

На правах рукописи

Бегляров Никита Сергеевич



Разработка методики сбора трехмерных кадастровых данных
объектов недвижимости на урбанизированных территориях

25.00.26 – Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Государственный университет по землеустройству» (ГУЗ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Шаповалов Дмитрий Анатольевич.

Официальные оппоненты:

Сизов Александр Павлович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», профессор кафедры землеустройства и кадастров;

Аврунев Евгений Ильич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», доцент кафедры кадастра и территориального планирования.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (г. Тула).

Защита состоится 20 сентября 2022 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета Д 212.251.04 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/beglyarov-nikita-sergeevich/>

Автореферат разослан 23 июня 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Дубровский Алексей Викторович

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 30.05.2022. Формат 60 × 84 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 83.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Разворачиваемые все шире национальные программы и отраслевые проекты по цифровизации государственных сервисов и услуг опираются на возрастающий общественный запрос в модернизации и повышении эффективности управления и учета во всех сферах. Особенным значением в данном вопросе обладают территории высокой инфраструктурной и экономической активности, в общем виде – это урбанизированные пространства городов и городских агломераций, которые притягивают большинство людей, капитала и обретают политическую субъектность. Начиная с 2012 г. в Российской Федерации (РФ) разрабатывают и принимают пакеты нормативно-правовых документов в области государственного кадастрового учета и регистрации прав на недвижимое имущество с целью интеграции международного опыта управления земельными ресурсами и объектами недвижимости с учетом изменяющейся роли городов в общей схеме хозяйствования.

Существующий международный опыт цифровизации в области решения указанных задач предполагает переход на трехмерное пространственное представление объектов недвижимости и юридических границ, возникающих в реальном мире, что одновременно поднимает значительный пласт технических, юридических, кадровых и экономических вопросов. Трехмерный подход к представлению урбанизированных территорий рассматривается как фундаментальный базис для развития полномасштабного цифрового государства, решения существующих проблем учета и представления сложных объектов недвижимости (в том числе многоэтажных зданий с пересекающимися конфигурациями, мостов, инженерных коммуникаций, подземных сооружений), пересечений их прав ввиду расположения на разных уровнях (подземный, наземный, надземный), а также вопросов экологического мониторинга и эффективного управления территориями.

Проведение пилотного проекта 3D-кадастра в России наглядно продемонстрировало законодательную возможность учета трехмерных моделей объектов недвижимости (3D-моделей) в Едином государственном реестре недвижимости (ЕГРН). Развитие государственной политики по внедрению в области строитель-

ства информационного трехмерного моделирования зданий (BIM-технологии) и начало разработки концепции «умный город» при управлении урбанизированными территориями, а также мышление в формате полного жизненного цикла объекта благоприятствует переходу на 3D-кадастр в России.

Однако на пути имплементации международного опыта в отечественную практику стоит проблема, связанная с отсутствием соответствующего научно-методического обоснования и технических рекомендаций для выполнения кадастровых работ по трехмерному моделированию объектов недвижимости.

Для исключения сложившейся проблемы проведено исследование, направленное на обоснование выбора методики геодезических измерений и расчета оптимальных параметров сбора трехмерных пространственных данных на урбанизированных территориях в целях трехмерного кадастра и эффективного управления территориями в парадигме «умного города».

Таким образом, тема диссертационного исследования «Разработка методики сбора трехмерных кадастровых данных объектов недвижимости на урбанизированных территориях» является своевременной и актуальной.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в изучение отдельных аспектов 3D-кадастра РФ и трехмерного моделирования объектов внесли следующие российские ученые: Варламов А. А., Волков С. Н., Гальченко С. А., Карпик А. П., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Лисицкий Д. В., Басова И. А., Сизов А. П., Аврунев Е. И., Алтынцев М. А., Тикуннов В. С., Цветков В. Я., Шаповалов Д. А., Папаскири Т. В., Иванов А. И., Мазалов В. П., Юнусов А. Г., Вандышева Н. В. и др.

Среди зарубежных ученых можно выделить Van Oosterom P., Stoter J., Lemmen C., Zlatanova S., Larsson K., Ploeger H., Kitsakis D. (Нидерланды), Paulsson J. (Швеция), Thompson R., Rajabifard A. (Австралия), Господинова С. Г., Kostov G. P. (Болгария), Li L., Ying S. (Китай), Khoo V. (Малайзия), Jdeed A. D. (Сирия), Doner F. (Турция), чьи работы затрагивают множество вопросов, в особенности уделяя внимание концептуальной организации 3D-кадастра, его геоинформационному представлению, юридическому и техническому синтезу с учетом юрисдикций своих стран, а также посвящены проектам технической реализации перехода к трехмерной системе учета и регистрации объектов недвижимости.

В результате аналитического обзора отечественного и международного опыта и публикаций выявлены основные тренды научных исследований в области 3D-кадастра, что позволило сделать следующие выводы о степени разработанности проблематики:

– по состоянию на 2021 г. в не менее чем 30 странах мира, в том числе и в России, проводятся исследования и выполняются пилотные проекты по 3D-кадастру. При этом полностью функционирующей системы трехмерного кадастра нет ни в одной стране, хотя наиболее прогрессивными в этой области являются Нидерланды и Китай. По заявлению специальной группы по 3D-кадастру Международной федерации геодезистов (FIG) во всех существующих системах на данный момент присутствует какое-либо ограничение функциональности или даже ряд сложностей при учете и регистрации трехмерного представления объектов недвижимости, однако это не исключает возможность адаптации успешного международного опыта и разработок для отечественной системы ЕГРН;

– по состоянию на 2021 г. анализ публикационной активности показал, что наибольшие усилия исследователей сконцентрированы на вопросах пространственного моделирования зданий (BIM) и организации интероперабельности между форматами представления трехмерных данных из разных источников;

– разработано и описано несколько различных подходов к моделированию объектов недвижимости с разным уровнем детализации, по разным исходным данным, что привело к созданию различных технологических цепочек и низкой согласованности данных;

– исследования подходов к представлению данных на большие урбанизированные территории через форматы CityGML имеют догоняющий характер, поскольку еще не вошли в практику так же широко, как BIM-технологии;

– опубликованный опыт отечественных ученых и исследователей в большей степени утилизирует материалы пилотного российско-нидерландского проекта по созданию 3D-кадастра в РФ (2010–2012 гг.), а более поздние работы концентрируются на решении задач моделирования конкретных единичных объектов без выработки общего подхода к задаче создания трехмерных моделей для целей ЕГРН.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что вопрос методического обоснования и выбора геодезической технологии формирования 3D-моделей для трехмерного кадастра в России не получил достаточного освещения в отечественной литературе и требует проведения исследований с учетом успешного зарубежного опыта.

Цель и задачи исследования. Целью настоящего диссертационного исследования является разработка технологической схемы геодезического обеспечения моделирования объектов недвижимости (ОН) на урбанизированных территориях для 3D-кадастра и управления урбанизированными территориями в парадигме «умного города».

Основные задачи диссертационного исследования:

– выполнить анализ наиболее широко применяемых подходов к созданию трехмерных моделей объектов недвижимости для 3D-кадастра в России и за рубежом и исследование широко применяемых форматов трехмерных данных для представления пространственных моделей в 3D-кадастре в международной практике;

– разработать методику расчета оптимальных параметров сбора трехмерных пространственных данных при моделировании объектов недвижимости для задач трехмерного кадастра ОН и управления урбанизированными территориями в парадигме «умного города»;

– разработать технологическую схему геодезических работ при моделировании ОН для задач 3D-кадастра и «умного города»;

– провести апробацию разработанной методики на объектах недвижимости, предлагаемых для моделирования в 3D-кадастре с соблюдением текущих точностных требований выполнения кадастровых работ для внесения информации в ЕГРН.

Объект исследования. Объектом исследования является геодезическое обеспечение трехмерного кадастра объектов недвижимости и городского управления в парадигме «умного города».

Предмет исследования. Предметом исследования является методика геодезических работ по созданию 3D-моделей объектов недвижимости на урбанизированных территориях для целей трехмерного кадастра и эффективного управления.

Научная новизна работы:

– предложен новый подход к моделированию объектов недвижимости на основе объединения гетерогенных облаков точек из результатов аэрофотосъемки и лазерного сканирования для задач 3D-кадастра и эффективного управления урбанизированными территориями с сохранением точностных и детализационных параметров;

– предложена дифференциация существующих видов ОН на категории для моделирования под задачи 3D-кадастра и введение в строительные нормы и правила по информационному моделированию зданий кадастрового уровня представления 3D-модели;

– разработан, исследован и обоснован алгоритм расчета оптимальных параметров для создания 3D-моделей и поэтапной обработки трехмерных пространственных данных из гетерогенных источников информации – лазерное сканирование и аэрофотосъемка с беспилотных летательных аппаратов;

– разработана технологическая схема выполнения геодезических работ при сборе информации для пространственного моделирования объектов недвижимости на урбанизированных территориях для целей 3D-кадастра и управления городом.

Теоретическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в обосновании выбора предложенного геодезического алгоритма сбора и обработки трехмерных пространственных данных для моделирования объектов недвижимости на урбанизированных территориях для ЕГРН, использование которого способствует формированию корректного и детализированного информационного базиса будущей системы 3D-кадастра в России, а также способствует внедрению парадигмы «умного города».

Практическая значимость работы. Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная методика сбора и обработки трехмерных кадастровых данных включает необходимые для целей 3D-кадастра этапы расчета оптимальных параметров АФС, рекомендации по выполнению и обработке данных лазерного сканирования. Это позволит кадастровым инженерам проводить работы по созданию 3D-моделей объектов недвижимости, отвечающих требованиям действующего законодательства, и учитывает международные стандарты и практики. По-

добные технические рекомендации применимы при разработке нормативно-правовых актов и методических рекомендаций при создании 3D-кадастра в РФ.

Методология и методы исследований. В диссертационной работе основу информационно-аналитических исследований составили материалы публикаций российских и международных специалистов, результаты опытных работ автора, а также использовались методы: многокритериальный сравнительный анализ, формализация и логико-аналитический, а также экспериментальный и верификационный анализ.

Положения, выносимые на защиту:

– предложенная схема интеграции гетерогенных форматов представления трехмерных данных (CityGML и IFC) совместно с разработанной дифференциацией существующих видов ОН на категории моделирования для использования в 3D-кадастре и эффективном управлении урбанизированными территориями ускорят цифровую трансформацию системы ЕГРН и сохранят необходимую точность при качественном повышении детальности результирующей базы данных ГИС;

– разработанный алгоритм расчета оптимальных параметров сбора трехмерных пространственных данных обеспечит систему 3D-кадастра трехмерными моделями объектов недвижимости, отвечающими точностным требованиям действующего законодательства;

– проведенная апробация предложенной методики сбора трехмерных кадастровых данных объектов недвижимости на урбанизированных территориях подтвердила ее соответствие нормативной точности действующего законодательства и продемонстрировала возможность имплементации в кадастровую практику и систему «умного» управления городом.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тематика диссертации соответствует следующим областям исследований: 5 – Принципы сбора, документирования, накопления, обработки и хранения сведений о земельных участках. Разработка единой методики по ведению земельного кадастра; 7 – Информационное обеспечение государственного земельного кадастра паспорта научной специальности 25.00.26 – Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России по техническим наукам.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность полученных результатов исследований подтверждается практическими результатами апробации разработанной методики на трех разных объектах и проведенной оценке точности на всех этапах создания трёхмерных моделей объектов недвижимости для целей 3D-кадастра и «умного города».

Основные положения работы и результаты исследований докладывались, обсуждались и нашли положительный отклик на 11 научных мероприятиях:

– Международном молодежном научном форуме «ЛОМОНОСОВ-2019» (МГУ, Москва, апрель 2019 г.);

– Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы землепользования и управления недвижимостью» (УГГУ, г. Екатеринбург, апрель 2019 г.);

– Научном конгрессе 21-го Международного научно-промышленного форума «Великие Реки» (НГАСУ, Нижний Новгород, май 2019 г.);

– Российской агропромышленной выставке «Золотая Осень» (ВДНХ, Москва, октябрь 2019 г.);

– XXIII Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий «АРХИМЕД 2020» (Москва, март 2020 г.);

– Всероссийской конференции с международным участием «Российский форум изыскателей» (Москва, октябрь 2020 г.);

– дважды на Международном научно-практическом форуме, посвященном 240-летию со дня основания Государственного университета по землеустройству (ГУЗ, Москва, май 2019 г.);

– LXII, LXIII, LXIV научно-практических конференциях студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов «Научные исследования и разработки молодых учёных для развития АПК» (ГУЗ, Москва, апрель 2019 г., май 2020 г., апрель 2021 г.);

Результаты исследования внедрены в учебный процесс факультета городского кадастра федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет по землеустройству» по направлениям подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры

дисциплин «Геодезические работы при ведении кадастровой деятельности» и «Прикладная геодезия».

Публикации по теме диссертации. Основные результаты исследований и теоретические положения опубликованы в 6 научных статьях, из них 2 – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, одна – в журнале, входящем в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка терминов и списка литературы, содержит 83 рисунка и 13 таблиц, 1 приложение. Общий объем диссертации 187 страниц машинописного текста. Список литературы включает 218 наименований, в том числе – 131 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования, научная новизна и практическая значимость, приведены сведения об апробации и реализации результатов работы, ее структура, а также научные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе представлено исследование публикационной активности по сегментам научного знания, относящимся к сфере 3D-кадастра. Был выявлен восходящий тренд, а также отмечены основные темы исследований в области городских ресурсов и управления урбанизированными территориями в парадигме 3D LAS и «умного города».

Во втором разделе рассмотрены и проанализированы форматы данных, используемых для представления 3D-моделей ОН, такие как CityGML и IFC. Показана возможность их интеграции с сохранением точности и повышением детальности итоговой базы данных. Выдвинуто предложение о включении в существующие строительные нормы и правила в области информационного моделирования зданий кадастрового уровня проработки информационной модели для вклю-

чения ее в ЕГРН и 3D-кадастр. Также предложена новая категоризация ОН для целей моделирования и включения в систему 3D-кадастра, 3DLAS и построения «умного города».

К первой категории объектов недвижимости на урбанизированных территориях отнесены объекты сложной внутренней инфраструктуры и высокой функциональной значимости для всех систем города. Объекты первой категории должны быть моделированы в соответствии с требованиями стандартов BIM-проектирования.

Ко второй категории объектов недвижимости отнесены объекты, имеющие меньшую степень функциональной значимости для всего города и более простую внутреннюю инфраструктуру, поэтому для их моделирования стоит использовать смешанный подход: если имеется BIM-модель, использовать в кадастре ее, а для остальных создавать TIN-модель под формат CityGML на уровне детализации LOD4.

Третья категория объектов недвижимости на урбанизированных территориях содержит объекты жилищно-коммунального хозяйства, сам жилой фонд, ИЖС, коммерческую недвижимость, апартаменты, имущественные комплексы, отдельные совокупности объектов, обладающие пересечениями собственных контуров и/или с другими объектами на разных высотах, ОКН, дорожную сеть, рекреационные территории (лесопарковые зоны, городские насаждения) и др. Объекты этой категории предлагается представлять через TIN-модели на уровне детализации LOD3-LOD4 под формат CityGML.

Четвертая категория объектов недвижимости подразумевает временное включение различных объектов, таких как незастроенные земельные участки и объекты, не подпадающие под критерии первых трех категорий. Это необходимо для исключения их из очереди на создание трехмерных моделей для отображения в 3D-кадастре. Таким образом, они должны быть отображены в виде 2D-полигона на общей картографической подложке. Предлагается также внести в четвертую категорию объекты обороны и любые конфиденциальные земельные ресурсы, находящиеся в границах населенных пунктов. Автором предлагается создать правовую рамку, подразумевающую возможность пересмотра кате-

гории для ОН по инициативе органов учета и регистрации ОН, а также собственников и арендаторов.

В третьем разделе проведено исследование современных геодезических технологий и методов сбора пространственной информации с целью получения данных (трехмерных моделей урбанизированных территорий), пригодных для представления в принятых форматах (IFC и CityGML), удовлетворяющих точностным требованиям ЕГРН и кадастровым уровням детализации LoD 3 и LoD 4. Наиболее современными и при этом доступными геодезическими методами сбора пространственной информации для построения измерительных трехмерных моделей на основе плотных облаков точек являются лазерное сканирование (ЛС) и аэрофотосъемка (АФС) с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Именно эти две геодезические технологии в совокупности могут охватить все возникающие ситуации пространственной организации ОН, входящих во вторую и третью категории.

Опираясь на производственный опыт, литературные источники и методические указания, автором проведено несколько исследований и разработана технологическая схема геодезических работ при моделировании ОН для задач 3D-кадастра и эффективного управления урбанизированными территориями.

Высота планируемой аэрофотосъемки вычислена по формуле:

$$H = \frac{f \cdot R}{p}, \quad (1)$$

где f – фокусное расстояние съемочной камеры, мм; R – пространственное разрешение на местности (GSD назначается в соответствии с желаемой детальностью АФС), м. p – физический размер пикселя светочувствительной матрицы цифровой камеры, мкм.

Определяется наилучшее разрешение снимков по формуле:

$$R = \frac{N}{\Pi \cdot D}, \quad (2)$$

где N – количество пар штрихов тест объекта, согласно ГОСТ 13.1.701–95 «Репрография. Микрография. Тест-объекты для контроля качества микроизображения. Типы. Методы контроля»; D – диаметр кружка нерезкости в миллиметрах;

Π – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к её диаметру.

Методика расчета оптимальных параметров для АФС заключается в использовании специальных тест объектов – мир с черно-белыми штрихами (рисунок 1), изготовленных на пенокартоне в формате А2 (594 × 420 мм) толщиной 5 мм, покрытом сатиновой бумагой для количественного определения разрешения снимков с БПЛА по формуле (2). Алгоритм подбора подразумевает фотографирование разложенных мир с тремя уровнями интенсивности черного цвета (100, 65, 30 %) и количеством штрихов (32, 16, 8)), на высоте планируемой аэрофотосъемки, вычисленной по формуле (1) на разных настройках камеры. Набор для изготовления мир может быть загружен по общедоступной личной ссылке автора в сети Интернет (https://drive.google.com/file/d/10e7T5q_iB78Yv/view?uspsharing).

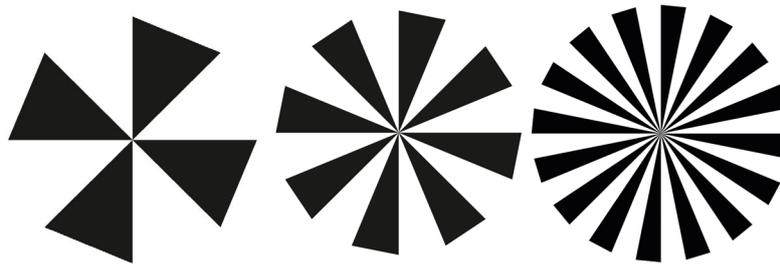


Рисунок 1 –Пример использованных мир 8 штрихов, 16 штрихов, 32 штриха

Исследуя саму методику выполнения и обработки АФС для задач 3D-кадастра и «умного города», отметим необходимость выбора проекции пикселя на местность (GSD) равной не менее половины наименьшей детали будущей трехмерной модели – это условие также обеспечивает надежность объединения гетерогенных данных лазерного сканирования и АФС.

Было установлено, что при визуальной оценке можно с достаточной достоверностью определить кружок нерезкости, а значит для непосредственного измерения разрешающей способности будет удобно использовать изображение именно такой мира. В нашем эксперименте (для БПЛА DJI Mavic 2 Pro) это была 16-штриховая мира. Схема алгоритма сводится к формату таблицы 1.

Таблица 1

Запись в RAW и JPEG max							
Н съемки = Н фото = 40 м GSD = 1 см							
	диафрагма = 8	ID фото			диафрагма	выдержка	ID фото
	выдержка	ручной фокус	автофокус				
1-й этап ISO 100	1/100	1	22	2-й этап ISO 100	4	1/200	11
	1/160	3	24		5,6	1/100	13
	1/240	5	26		8	1/50	15
	1/400	7	28		11	1/25	17
	1/640	9	30				
3-й этап	выдержка 1/800	18	ISO 100	4-й этап ISO 100	диафрагма	выдержка	
	диафрагма = 5,6	20	ISO 200		3,5	1/500	32
	EV = -0,7				3,5	1/400	34
	на высоте съемки фокус на землю				3,5	1/320	36
	ISO = 100–200				автофокус		

Оптимальные параметры АФС, представленные на рисунке 2, были выбраны по приведенной методике.

Подобранные параметры АФС	
ISO	100
Диафрагма	8
Выдержка	1/240
автофокус	
Н съемки	40 м
GSD	1 см
V полета	3 м/с
Запись в RAW и JPEG max	

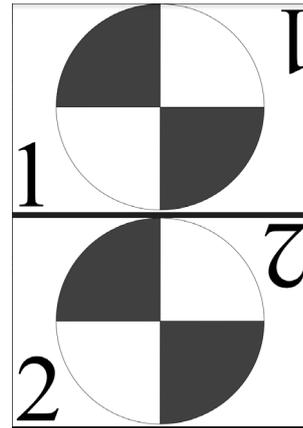
Рисунок 2 – Оптимальные параметры АФС для планируемой съемки

Для осуществления последующего объединения данных предложено использовать связующие опознаки, изготовленные на пенокартоне в формате А3 (297 × 420 мм) толщиной 5 мм, покрытом сатиновой бумагой (рисунок 3).

Также эти опознаки предлагается использовать как геодезическое съемочное обоснование при реализации всей методики моделирования ОН для целей 3D-кадастра. При планировании маршрутов съемки с заданным продольным и поперечным перекрытием снимков не менее 80 %, скорость полета дрона из опыта не должна превышать 5 м/с для предотвращения искажений изображений.



а)



б)

Рисунок 3 – Изображения опознаков:

- а) изображение опознаков на снимке с БПЛА при $GSD = 1$ см;
 б) изображение опознака для опорной сети

Выбранные параметры АФС обеспечивают нормативную точность в 0,1 м для характерных точек ОН, а задаваемое значение проекции пикселя на местность обеспечит требуемую детальность модели и изображений связующих опознаков для объединения с данными лазерного сканирования.

Запись снимков рекомендуется делать в формате RAW и при обработке в наиболее распространенном на геодезическом производстве фотограмметрическом ПО Agisoft Metashape следует конвертировать снимки в формат TIFF (Tagged Image File Format).

Обработка данных на этапе выравнивания фотографий (по терминологии документации программы) рекомендуется из опыта на настройках, представленных на рисунке 4. Последним этапом создается плотное облако точек при агрессивной фильтрации карты глубины и выгружается файл с сохранением привязки в формате .las.

Параметры выравнивания

Точность	Очень высокая
Общая преселекция	Да
Преселекция по привязке	Да
Характерных точек на кадр	60,000
Связующих точек на кадр	8,000
Адаптивное уточнение модели камеры	Да

Рисунок 4 – Параметры выравнивания

Описанная методика и технические рекомендации к обработке данных для целей 3D-кадастра и 3DLAS были апробированы на объекте, относимым автором к 3-й категории ОН, находящимся на территории СНТ с видом разрешенного использования (ВРИ) индивидуальное жилищное строительство (ИЖС). Это участок площадью 6 038 м², расположенный под небольшим уклоном, с малоэтажной застройкой.

На территории объекта было закреплено 15 опознаков, которые были закоординированы с помощью ГНСС-приемника PrinCe i50 в режиме RTK. Плановая СКП определения координат составила 6 мм, а высотная 1 см. В результате АФС получено 734 снимка, общее время, потраченное на фотографирование, составило 15 минут. Обработка материалов АФС производилась в ПО Agisoft Metashape Professional 1.5.5 build 9097 (64 bit). Создание плотного облака точек и выгрузка в формате .las, при настройках, описанных в методике, заняло 7 часов. Геопривязка массива точек сохранена благодаря формату .las. Общее время подготовки, фотографирования и обработки результатов АФС составило 8 часов 35 минут. Вычисленная точность положения контрольных точек составила 5 см. Полученное облако точек представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 – Плотное облако точек по результатам АФС на территорию ИЖС, содержит 18 миллионов точек (278 мб)

Следующей частью разрабатываемой методики кадастровых работ для моделирования ОН для 3D-кадастра и 3DLAS стало исследование возможностей применения наиболее дешевых и современных сканеров:

- 1) наземного лазерного сканера Leica BLK360 (стоимость на 18.02.2022 – 1 500 000 рублей);

2) носимого лазерного сканера GeoSLAM ZEB-HORIZON 3D Mobile Scanner (стоимость на 18.02.2022 – 5 000 000 рублей).

Из опыта полевых работ и обзора научной литературы были обозначены основные рекомендации к проведению лазерного сканирования для задач моделирования ОН в целях 3D-кадастра, они подробно представлены в тексте диссертации. Схематичное описание методики представлено на рисунке 6. В дополнение, в работе рассмотрены особенности применения мобильного лазерного сканирования. Использование предложенных связующих опознаков, располагаемых на поверхности земли для последующего объединения с данными АФС, обязательно. Апробация рекомендаций по мобильному сканированию выполнена на третьем объекте.



Рисунок 6 – Схема проведения работ по лазерному сканированию для задач 3D-кадастра

Следующий этап кадастровых работ по моделированию ОН на урбанизированных территориях подразумевает объединение данных АФС и лазерного сканирования. Эта процедура представлена в виде технологической схемы на рисунке 7, подробности рекомендаций приведены в тексте диссертации. Для объединения облака загружаются в ПО открытого кода CloudCompare. На всех этапах сохраняется геодезическая привязка и облака существуют в глобальной системе координат.

Погрешность объединения двух гетерогенных облаков точек для первого объекта апробации составила 7 мм. Оценка точности окончательного результата

обработки полевых данных по предлагаемой методике моделирования урбанизированных пространств для задач 3D-кадастра и 3DLAS была проведена по классической схеме. Выполнены измерения по точечной модели 1 объекта апробации в ПО Rescap PRO и проведено сравнение их с эталонными, сделанными в натуре с использованием лазерной рулетки, а также с данными из выписки из ЕГРН. Средняя квадратическая погрешность положения характерных точек здания и границ земельного участка на модели составила 2 см. Расхождения в площадях ЗУ составили менее 1 м² при общей площади исследуемого участка 806 м². Эти результаты характеризует предложенную методику и описанные процедуры как удовлетворяющие точности текущей кадастровой системы РФ для земель населенных пунктов.

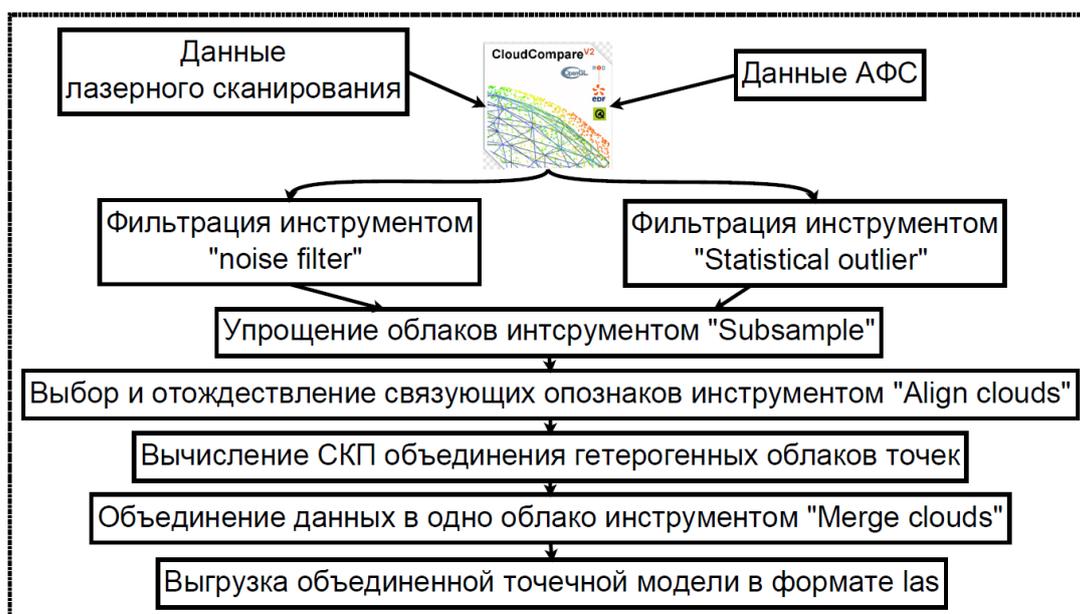


Рисунок 7 – Пошаговая схема реализации процедуры объединения гетерогенных облаков точек для моделирования ОН

Технические рекомендации и алгоритм для построения 3D-моделей для задач 3D-кадастра и эффективного управления урбанизированными территориями представлены схематически на рисунке 8.

Апробация методик моделирования была проведена на трех объектах:

- 1) территория с ВРИ ИЖС площадью 6 038 м² (3-я категория ОН);
- 2) главный корпус ГУЗ, Москва, ул. Казакова, 15 (2-я категория ОН).

3) лесопарковая зона Дендросад МФ МГТУ, г. Мытищи (3-я категория ОН).

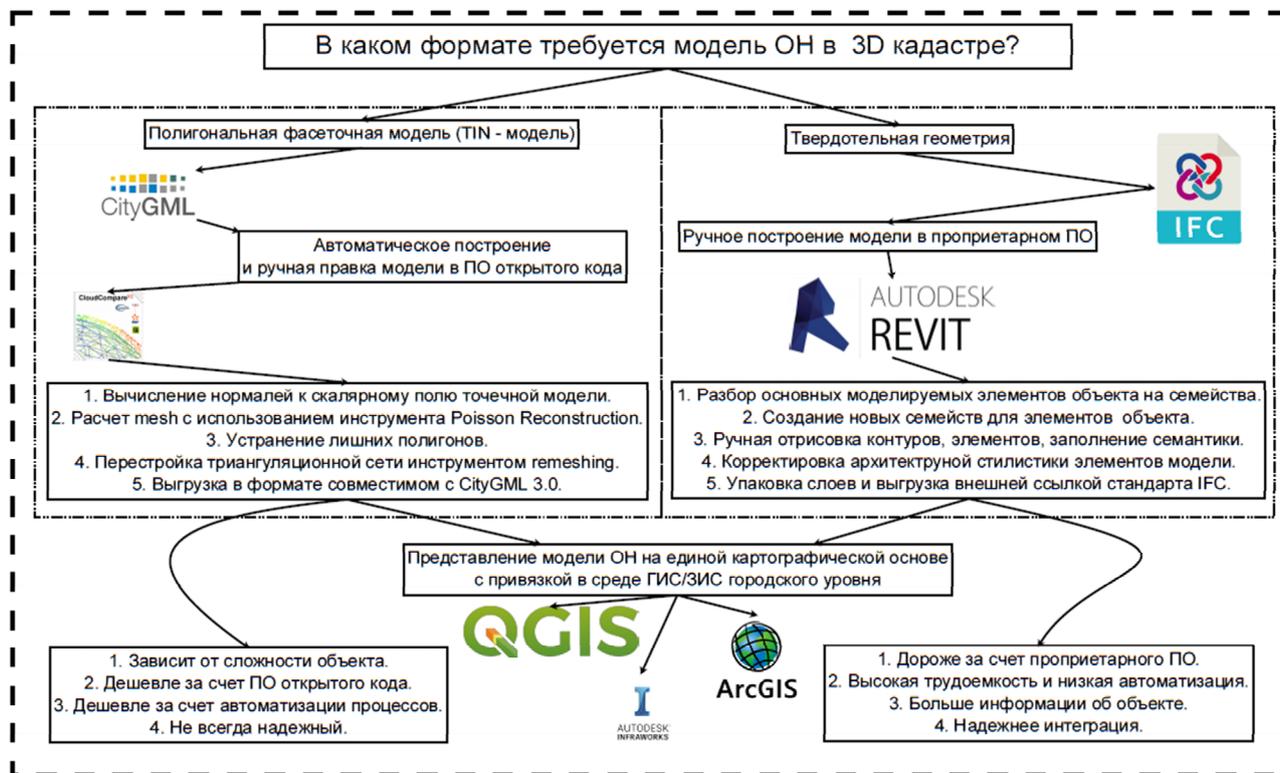


Рисунок 8 – Блок-схема методики моделирования ОН для задач 3D-кадастра и эффективного управления урбанизированными территориями

Для представления результатов применения алгоритма моделирования ОН использована среда *Infraworks* для первого объекта, среда *ArcGIS* для второго объекта и среда *3D Forest* для третьего объекта. Итоговые модели представлены на рисунках 9–11.



Рисунок 9 – Отображение объекта апробации в среде *Infraworks*, поддерживающей формат *CityGML*

Выполнена оценка точности построенной модели второго объекта с использованием натуральных измерений лазерной рулеткой, вычисленная погрешность ($m_{OKC} = 0,04$ м) удовлетворяет точностные требования системы ЕГРН, в отношении ОН, расположенных в черте населенных пунктов.



Рисунок 10 – Фрагмент твердотельной модели ГУЗ в Revit на уровне детализации LoD3 в формате IFC

Модель третьего объекта апробации может быть использована для определения следующих характеристик и создания отдельных продуктов: видовой состав насаждений, высота деревьев, площадь проекции кроны, наличие пороков и повреждений древесины вредителями, построение цифровой модели рельефа, выполнение зонирования тропиной сети, объектов рекреационной инфраструктуры и других функциональных зон.

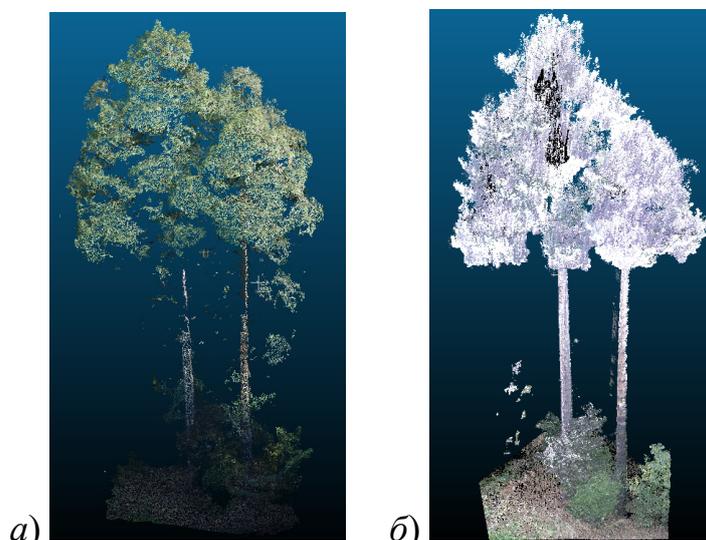


Рисунок 11 – Модели дерева по данным АФС (а) и по данным АФС и НЛС (б)

Для осуществления валидации полученных данных была выполнена оценка точности в соответствии с классическими формулами, она составила $m_{\text{окс}} = 0,50$ м, что удовлетворяет действующим стандартам, принятым в лесном хозяйстве. Вся разработанная методика для наглядности представлена на блок-схеме (рисунок 12).

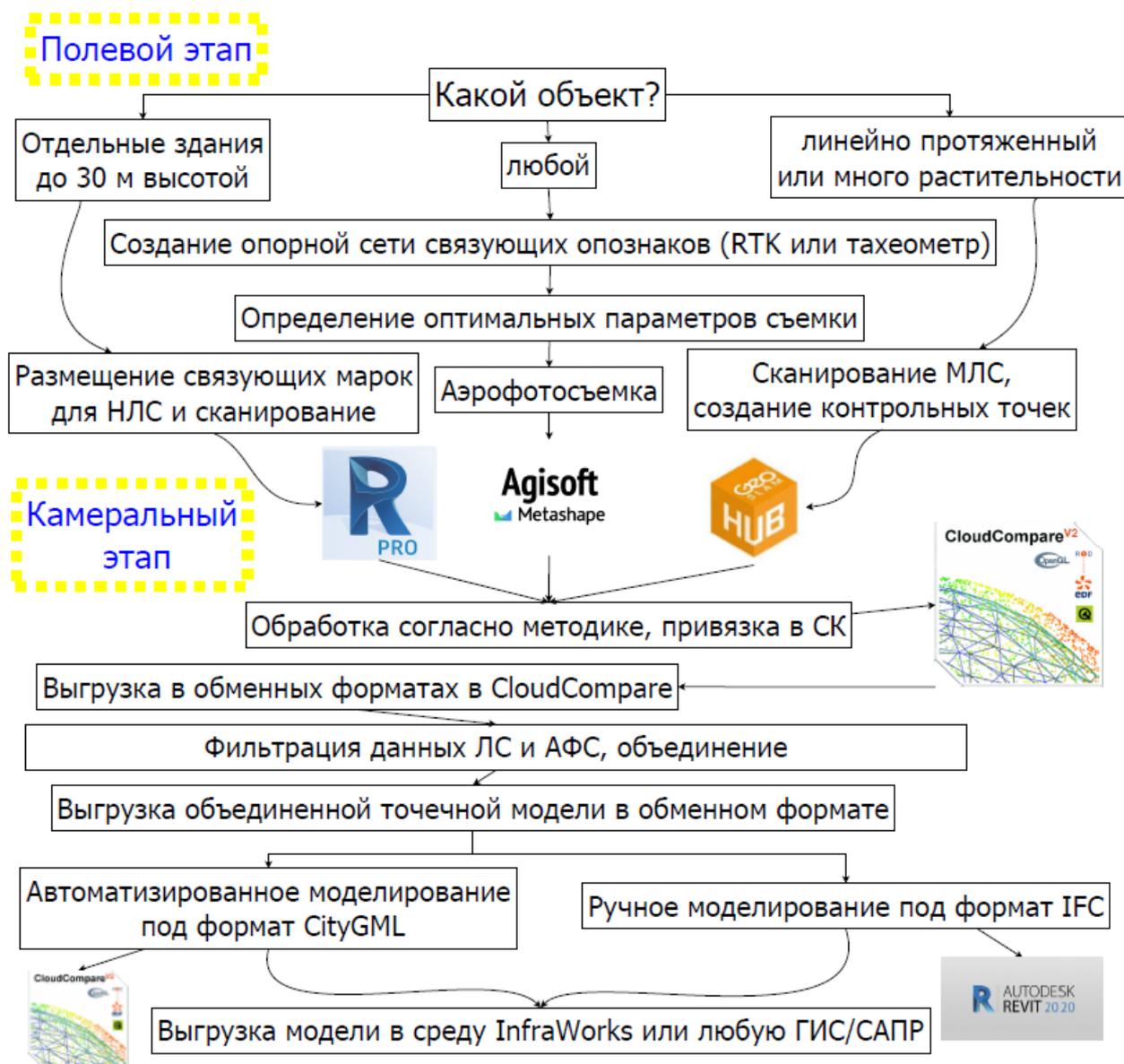


Рисунок 12 – Технологическая схема методики сбора и обработки трехмерных геопространственных данных для моделирования ОН на урбанизированных территориях

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования достигнута поставленная цель – разработана методика сбора пространственных данных для целей 3D-кадастра, «умного города» и повышения эффективности управления урбанизированными территориями.

Итоги диссертационного исследования заключаются в следующем.

1 Выполнен аналитический обзор публикационной активности и вектора развития научного дискурса в мире и РФ в сфере трехмерного моделирования ОН и учета возникающих в реальном пространстве прав, обязанностей и ограничений.

2 Проведено теоретическое обоснование возможности интеграции гетерогенных форматов представления трехмерных данных (CityGML и IFC) при сохранении геодезической точности и повышении детальности результирующей базы данных ГИС.

3 Предлагается дифференцировать существующие виды ОН на категории моделирования для использования в 3D-кадастре и эффективном управлении урбанизированными территориями, а также ввести в СНиП кадастровый уровень проработки информационных моделей ОКС (ВМ) для учета в ЕГРН.

4 Разработана усовершенствованная технологическая цепочка геодезического сопровождения кадастровых работ для целей 3D-кадастра, «умного города» и повышения эффективности управления урбанизированными территориями с применением ГИС/ЗИС, которая включает:

- алгоритм расчета оптимальных параметров АФС с БПЛА для задач 3D-кадастра;

- конструкцию связующего опознака для объединения данных АФС и лазерного сканирования в целях трехмерного моделирования ОН;

- алгоритм, параметры и инструментарий ПО открытого кода, используемые для обработки данных АФС и лазерного сканирования для последующего объединения в целях получения целостной, детальной и геопривязанной трехмерной модели ОН на урбанизированных территориях.

5 Осуществлена апробация на трех объектах предложенной усовершенствованной технологической цепочки и ее результатов в виде трехмерных моделей объектов недвижимости, которая позволяет решать задачи по сплошному моделированию при сохранении требуемой точности и увеличению детальности моделей для целей 3D-кадастра и 3DLAS в парадигме «умного города».

6 Полученные модели объектов апробации в форматах CityGML и IFC обеспечивают интеграцию с будущей системой 3D-кадастра, с ГИС управления «умного города» и градостроительными базами данных.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы кадастровыми инженерами при геодезическом сопровождении кадастровых работ по созданию 3D-моделей ОН в соответствии с требованиями ЕГРН, а также при разработке нормативно-правовых актов и методических рекомендаций по созданию 3D-кадастра на территории РФ.

Перспективы дальнейших исследований в этой области должны быть направлены на развитие процесса трансформации текущей системы кадастра с учетом особенностей отечественной юрисдикции и при соблюдении международных стандартов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Оценка влияния изменения плотности облака точек на точность автоматической сегментации / А. Г. Юнусов, А. Д. Джидид, Н. С. Бегляров, М. А. Елшеви. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81. – № 7. – С. 47–55. – doi: 10.22389/0016-7126-2020-961-7-47-55.

2 Шаповалов, Д. А. Аналитический обзор развития многомерных систем учета и регистрации прав и объектов недвижимости в парадигме «умного города» / Д. А. Шаповалов, Н. С. Бегляров. – Текст : непосредственный // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2021. – № 3. – С. 185–192. – doi: 10.33920/sel-04-2103-04.

3 Begliarov, N. Generating a three-dimensional measuring scene for the forest sector as based on modern geodetic technologies / N. Begliarov, E. Mitrofanov, V. Kiseleva. – Текст : непосредственный // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 875 (2021) 012083. – 2021. – doi:10.1088/1755-1315/875/1/012083.

4 Бегляров, Н. С. Перспектива интеграции НЛС в единую методику сбора 3D-геопространственных данных / Н. С. Бегляров, А. Д. Джид. – Текст : непосредственный // Великие реки' 2019: Труды научного конгресса 21-го Международного научно-промышленного форума: в 3-х томах, Нижний Новгород, 14–17 мая 2019 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – Т. 1. – С. 307–310.

5 Юнусов, А. Г. Сравнительный анализ норвежского, шведского и российско-голландского опыта представления трехмерных объектов кадастрового учета / А. Г. Юнусов, Н. С. Бегляров, А. Д. Джид. – Текст : непосредственный // ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА ИЗ XVIII В XXI ВЕК : Международный научно-практический форум, посвященный 240-летию со дня основания Государственного университета по землеустройству : сб. науч. тр. в 2 ч. – 2019. – Ч. 2. – С. 89–98.

6 Маркирование модельных деревьев на лесосеке для верификации данных, получаемых с использованием мобильного лазерного сканера ZEB-Horizon / Е. М. Митрофанов, Г. В. Анисочкин, Н. С. Бегляров, С. А. Богомолова. – Текст : непосредственный // Славянский форум. – 2021. – № 3 (33). – С. 354–359.