)		Расхождения (см)		Средневесовые значения координат базовых станций (м)		
		$m(x, y)$	$m(H)$	$\Delta_{x,y}$	$\Delta_H$	$x$	$y$	$H$
1	NSKW	0,4	0,7			5186630,055	51199765,348	113,515
	KOLV	0,7	1,6	0,3	0,5			
	ISKT	0,8	1,9	0,9	0,3			
2	NSKW	0,4	0,7			5186524,955	51199630,463	113,515
	KOLV	0,7	1,6	0,7	1,2			
	ISKT	0,8	1,9	0,7	1,3			

Примечание. В таблице приведены условные координаты базовых станций.

Таким образом, точность построения первой степени ГССН соответствует предложенной системе нормативных допусков.

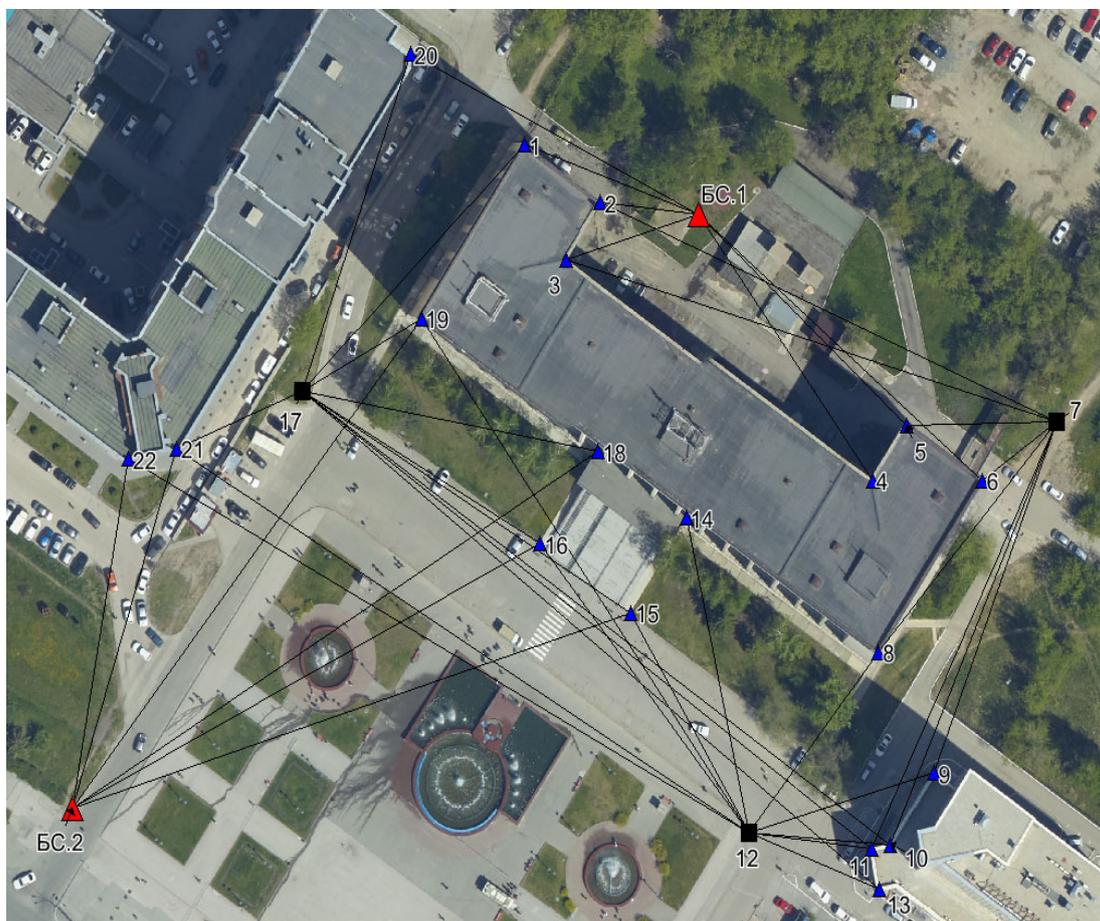
Вторая степень ГССН была построена с применением наземных измерительных технологий. Для определения наиболее технологичного способа было выполнено исследование трех вариантов (подробное описание со схемами построения приведено в диссертации в разделе 3.2).

1 Базовый тахеометрический ход, построенный по правилам классической геодезии.

2 Ход «электронной тахеометрии», в котором передача координат от одного исходного пункта к другому осуществляется по связующим точкам, расположенным на контуре ОКС. Такая технология определяет отсутствие необходимости прямой оптической видимости между промежуточными точками, что существенно снижает трудоемкость, и, кроме этого, построение хода и координирование ХТ выполняется в единой технологической схеме.

3 Ход «электронной тахеометрии» с координатной привязкой, который обеспечивает сокращение необходимого количества исходных БС и, следовательно, обуславливает дальнейшее снижение трудоемкости выполняемых технологических операций. Расположение координируемого ОКС и схема построения

ГССН комбинированным способом с координатной привязкой к базовым станциям БС1 и БС2 приведена на рисунке 5.



Условные обозначения:

- ▲ Исходные базовые станции;
- ▲ Связующие точки хода;
- Промежуточные точки хода;
- / Измеряемые элементы.

Рисунок 5 – Схема построения двухступенчатой ГССН с координатной привязкой

При выполнении натурных геодезических измерений использовался отражательный электронный тахеометр Sokkia SET 630RK, инструментальная точность которого для угловых измерений, соответственно, составляет  $m_{\beta} = 6''$ , а линейных (на таких коротких длинах линий) –  $m_L = 2$  мм.

Априорная оценка точности определения координат, заключалась в применении метода наименьших квадратов с использованием программного обеспече-

ния, разработанного в ходе диссертационного исследования («Logos-2»), и программы «Logos», а математическая обработка натурных геодезических измерений – программного комплекса «Credo».

Результаты уравнивания и оценки точности приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительный анализ точности параметров ГССН для создания 3D-модели ГПНТБ

Номер варианта построения ГССН	Априорная оценка точности проекта					Оценка точности из математической обработки натурных измерений	
	Logos (см)		Logos-2 (см)			Credo (см)	
	$m(x, y)$	$m(i-j)$	$m(x, y)$	$m(H)$	$m(x, y, H)$	$m(x, y)$	$m(H)$
1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2
2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2
3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3

Следовательно, наименее трудоемким и, в тоже время, обеспечивающим установленную систему нормативных допусков, является ход «электронной тахеометрии» с координатной привязкой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика геодезического обеспечения кадастровых работ, предназначенных для создания и ведения трехмерного кадастра недвижимости.

Основные научные и практические результаты заключаются в решении следующих основных научно-технических вопросов:

- выполнен информационно-аналитический обзор современного состояния геодезического обеспечения создания и ведения 3D-кадастра недвижимости в России и за рубежом, который позволил выявить основные проблемы, существующие в данной сфере деятельности, и сформулировать ключевые научно-

технические вопросы, требующие своей разработки в целях существенного повышения качества и достоверности кадастровых работ;

- разработана система принципов геодезического обеспечения кадастровых работ, которая позволит определять пространственные параметры ОН, исходя из класса решаемых кадастровых и градостроительных задач в 3D-формате, и восстанавливать утраченные ХТ границ ЗУ вне зависимости от изменения действующей системы координат и стабильности в пространстве исходных пунктов ДГС, что существенно повысит качество проведения судебной землеустроительной экспертизы при наличии судебных споров между правообладателями;

- теоретически обоснована система нормативных допусков построения пространственной ГССН, предназначенной для выполнения кадастровых работ в 3D-формате;

- разработано программное обеспечение априорной оценки точности пространственной ГССН с последующим выбором измерительного технологического оборудования, необходимого для обеспечения нормативной точности;

- выполнена апробация разработанной методики на примере ОКС, расположенного в городе Новосибирске, в результате которой были доказаны высокая технологичность и эффективность разработанной системы принципов, нормативных требований и структуры ГССН для определения пространственных параметров ОН, необходимых при осуществлении кадастровой и градостроительной деятельности в формате 3D.

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию кадастровыми инженерами при выполнении кадастровых работ в 3D-формате.

Перспективы дальнейших исследований по данному направлению заключаются в интеграции разработанной методики в технологическую схему формирования и ведения 3D-кадастра недвижимости.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ  
ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Аврунев, Е. И. Концептуальный подход к геодезическому обеспечению 3D-кадастра / Е. И. Аврунев, А. И. Гиниятов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 152–158. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-152-158.

2 Аврунев, Е. И. Проектирование и уравнивание пространственных геодезических построений, предназначенных для создания трехмерного кадастра / Е. И. Аврунев, А. И. Гиниятов, А. И. Каленицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 126–134. – DOI 10.33764/2611-1759-2021-26-5-126-134.

3 Некоторые особенности выполнения кадастровых работ с использованием постоянно действующих базовых станций / Е. И. Аврунев, В. Н. Каверин, А. И. Гиниятов, Н. В. Каверин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2022. – № 2. – С. 47–56. – DOI 10.22389/0016-7126-2022-980-2-47-56.

4 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616476 Российская Федерация. Априорная оценка точности пространственной геодезической сети, предназначенной для выполнения кадастровых работ : № 2023615589 : дата поступления 28.03.2023 : дата регистрации 28.03.2023 / Аврунев Е. И., Гиниятов А. И. ; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (RU). – Текст : непосредственный

5 Аврунев, Е. И. Современное состояние геодезического обеспечения создания и ведения 3D-кадастра / Е. И. Аврунев, А. И. Гиниятов. – Текст : непосредственный // Нефтегазовый комплекс: проблемы и решения : в рамках 23-й Международной конференции и выставки «Нефть и газ Сахалина 2019», 24–26 сентября 2019 г. : материалы Второй национальной научно-практической конферен-

ции с международным участием. – Южно-Сахалинск : СахГУ, ИМГиГ ДВО РАН. – 2019. – С. 51–56.

6 Аврунев, Е. И. Некоторые аспекты создания геодезического обеспечения трехмерного кадастра недвижимости / Е. И. Аврунев, А. И. Гиниятов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 3 : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – № 2 – С. 30–35. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-3-2-30-35.

7 Аврунев, Е. И. Пространственно-координатное обеспечение ведения 3D-кадастра в России / Е. И. Аврунев, А. И. Гиниятов. – Текст : непосредственный // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сб. материалов 4-й Национальной научно-практической конференции, 17–19 ноября 2020 г., Новосибирск, СГУГиТ. – 2021. – Ч. 1. – С. 31–37. – DOI 10.33764/2687-041X-2021-1-31-37.

8 Гиниятов, А. И. К вопросу о нормативно-правовом обеспечении создания и ведения трехмерного кадастра недвижимости в России / А. И. Гиниятов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 3 : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. № 2. – С. 53–57. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-3-2-53-57.

9 К вопросу об осуществлении кадастровой деятельности на современном этапе / Е. И. Аврунев, В. Н. Каверин, А. И. Гиниятов, Н. В. Каверин. – Текст : непосредственный // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, эко-

логия, технологические решения : сб. материалов V Национальной научно-практической конференции, 24–26 ноября 2021 г., Новосибирск, СГУГиТ. – 2022. – Ч. 1. – С. 13–20. – DOI 10.33764/2687-041X-2022-1-13-20.

10 Аврунев, Е. И. Технологическая схема создания геодезического обеспечения для целей трехмерного кадастра недвижимости / Е. И. Аврунев, А. И. Гиниятов. – Текст : непосредственный // 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.

11 Аврунев, Е. И. Классификация способов создания геодезического обоснования для выполнения комплексных кадастровых работ в формате 3D / Е. И. Аврунев, А. И. Гиниятов. – Текст : непосредственный // 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.