

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

На правах рукописи

Чернов Александр Викторович



Разработка и исследование методики формирования трехмерного кадастра
объектов недвижимости

25.00.26 – Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Лисицкий Дмитрий Витальевич

Новосибирск – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ 3D-КАДАСТРА	11
1.1 Современное состояние, базовые понятия и опыт создания 3D-кадастров.....	11
1.2 Выбор направления исследований в области 3D-кадастра для условий Российской Федерации.....	24
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ 3D-МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	33
2.1 Формализация структуры и содержания 3D-модели объектов недвижимости.....	33
2.2 Сравнительный анализ процессов формирования пространственной 3D-модели объектов недвижимости	41
3 ИССЛЕДОВАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ	77
3.1 Выработка критериев оценки и классификация 3D-моделей объектов недвижимости.....	77
3.2 Анализ содержания и структуры пространственных 3D-моделей объектов недвижимости	93
4 РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ И МЕТОДИКИ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	105
4.1 Обоснование условий и разработка 3D-модели объектов недвижимости.....	105
4.2 Технологическая схема формирования 3D-модели объектов недвижимости....	117
4.3 Апробация методики формирования 3D-модели объектов недвижимости....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	136

ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) ПЕРЕЧЕНЬ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ, ПОДЛЕЖАЩИХ ГОСУДАРСТВЕННОМУ КАДАСТРОВОМУ УЧЕТУ	156
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) МЕСТО 3D-МОДЕЛИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ ЕГРН	157
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА НЕДВИЖИМОСТИ В ЕГРН.....	158

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из приоритетных целей развития экономики Российской Федерации (РФ) является совершенствование рынка земли и объектов недвижимости и попадание в пятерку стран – лидеров по показателю «регистрация собственности». Для достижения поставленной цели в период с 2012 по 2018 г. был разработан и принят ряд нормативно-правовых документов в области государственного кадастрового учета и регистрации прав на недвижимое имущество, а также утверждены и введены в действие отдельные элементы государственных программ развития РФ, касающиеся вопросов управления земельными ресурсами и объектами недвижимости.

Анализ документов позволил сделать вывод о поэтапном внедрении трехмерного пространственного описания объектов недвижимости (3D-моделирование) в Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН). Такой подход направлен на решение существующих проблем при государственном кадастровом учете объектов недвижимости, расположенных на разных уровнях (надземный, наземный и подземный), в том числе многоэтажных зданий сложной конфигурации, уникальных объектов, мостов, инженерных коммуникаций, подземных сооружений и других объектов, связанных с пересечением проекций их конструктивных элементов с контуром объекта недвижимости.

Несмотря на законодательную возможность учета трехмерных моделей объектов недвижимости (3D-моделей) в ЕГРН, наличие геоинформационных технологий и геопортальных решений, современного геодезического оборудования и программного обеспечения, пригодных для 3D-кадастра, а также развитие информационного трехмерного моделирования зданий (BIM-технологии) и реализацию концепции «умный город» при управлении территориями, фактически учет 3D-моделей в кадастровых работах в России не производится.

Это противоречие связано в первую очередь с отсутствием соответствующего научно-методического обоснования для выполнения кадастровых работ по трехмер-

ному моделированию объектов недвижимости (в том числе содержание, структура, характеристики, способы формирования объектов недвижимости в трехмерном пространстве, методики и технологии сбора и систематизации трехмерных данных, степень детализации и необходимая пространственная точность определения координат характерных точек объектов), учитывающего отечественные особенности.

Для устранения указанного противоречия проведено исследование, направленное на обоснование содержания, структуры и характеристик трехмерного кадастра недвижимости и разработку методики формирования трехмерных моделей объектов недвижимости.

Таким образом, тема диссертационного исследования «Исследование и разработка методики формирования трехмерного кадастра объектов недвижимости» является своевременной и актуальной.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в изучение отдельных аспектов 3D-кадастра РФ и трехмерного моделирования объектов внесли следующие российские ученые: Басова И. А., Варламов А. А., Волков С. Н., Гальченко С. А., Карпик А. П., Комиссаров А. В., Кустышева И. Н., Лисицкий Д. В., Сизов А. П., Тикуннов В. С., Цветков В. Я., Шаповалов Д. А.

Среди зарубежных ученых можно выделить работы Van Oosterom, P., Stoter, J., Ploeger, H., Zlatanova, S. (Нидерланды), Li, L., Ying, S. (Китай), Khoo, V. (Малайзия), Thompson, R., Rajabifard, A. (Австралия), Paulsson, J. (Швеция), Doner, F. (Турция), Господинова С. Г. (Болгария), посвященные изучению организационных, технических и правовых вопросов создания 3D-кадастров в различных странах, а также успешных технологических решений, позволивших выполнить переход от 2D к 3D-кадастру.

Анализ литературных источников отечественных и зарубежных авторов позволил сделать выводы о степени разработанности проблемы, а также о состоянии 3D-кадастра в мире:

– по состоянию на 2018 г. в 31 стране, в том числе и в России, проведены теоретические и экспериментальные исследования по разработке 3D-кадастров.

При этом можно выделить лишь два государства, которые ведут полноценно функционирующий 3D-кадастр: Нидерланды и Китай. В остальных странах имеется ряд ограничений при учете и регистрации 3D-моделей: отсутствие возможности регистрации инженерных коммуникаций как отдельных объектов недвижимости, проблемы хранения и отображения 3D-моделей в кадастре и пр., что не исключает возможность использования различных реализованных проектных решений зарубежных стран при разработке 3D-кадастра в РФ;

– большинство работ отечественных ученых основано на результатах совместного российско-нидерландского пилотного проекта по созданию 3D-кадастра в РФ на примере Нижегородской области (2010–2012 гг.) и содержит информацию об организационных решениях (прототип 3D-кадастра, предлагаемые шаги по переходу на трехмерный кадастр заинтересованными сторонами и пр.), а также предложения об учете технических и экономических критериев расчета точности построения 3D-моделей объектов недвижимости.

Таким образом, можно сделать вывод, что вопрос методического обоснования формирования 3D-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 методики формирования трехмерного кадастра объектов недвижимости для повышения эффективности государственного кадастрового учета, планирования и управления территориальными образованиями.

Основные задачи диссертационного исследования:

- изучить особенности создания и ведения 3D-кадастра за рубежом и в России;
- исследовать структуру и содержание 3D-моделей объектов недвижимости методом теоретико-множественной формализации и обосновать необходимость изменения структуры и ряда характеристик моделей объекта недвижимости в РФ при переходе от 2D к 3D-кадастру;

- разработать классификацию 3D-моделей объектов недвижимости на основе анализа зарубежного опыта, оценить возможность их применения в РФ;
- предложить российский вариант формирования 3D-моделей объектов недвижимости в соответствии со структурой и требованиями ЕГРН;
- разработать методику формирования 3D-моделей объектов недвижимости для ЕГРН и провести ее апробацию.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является Единый государственный реестр недвижимости. Предметом исследования является методика выполнения кадастровых работ по формированию 3D-моделей объектов недвижимости.

Научная новизна диссертационного исследования:

- на основании информационно-аналитического исследования и научно-обоснованных требований ведения 3D-кадастра предложены классификация, структура и содержание 3D-моделей объектов недвижимости;
- разработано теоретико-множественное представление сущности 3D-моделей объектов недвижимости;
- разработана методика формирования 3D-моделей объектов недвижимости для ЕГРН, которые являются основой для создания и ведения на территории Российской Федерации трехмерного кадастра;
- предложен проект изменения кадастрового номера, отражающий мерность моделей объектов недвижимости.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в выполнении теоретического обоснования структуры и содержания 3D-моделей объектов недвижимости для ЕГРН, применение которых позволит проводить корректный кадастровый учет и регистрацию объектов сложной городской среды на разных уровнях (надземный, наземный и подземный).

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная методика позволяет кадастровым инженерам осуществлять кадастровую деятель-

ность по формированию 3D-моделей объектов недвижимости в соответствии с требованиями ЕГРН, а также может быть использована при разработке нормативно-правовых актов и методических рекомендаций при создании 3D-кадастра на территории РФ.

Методология и методы исследований. При выполнении исследований использовались методы системного анализа, теории множеств, формализации и математического моделирования, а также экспериментальный метод.

Положения, выносимые на защиту:

– предложенная классификация вариантов формирования 3D-моделей объектов недвижимости корректно отражает зарубежный опыт создания и ведения 3D-кадастров и является основой разработанной методики для России;

– наилучшим вариантом для 3D-моделирования объектов недвижимости в-РФ является представление объектов недвижимости в виде ортогонального пересечения горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей (которые проходят через плоскости всех выступающих конструктивных элементов), дополненного «пустым пространством»;

– разработанная методика формирования 3D-моделей объектов недвижимости отвечает требованиям ЕГРН и позволяет учесть пространственное положение всех конструктивных элементов объектов недвижимости;

– при формировании отдельных 3D-моделей объектов недвижимости в условиях плотной городской застройки наиболее целесообразно применять совокупность беспилотных авиационных систем (БАС) и тахеометрической съемки (в безотражательном режиме).

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 зе-

мель, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России по техническим наукам.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность выполненных исследований подтверждается корректными результатами апробирования разработанной методики при формировании 3D-модели объекта недвижимости с кадастровым номером 54:35:064110:60. Для дальнейшей апробации и отработки методики в отношении различных видов объектов недвижимости в саморегулируемой организации «Кадастровые инженеры регионов» создана рабочая группа по 3D-кадастру и направлены официальные запросы к структурным подразделениям Росреестра с предложением совместной проработки различных аспектов формирования и учета 3D-моделей в ЕГРН.

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались, обсуждались и нашли положительный отклик на пяти международных научных конгрессах «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (2014–2018 гг.), Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием с элементами научной школы имени профессора М. К. Коровина по теме: «Арктика и ее освоение» (2017 г.), четырех ежегодных Молодежных научно-практических конференциях «Трехмерное моделирование для решения научных и прикладных задач» (2015–2018 гг.), Областном конкурсе «Научный потенциал студентов и молодых ученых Новосибирской области» (2016 г.), Национальной научно-практической конференции «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» (2017 г.).

Научная работа, выполненная в рамках диссертационного исследования, удостоена премии мэрии г. Новосибирска в сфере науки и инноваций в номинации «Лучший молодой исследователь в образовательных организациях высшего образования» (2017 г.).

Результаты исследования внедрены в учебный процесс института кадастра и природопользования федерального государственного бюджетного образова-

тельного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по направлениям подготовки 21.03.02, 21.04.02 Землеустройство и кадастры дисциплины «Построение 3D-моделей местности для целей землеустройства и кадастров».

Апробация результатов исследований, изложенных в диссертации, подтверждается внедрением разработанной методики в работу Управления Росреестра по Новосибирской области, о чем свидетельствует соответствующий акт о внедрении.

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 11 научных статьях, из них три – 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 диссертации. Объем диссертации составляет 159 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы, включающего 144 наименования, содержит 7 таблиц, 50 рисунков и 3 приложения.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ 3D-КАДАСТРА

1.1 Современное состояние, базовые понятия и опыт создания 3D-кадастров

Необходимость повышения качества управленческих решений в области развития застроенных территорий продиктована реалиями современного мира, среди которых особую роль играет урбанизация. По данным, представленным в [139], по состоянию на 2014 г. 54 % населения Земли проживает на городских территориях и прослеживается тенденция к постоянному увеличению данного показателя. Однако ограниченность земельных ресурсов приводит к необходимости уплотнения и усложнения конфигурации наземной застройки, а также к использованию подземного пространства. Кроме того, при увеличении численности городского населения возрастает актуальность проектирования, строительства и модернизации объектов транспортной инфраструктуры: мостов, надземных и подземных пешеходных переходов, станций и линий метрополитена и пр.

Совокупность указанных объектов, наряду с земельными участками и расположенными на них объектами капитального строительства, относится к объектам недвижимости (недвижимого имущества), полный перечень которых зависит от особенностей конкретной страны.

Для обеспечения гарантий прав собственности на такие объекты, налогообложения и возможности управления таким имуществом разрабатываются соответствующие государственные информационные ресурсы, в которых хранится вся цифровая информация об учтенных объектах недвижимости (кадастры недвижимости) в виде моделей. Совокупность таких моделей в компьютерной среде, используемая для планирования развития городских (и иных) территорий представляет собой геопространство [24]. Вопросам исследования сущности геопространства, его использования в качестве основы для развития кадастров недвижимости и управления земельными ресурсами посвящено много научных работ [23, 26–28, 36, 78, 118]. Анализ полученных научных результатов позволяет сделать вывод

о том, что эффективность использования геопространственных данных, хранящихся в кадастрах недвижимости, во многом зависит их полноты, наглядности, достоверности и корректного координатного описания с учетом многомерности окружающего пространства.

Исследование структуры и содержания кадастровых систем (в том числе кадастровой документации, нормативно-правовых актов и прочих аспектов) показало, что долгое время распространенной международной практикой являлось представление объекта недвижимости в виде двухмерной (2D) модели. Так, например, при описании зданий, сооружений и объектов незавершенного строительства, распространенной практикой являлось включение сведений только о плановых координатах характерных точек границ и данных о местоположении, полученных путем вертикального проецирования их контуров на плоскость земельного участка (2D-модель) [38, 81].

В то же время, существование тенденции к более экономичному и рациональному использованию городских территорий путем многоуровневого (много-слойного) расположения объектов недвижимости по вертикали исключало возможность корректного учета объектов на разных уровнях (подземный, наземный и надземный), проекции которых пересекаются (рисунок 1).

*а)**б)**в)*

Рисунок 1 – Примеры вертикальной городской застройки: *а)* спортивный объект в г. Делфт, Нидерланды; *б)* пересечение проекций различных собственников в г. Гонконг, Китай; *в)* отель «Вертикальная деревня», г. Сингапур

Для поиска возможных решений и выработки единой стратегии по решению данной проблемы комиссиями № 3 «Spatial Information Management» (Управление пространственной информацией, глава – Enrico Rispoli) и № 7 «Cadastre and Land Management» (Кадастр и управление земельными ресурсами, глава – Gerda Shennach) Международной федерации геодезистов (FIG) был разработан план действий по созданию и внедрению трехмерного представления объектов недвижимости (3D-модель), включая особенности их учета и регистрации в кадастрах различных стран (3D-кадастр) [124], который определил вектор развития систем 3D-кадастра во всем мире.

Анализируя мероприятия, предусмотренные планом, а также достигнутые результаты [105, 119, 133, 144], можно выделить пять основных этапов развития 3D-кадастра в период с 1994 по 2018 г.

1 Выработка единой стратегии развития кадастровых систем (1994–1998 гг.)

Успешность внедрения любой новой системы (в том числе 3D-кадастра) на уровне нескольких стран напрямую зависит от ряда факторов: наличие международной площадки для обмена опытом, эффективная коммуникация между странами и готовность государства к проведению реформ в данной области, подкрепленных соответствующим нормативно-правовым обеспечением.

Совокупность перечисленных факторов стала причиной создания в 1994 г. рабочей группы по кадастру в рамках международной площадки FIG. Основными задачами, поставленными перед специалистами, стали исследование тенденций кадастра на основе формализованных опросов (анкет) и прогнозирование путей развития кадастровых систем в будущем.

На основании разработанных анкет было проведено два опроса (в 1994 и 1996 гг.), посвященных аспектам реформирования и окупаемости кадастра. По полученным данным в 1997 г. был сформирован итоговый отчет, на основе которого в 1998 г. был издан стратегический документ «Cadastre 2014» [120], отражающий общую концепцию развития кадастровых систем на 20 лет.

Среди основных положений программы особого внимания заслуживает раздел, посвященный необходимости появления систем учета и регистрации трех-

мерных моделей объектов недвижимости (3D-кадастр), ставший отправной точкой для модернизации существовавших кадастровых систем.

2 Создание рабочей группы по 3D-кадастру (1998 г.)

Многообразие видов кадастра, национальных, организационных и институциональных особенностей в различных странах, которые оказывали влияние на скорость принятия решений при становлении систем трехмерных кадастров, обусловили необходимость создания отдельной рабочей группы «3D Cadastres», в которую вошли представители 19 стран. На основании результатов первого года работы стран-участников был отмечен серьезный прогресс Нидерландов, в связи с чем представитель данной страны Peter van Oosterom был выбран председателем рабочей группы.

Для фиксирования результатов активности стран в разработке систем 3D- кадастров были запланированы и утверждены расписания международных конференций, семинаров и совещаний, а также доработана структура существовавших анкет в контексте трехмерного кадастра, основные разделы которых представлены на рисунке 2.

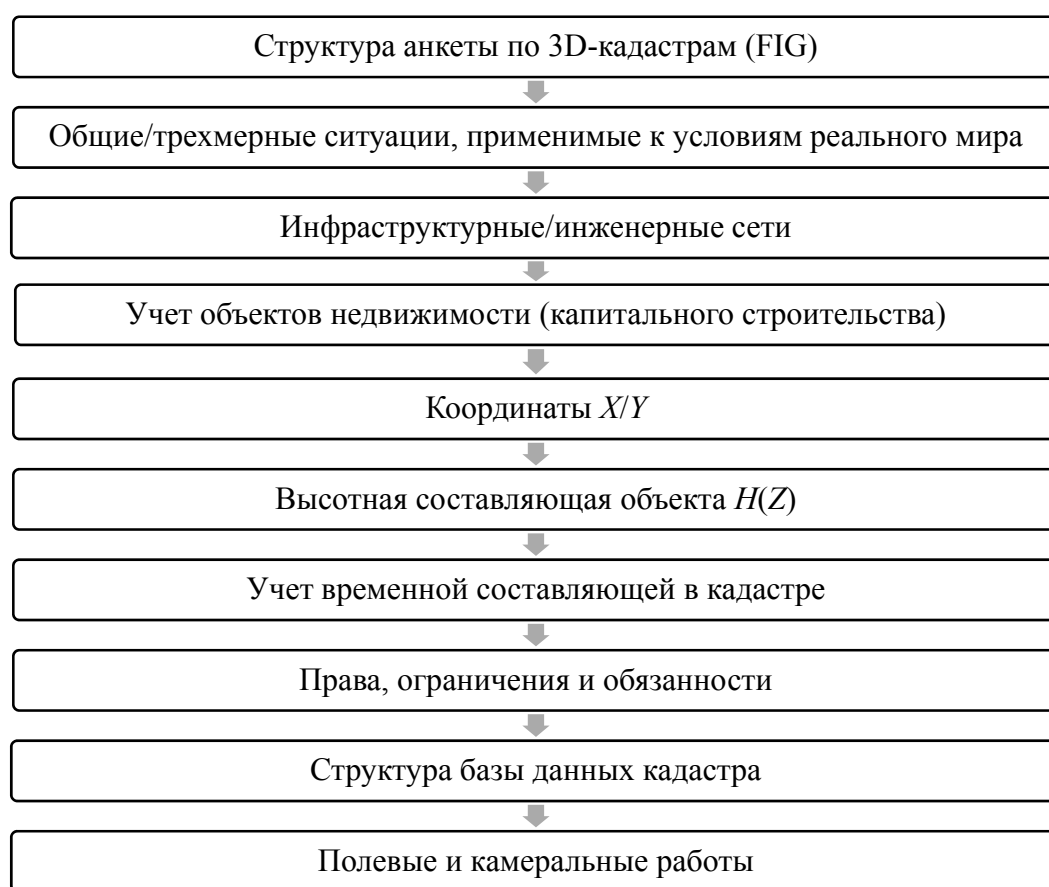


Рисунок 2 – Структура анкеты по вопросам 3D-кадастра (FIG)

На основании анализа результатов анкетирования 1998 г. (согласно представленной структуре) отметим, что наиболее и наименее разработанными областями кадастра являлись «Высотная составляющая объекта $H(Z)$ » и «Общие/трехмерные ситуации, применимые к условиям реального мира» соответственно.

3 Предварительный анализ результатов (2001 г.)

На первом установочном собрании в 1998 г. было принято совместное решение об установлении периодичности проведения общих собраний, направленных на оценку эффективности деятельности каждой страны с интервалом 1 раз в 4 года (далее – рабочее собрание).

Первое рабочее собрание состоялось в национальном университете г. Делфт (Нидерланды) в 2001 г. По итогам мероприятия была выпущена резолюция о необходимости дальнейшего развития направления 3D-кадастра (согласно степени проработанности областей 3D-кадастра, указанных на этапе 2), отмечен прогресс Нидерландов и Швеции. Отдельные технологические решения, успешно внедренные в таких странах, легли в основу становления систем трехмерного кадастра в ряде развивающихся стран.

4 Период стагнации (2001–2011 гг.)

После первого рабочего собрания в 2001 г. последовал период падения интереса к развитию 3D-кадастра, который, на наш взгляд, связан с отсутствием или недоступностью геодезического оборудования, пригодного для трехмерного моделирования объектов недвижимости; слабым развитием компьютерных технологий и соответствующего программного обеспечения; отсутствием нормативно-правового обоснования и другими факторами.

Рассматривая активность стран в этот период, стоит выделить лишь постепенную подготовку методического обоснования 3D-кадастра в Нидерландах и Швеции, о чем свидетельствует ряд публикаций и принятых законодательных актов [141, 96].

Результаты, полученные при частичном внедрении трехмерного подхода при моделировании объектов недвижимости в перечисленных странах, позволили оценить эффективность принимаемых решений для целей кадастров, что в сово-

купности с активным развитием геодезической сферы и компьютерных технологий обеспечивает возобновление работ в данном направлении и проведение очередного рабочего собрания в 2011 г. в г. Делфт (Нидерланды).

5 Период становления 3D-кадастров (2011–2018 гг.)

Начиная с 2011 г. отмечается повышенный интерес профессионального сообщества и государственных служб к внедрению трехмерного кадастра недвижимости, что приводит к значительному прогрессу в изучении данной области, реализации ряда пилотных проектов по 3D-кадастру в развивающихся странах (Бразилия, Россия, Алжир и др.) [95, 129, 130] и появлению полноценно функционирующих (Нидерланды и Китай) либо с незначительными ограничениями (Сингапур) систем 3D-кадастра [137, 103, 104, 135].

На основании анализа этапов развития 3D-кадастра в период с 1994 по 2018 г., можно сформулировать ряд положений, подтверждающих развитие 3D-кадастров в мировом масштабе.

1 Увеличение количества стран – участников опросов по 3D-кадастру. По состоянию на 2011 г. 27 стран проявляли заинтересованность в вопросах создания, учета и регистрации трехмерных моделей объектов недвижимости. На сегодняшний день 48 стран по всему миру участвует в разработке систем 3D-кадастра. Соответственно, данный показатель вырос на 78 %. География стран, заинтересованных во внедрении 3D-моделирования в кадастры (по состоянию на 2018 г.), представлена на рисунке 3.

2 Стабильный рост количества публикаций по проблематике трехмерных кадастров. Одновременно с увеличением количества стран – членов рабочей группы по 3D-кадастру, имеющих различный государственный строй, систему учета недвижимого имущества, национальные особенности и пр., возросла вариативность решений в различных разделах трехмерного кадастра, которые требовали закрепления в виде соответствующих документов: докторские и кандидатские диссертации, монографии, научные статьи и пр. Для удобства поиска необходимой информации на официальном сайте FIG был создан специальный раздел

«Literature», в котором размещен положительный опыт отдельных стран по вопросам 3D-кадастра. Демонстрация ежегодного количества публикаций в период с 2011 по 2016 г. представлена в виде графика на рисунке 4.

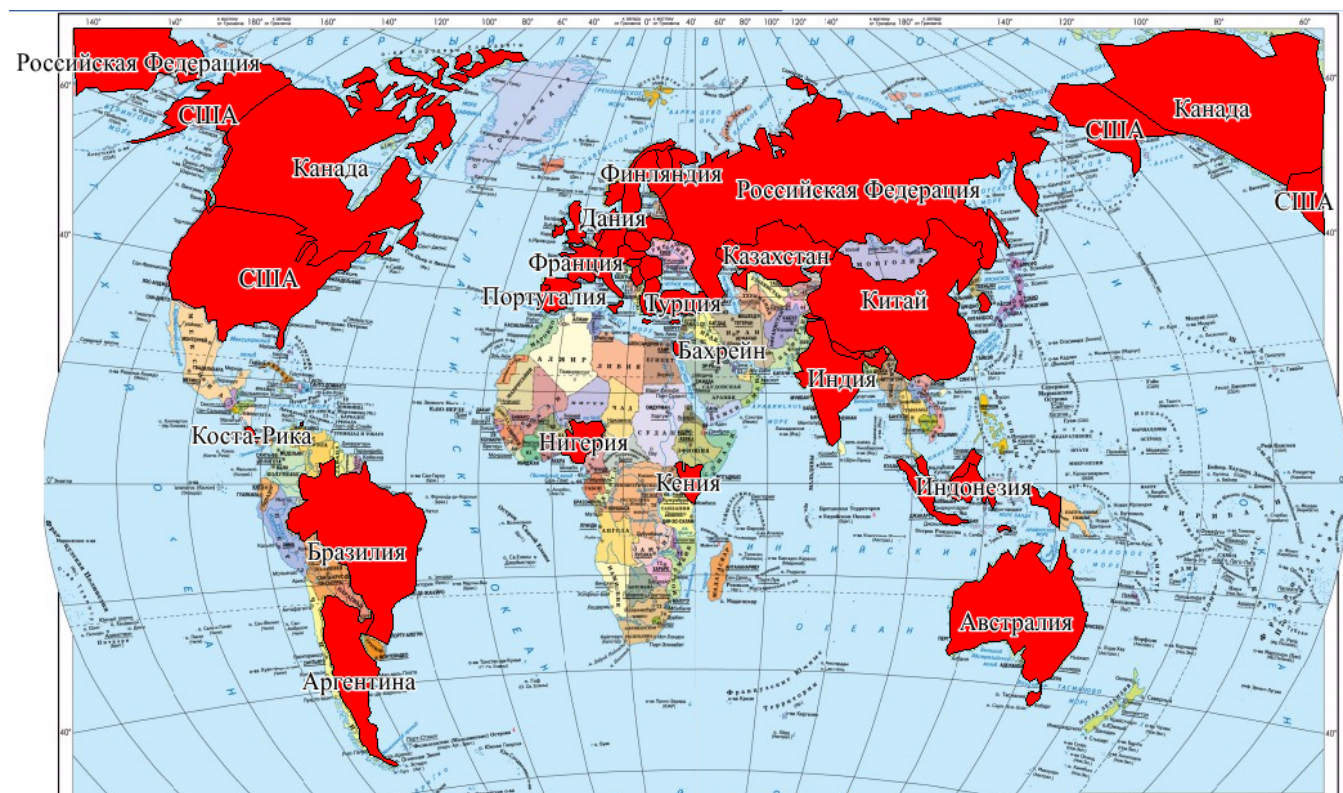


Рисунок 3 – Страны – участники опросов по 3D-кадастру

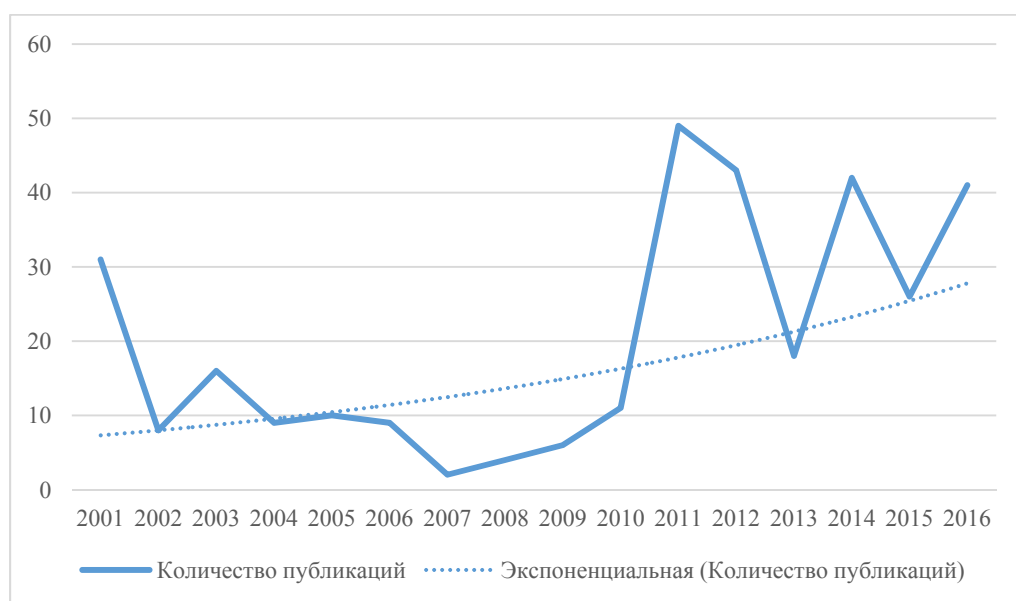


Рисунок 4 – Публикационная активность стран по вопросам 3D-кадастра

Анализ данных, приведенных на рисунке 4, подтверждает верность выводов о наличии периода стагнации в рассматриваемой области с 2001 по 2011 г. и устойчивый рост показателя активности стран с 2011 по 2016 г. Понижение соответствующих значений в 2013 и 2015 гг. связано, на наш взгляд, с отсутствием рабочих собраний в эти периоды времени (с 2011 г. периодичность проведения таких мероприятий составляет 1 раз в 2 года). Наибольшее количество материалов (49) отмечено в 2014 г., что, по нашему мнению, соответствует подведению итогов за 2011–2014 гг. и обусловлено проведением анкетирования среди стран-членов FIG.

3 *Увеличение количества учтенных 3D-моделей объектов недвижимости в различных странах.* Сопоставление результатов анкет по 3D-кадастрам 2010 и 2014 г., выявило значительное увеличение количества учтенных объектов недвижимости в формате 3D-моделей, появление соответствующих нормативно-правовых актов по их учету и регистрации, постепенное внедрение технологий информационного моделирования в кадастры, расширение полномочий специалистов в области кадастров и пр. Подробная информация с указанием сведений конкретных стран о каждой из тем опроса приведена в соответствующем документе [113].

4 *Наличие единой стратегии развития 3D-кадастров.* С 1998 по 2014 г. в качестве концепции развития кадастровых систем по вопросам создания и внедрения развития 3D-кадастра применялись основные положения документа «Cadastre 2014» [120]. После окончания его срока действия, с учетом результатов очередного опроса, проведенного в 2014 г., был подготовлен стратегический документ «Cadastre 2034» [111], в котором представлен план развития 3D-кадастров на ближайшие 20 лет.

Согласно данному документу основными тенденциями создания и ведения 3D- кадастра в различных странах являются:

а) переход ряда стран на 4D-кадастр (в роли четвертого измерения выступает время) [134, 136];

б) модернизация и актуализация различных международных стандартов (LADM, CityGML и др.) [108, 125];

- в) поиск новых технологических решений для широкого распространения 3D-технологий в кадастре на основе различных веб-приложений [132];
- г) детальная проработка правовой базы 3D-кадастров;
- д) возможность учета BIM-моделей из строительной сферы, в кадастре;
- е) разработка совместных пилотных проектов;
- ж) применение 3D-моделей объектов недвижимости в качестве основы для «умных городов».

Анализируя приведенные направления развития 3D-кадастров, стоит отметить, что по состоянию на 2018 г. пункты а), в), д), ж) наиболее актуальны для кадастров Нидерландов, Китая и Сингапура как варианты развития их функционирующих трехмерных кадастров (хотя можно отметить отдельные успехи Швеции, Хорватии, Турции и Австралии по данным направлениям) [106, 128, 110, 107]. Остальные страны, находящиеся на различных стадиях перехода на 3D-кадастр, должны уделять большее внимание пунктам г), е). Модернизация международных стандартов в области 3D-моделирования и кадастра (пункт б)) коснется всех стран.

5 Совершенствование геодезического оборудования и программного обеспечения для 3D-моделирования объектов недвижимости. Долгое время существенным фактором, сдерживающим развитие 3D-кадастров, являлась сложность получения пространственных данных об объектах недвижимости, а также их обработка. С появлением беспилотных авиационных систем, методов лазерного сканирования (воздушное, наземное и мобильное), безотражательных тахеометров и спутниковых технологий, а также соответствующего программного обеспечения влияние данного фактора значительно уменьшилось [3, 13, 14, 17, 29, 68, 94, 122].

Совокупность приведенных тенденций позволяет сформулировать ряд выводов:

- развитие современного геодезического оборудования и программных продуктов для 3D-моделирования объектов недвижимости обеспечивает техническую возможность перехода на 3D-кадастр;
- наличие успешного опыта ряда стран по реализации отдельных технологических решений в области 3D-кадастра и увеличение количества совместных

пилотных проектов по интеграции опыта передовых стран по данному вопросу (Нидерландов и Китая) свидетельствуют о расширении географии распространения трехмерного кадастра недвижимости в мировом сообществе;

– разработаны стратегические документы, определяющие направления дальнейшего развития 3D-кадастров – переход на 4D-кадастр (в качестве четвертого измерения выступает время), интеграция BIM-моделей из строительной сферы и создание «умных городов» на базе 3D-моделей объектов недвижимости [33, 86, 89, 101, 121].

В то же время, стоит отметить следующие характерные особенности и проблемные зоны развития 3D-кадастров:

– наблюдается значительная дифференциация между темпами интеграции технологических решений в области 3D-кадастра, связанная с гибкостью законодательства, различиями в понятийном аппарате, национальными и техническими особенностями различных стран, что значительным образом влияет на позицию страны в соответствующем международном рейтинге [40];

– 3D-модель объектов недвижимости (далее в работе под этим понятием понимается множество 3D-моделей, принцип формирования которых не зависит от вида объекта недвижимости) может быть представлена с различной степенью детализации (LoD 0–LoD 4) [125] в зависимости от требований кадастра, предъявляемых к таким моделям;

– несмотря на попытки унификации понятийного аппарата 3D-кадастров с помощью международных стандартов [108, 125], остается многовариативность понятий: объект недвижимости, земельный участок, характерная точка и пр. Это значительно снижает эффективность коммуникации между странами и замедляет развитие 3D-кадастра.

Для исследования понятия «объект недвижимости» (в том числе его сущность, виды и содержание) нами разработана классификация моделей объектов недвижимости, учитываемых в кадастровых системах зарубежных стран и дана оценка унификации этих понятий при создании 3D-кадастра [35]. Особое внимание уделено рассмотрению содержания и порядка ведения кадастра Швеции, Нидерландов, Новой Зеландии, Китая, Польши, Малайзии, Сингапура, Греции, Че-

хии, Хорватии, Германии, Австралии, Швейцарии, Израиля, Бразилии и Алжира [7, 93, 99, 105, 109, 110, 114, 116, 117, 126, 127, 130, 131, 138, 142, 144].

На основании изученных документов сделан вывод, что под объектами недвижимости в международном контексте понимаются три вида объектов: земельные участки, «строительные объемы» (здания, сооружения, объекты незавершенного строительства и помещения), инженерные коммуникации. В ряде документов встречались упоминания о регистрации воздушного пространства и участков недр в качестве объектов недвижимости, однако учет таких объектов носил спорадический характер и не учитывался в диссертационном исследовании. Соответственно, в классификации рассмотрены три основных вида объектов недвижимости [84].

А Земельный участок.

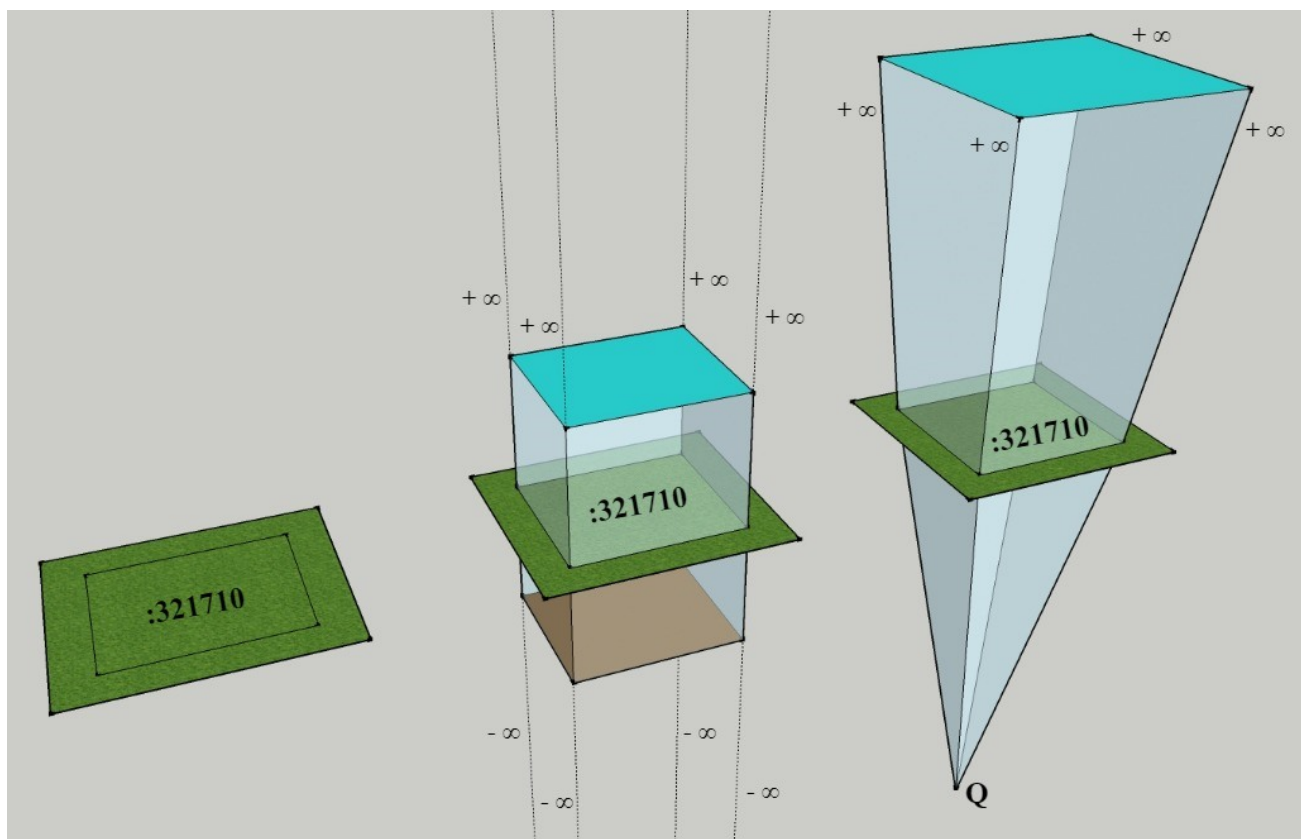
Является основной учетной единицей в кадастре, которая включает в себя другие типы недвижимого имущества («*superficies solo cedit*»). Выделены три основных типа модели такого объекта недвижимости.

А.1 Двухмерный участок (плоский участок; первичный участок; отпечаток; поверхностный участок и др.) – определяется местоположением характерных точек границ на поверхности Земли с их описанием в различных системах координат ($x, y; B, L$).

А.2 Объемный участок (3D-участок; однозначный или многозначный срез) – пространственный объект, неограниченный по высоте и глубине, либо ограниченный законодательными нормами об использовании воздушного пространства/недропользования с помощью поверхностей простой формы, форма и содержание которого позволяют интегрировать модель такого объекта в существующий двухмерный цифровой кадастр и впоследствии поддерживаться им.

А.3 Призматический участок (3D-участок) – призма, простирающаяся от подземного пространства (центра Земли, Q) до уровня, значительно выше поверхности Земли, т. е. трехмерная колонна пространства.

Для облегченного восприятия различий между моделями объектов А.1–А.3 подготовлена схема представления земельного участка с условным номером :321710, приведенная на рисунке 5.



а)

б)

в)

Рисунок 5 – Модели земельных участков:

а) двухмерный; б) объемный; в) призматический участок

В «Строительный объем».

Топологически связан с земельным участком. В качестве классификационного признака используется полнота существующего перечня учитываемых моделей строительных объектов, расположенных на разных уровнях (подземный, наземный, надземный). Основные типы объектов (здания, сооружения, помещения) можно подразделить на 4 группы.

В.1 Базовая пространственная единица (вторичный участок, 3D-объем) – учитывает модели зданий, а также входящих в их состав помещений.

В.2 Пространственный объект – включает следующие модели объектов недвижимости, расположенных на разных уровнях: здания (помещения), сооружения (мосты, надземные переходы, дорожные развязки, тоннели и пр.), специаль-

ные сооружения, обусловленные особенностями страны (например, системы подземной вентиляции, винные погреба, сооружения для обслуживания судов и пр.).

В.3 Комплексный 3D-объект – здания, помещения, все виды сооружений, в том числе подземные сооружения со специальным использованием (например, метро, подземные переходы и др.), наземные и подземные строения с отдельными целями использования, а также различными правами собственности на них.

В.4 Комбинированный 3D-объем – выделен для тех стран, которые учитывают и регистрируют модели строительных объемов, которые не могут быть отнесены конкретно к какому-либо из классов В.1–В.3, а являются комбинацией таких объектов, например, учитываются только модели зданий, помещений и подземных сооружений, в то время как надземные сооружения не регистрируются [105].

С Инженерные коммуникации.

Сама сущность инженерных коммуникаций подразумевает их расположение под большим количеством земельных участков, которые могут принадлежать различным собственникам. Представленная классификация включает два основных подхода к моделированию подземных инженерных коммуникаций.

С.1 Модели на основе поверхностных объектов – модель подземных коммуникаций подразделяется на части, количество и протяженность которых определяется проекцией характерных точек границ соответствующих земельных участков на плоскость коммуникаций.

С.2 Единые кадастровые модели – инженерные сети – представляются в виде единого объекта, в большинстве случаев они регистрируются с помощью сервитута.

На основании анализа представленной классификации сделан вывод, что на сегодняшний день, несмотря на все усилия, полноценной унификации моделей учитываемых объектов достигнуть не удалось. Различия в понятийном аппарате, на наш взгляд, вызваны наличием национальных, юридических и институциональных особенностей в каждой из рассматриваемых стран. Таким образом, для

успешной интеграции международного опыта создания 3D-кадастра в кадастровую систему РФ первоначально следует детально рассмотреть сущность, виды и содержание моделей объектов недвижимости в России, проанализировать нормативно-правовые акты, регулирующие вопросы 3D-моделирования в кадастре РФ, и сделать выводы о возможности использования зарубежного опыта в ЕГРН.

1.2 Выбор направления исследований в области 3D-кадастра для условий Российской Федерации

В соответствии с [46, 52] кадастровая система Российской Федерации представляет собой единый государственный информационный ресурс (ЕГРН), содержащий свод достоверных систематизированных сведений об учтенном недвижимом имуществе, о зарегистрированных правах на такое недвижимое имущество, основаниях их возникновения и правообладателях [46], находящийся в ведомстве Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, структура (разделы) которого приведена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Структура Единого государственного реестра недвижимости

Анализируя данные, приведенные на рисунке 6, можно отметить, что разделом ЕГРН, содержащим основные и дополнительные сведения об объектах недвижимости (в том числе такие характеристики, как кадастровый номер, площадь, сведения о местоположении, 3D-модель объекта недвижимости и пр.), является раздел «Кадастр недвижимости». Процесс внесения основных и дополнительных сведений в кадастр недвижимости, в результате которого подтверждается факт существования объекта недвижимости с характеристиками, позволяющими определить его в качестве индивидуально-определенной вещи [46], получил название «государственный кадастровый учет» (ГКУ). Документы, необходимые для осуществления ГКУ, подготавливаются кадастровыми инженерами в процессе осуществления кадастровой деятельности (выполнения кадастровых работ) [25, 47, 66]. Поскольку вопросы 3D-моделирования должны быть увязаны с видами объекта недвижимости, в приложении А к настоящей работе представлен полный перечень объектов недвижимости, подлежащих государственному кадастровому учету. Определения и сущность объектов недвижимости, подлежащих ГКУ, приведены в соответствующей нормативно-правовой литературе [15, 16, 20, 21, 50, 51, 58, 76].

На основании исследования данных, представленных в приложении А, порядка осуществления ГКУ на территории РФ, а также результатов научных публикаций [4, 10], можно выделить следующие характерные особенности кадастровой системы РФ:

– в отличие от большинства стран – членов FIG, различающих земельные участки и расположенные на них объекты недвижимости («строительные объемы») как отдельные виды объектов недвижимости, в ЕГРН применяется общее понятие «объект недвижимости», включающее как земельный участок, так и объекты капитального строительства (здания, сооружения (в том числе, инженерные коммуникации), помещения и объекты незавершенного строительства), а также совокупность таких объектов (единый недвижимый комплекс), что затрудняет возможность полного транслирования зарубежного опыта в кадастр РФ;

– объект недвижимости «земельный участок» в ЕГРН соответствует виду А.1, а объекты капитального строительства и инженерные коммуникации нельзя отнести к какому-либо определенному виду классификации, приведенной в 1.1;

– объекты недвижимости «здание», «сооружение», «объект незавершенного строительства» описываются в ЕГРН как совокупность надземного, наземного и подземного контуров. Наземный контур объекта недвижимости определяется на уровне примыкания к земле, надземный контур предполагает также внесение сведений о высотной отметке конструктивного элемента/элементов объекта. Объекты недвижимости, расположенные под землей, отображаются в ЕГРН с помощью надземного контура, что является проблемой, которая может быть решена с помощью 3D-моделирования и доработки структуры существующей кадастровой карты (например, с помощью ее разделения на несколько подложек (подземная, наземная и надземная) либо внесения изменения в кадастровый номер для различия 2D- и 3D-моделей объектов недвижимости). Подземная часть объектов капитального строительства описывается с помощью подземного контура. Местоположение подземного, наземного и надземного контуров описывается с помощью плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса – Крюгера (x, y), причем координаты подземных контуров вычисляются аналитическим методом;

– описание контуров объектов капитального строительства осуществляется без учета выступающих элементов (балконов, лоджий, выступающих консолей, элементов крыш и архитектурных элементов), что вызывает ряд проблем, связанных, например, с проектированием высотных линий, планированием рационального и эффективного использования городских территорий и пр.;

– при учете инженерных коммуникаций отображаются только наземные колодцы (выходы коммуникаций), сами инженерные коммуникации описываются в техническом плане с помощью условных обозначений (без определения координат), что связано с отсутствием видимости таких объектов;

– для описания контуров, представленных в виде окружности, используются следующие методы: для зданий и объектов незавершенного строительства – аппроксимация с помощью многогранников, количество граней и их минимальный размер определяются кадастровым инженером; для сооружений – с указанием центра окружности и ее радиуса;

– описание характеристик помещений осуществляется на основании промеров (без указания координат), с привязкой к поэтажному плану объекта недвижимости, входящего в состав проектной документации. Однако часть помещения (понятие, применяемое для аренды или обременения), которая не должна быть изолирована или обособлена, описывается с помощью координат;

– топологические отношения между объектами недвижимости (родительские объекты) в ЕГРН описываются следующим образом:

а) в кадастре недвижимости отображается только одна явная связь между двумя видами объектов недвижимости, например: комната – квартира, квартира – здание, здание – земельный участок;

б) должна быть обеспечена связь: здание – земельный участок, здание – помещение, помещение – помещение (при наличии, например, комната в квартире);

в) машино-место может находиться только в здании или сооружении.

Предоставление сведений об объектах недвижимости и их топологических отношениях осуществляется в виде кадастровых выписок о соответствующих видах объектов недвижимости, в которых содержатся сведения обо всех помещениях, входящих в состав здания (либо сооружения), независимо от их вида и назначения, а также данные о кадастровом номере земельного участка, на котором находится объект капитального строительства.

Таким образом, на основании анализа порядка осуществления ГКУ объектов недвижимости и характерных особенностей кадастровой системы Российской Федерации, можно сделать вывод о наличии национальных, технических и юридических особенностей при ведении ЕГРН, которые не позволяют выполнить прямую интеграцию зарубежного опыта, следовательно, при создании 3D-кадастра на тер-

ритории Российской Федерации необходимо выполнить разработку национального решения с учетом представленных характерных особенностей ЕГРН (и согласующегося с существующими программами социально-экономического развития страны [44, 48, 53, 55]), на основании наиболее подходящих под условия России зарубежных решений. Кроме того, при разработке 3D-кадастра следует учитывать различные региональные особенности субъектов РФ, связанные с климатическими, транспортными и иными условиями [9, 19, 34, 63, 91].

В качестве первого этапа перехода на трехмерное моделирование и учет 3D-моделей в кадастре недвижимости, предусмотренных Распоряжением Правительства РФ от 01.12.2012 № 2236-р [53], можно выделить принятие трех базовых положений, представленных на рисунке 7: определение «3D-модели объекта недвижимости», которое законодательно закрепило это понятие [57], а также исходные требования к созданию и содержанию таких моделей.

На основании анализа положений, представленных на рисунке 7, а также систематизации сведений о структуре ЕГРН и порядке подготовки документов для постановки объектов недвижимости на ГКУ, нами предлагается следующая укрупненная схема, демонстрирующая место 3D-модели в информационной структуре ЕГРН (представлена в приложении Б к настоящей работе).

Кроме того, исследование содержания и требований к формированию 3D-модели, в совокупности с результатами совместного Российско-Нидерландского проекта по 3D-кадастру [69] и фактическими результатами учета трехмерных моделей в ЕГРН (по состоянию на 2018 г.) позволили сформулировать следующие выводы:

– модель 3D-кадастра для получения, хранения и предоставления информации для условий РФ (включая прототип портала доступа), согласующаяся с существующей нормативно-правовой и технической базой, разработанная в 2012 г. по результатам пилотного проекта по 3D-кадастру в России, не была внедрена в ЕГРН;

– существующие требования к формированию 3D-модели не отражают ряд ключевых моментов (не регламентирована пространственная точность определения местоположения конструктивных элементов объектов недвижимости, отсутствует научно-техническое обоснование выполнения соответствующих кадастровых работ, и пр.);

– система хранения и выдачи информации о 3D-моделях обладает ограниченной функциональностью, т. е. сама трехмерная модель объекта недвижимости может быть сформирована и передана в орган регистрации, однако выдача такой модели (по запросу) осуществляется в виде 2D-графики, что связано с техническими и технологическими особенностями системы хранения данных ЕГРН;

– нормативно-правовое обеспечение формирования и учета 3D-моделей объектов недвижимости представлено лишь в нескольких документах [53, 57], что значительно замедляет переход России на 3D-кадастр;

– существует противоречие между необходимостью учета и эффективного управления ограниченным пространством городских территорий и существующей технологией описания надземных контуров (в том числе с помощью 3D-модели), не включающей в себя различные выступающие элементы (балконы, крыши и пр.);

– недостаточно проработан вопрос корректного учета подземных частей объектов недвижимости, а также инженерных коммуникаций [5, 11, 32];

– существующее понятие 3D-модели объекта недвижимости не предусматривает моделирование помещений;

– вопрос интеграции BIM-технологий в кадастр недвижимости не проработан в достаточной степени, несмотря на активное развитие данного направления как в России, так и за рубежом [70, 74, 100].

Таким образом, совокупность приведенных выводов подтверждает актуальность выполнения диссертационной работы и определяет основные направления исследования по разработке методики формирования трехмерного кадастра объектов недвижимости, ориентированной на устранение выявленных недостатков.

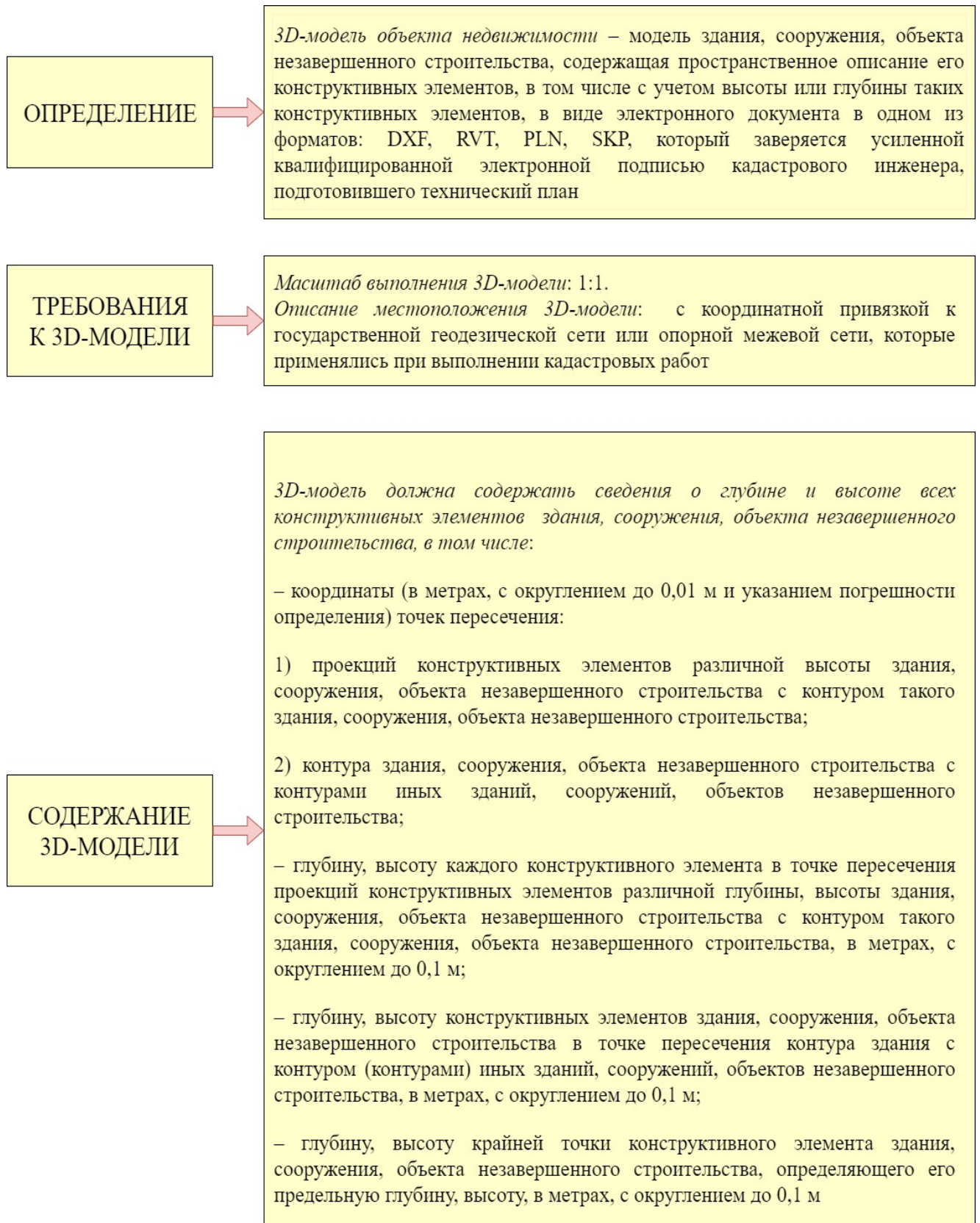


Рисунок 7 – Определение, содержание и требования к 3D-модели объекта недвижимости в кадастре Российской Федерации

Основные выводы по разделу 1 и задачи дальнейших исследований

В результате проведенного аналитического обзора зарубежного и российского опыта создания 3D-кадастра можно сформулировать следующие выводы:

– наибольшая актуальность однозначного описания сложных пространственных связей между объектами недвижимости, находящимися на разных уровнях, связана с городскими (и другими застроенными) территориями. Для этих целей разрабатывают и внедряют 3D-кадастры;

– наблюдается значительная дифференциация между степенью внедрения 3D-кадастра в различных странах. Наибольших успехов в данном направлении достигли Нидерланды, Китай и Сингапур;

– существующие национальные, юридические и технические особенности не позволяют напрямую использовать готовые успешные решения зарубежных стран по переходу России на 3D-кадастр;

– несмотря на законодательное закрепление понятия «3D-модель объекта недвижимости» и ряд принятых нормативно-правовых (в том числе стратегических) документов по формированию и учету таких моделей в ЕГРН, отсутствует научно-методическое обоснование для выполнения кадастровых работ по 3D-моделированию объектов недвижимости (в том числе, содержание, структура, характеристики, способы формирования объектов недвижимости в трехмерном пространстве, методики и технологии сбора и систематизации трехмерных данных, степень детализации и необходимая пространственная точность определения координат характерных точек объектов), учитывающее отечественные особенности.

Таким образом, дальнейшими задачами исследования являются:

– теоретическое обоснование структуры и содержания 3D-модели объектов недвижимости с помощью метода формализации;

– сравнительный анализ информационной сущности процессов формирования 3D-модели объектов недвижимости;

- выработка критериев оценки и классификация 3D-моделей объектов недвижимости;
- анализ и разработка содержания и структуры пространственных 3D-моделей объектов недвижимости;
- разработка методики и технологической схемы формирования 3D-модели объектов недвижимости с учетом пространственной составляющей, отвечающих условиям Российской Федерации;
- апробация разработанной методики на примере объекта недвижимости со сложной трехмерной конфигурацией.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ 3D-МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

2.1 Формализация структуры и содержания 3D-модели объектов недвижимости

Из анализа практики современного кадастра объектов недвижимости относительно собираемых данных можно составить некоторое формализованное представление об информационном содержании объекта недвижимости как объекта кадастрового учета.

При кадастровом учете из всего множества O_n объектов недвижимости каждому реальному объекту o_n ($o_n \in O_n$) может быть поставлен в соответствие его определенный кадастровый образ, кадастровая информационная модель m_o . В свою очередь, эту модель объекта недвижимости можно выразить одноместным предикатом $R(m_o)$, представляющим собой логическое высказывание относительно содержания кадастровых характеристик учитываемого объекта. Тогда для общего случая будут справедливыми выражения:

$$\forall m_o R(m_o), \quad (1)$$

$$R(m_o) \equiv (m_o \leftrightarrow \langle n_o, d_n, k_v, k_n, n_s, N_v, m_{op}, m_{ou}, S_{ok}, T, Z \rangle),$$

где $\forall o_n$ – квантор всеобщности;

n_o – кадастровый номер учитываемого объекта недвижимости

($n_o \in N_o$; N_o – множество всех кадастровых номеров объектов недвижимости);

d_n – дата присвоения кадастрового номера n_o ;

k_v – код вида объекта недвижимости (земельный участок, здание и т. д.);

k_n – код назначения объекта недвижимости;

n_s – кадастровый номер иного объекта недвижимости ($n_s \in N_o$), связанного с учитываемым объектом пространственным отношением вида «содержит» (на-

пример, кадастровый номер земельного участка, в границах которого расположен учитываемый объект капитального строительства);

N_v – множество кадастровых номеров других объектов недвижимости ($N_v \subseteq N_o$), связанных с данным учитываемым объектом пространственными отношениями вида «включает» (например, помещений и машино-мест, расположенных в данном здании или в сооружении, земельных участков, зданий и сооружений, расположенных в едином недвижимом комплексе и т. д.);

m_{op} – пространственная модель объекта недвижимости, включающая информацию о местоположении объекта и его геометрических параметрах;

m_{ou} – правовая (юридическая) модель объекта недвижимости;

S_{ok} – кадастровая стоимость объекта недвижимости;

T – множество технических характеристик объекта недвижимости;

Z – множество текстовых записей, относящихся к объекту недвижимости.

Часть перечисленных компонентов модели объекта m_o принципиально не зависит от мерности кадастра (2D- или 3D-кадастр): это $d, k_v, k_n, S_{ok}, T, Z$. А вот три других компонента – кадастровые номера объектов из множества N_o , пространственная модель объекта m_{op} , правовая (юридическая) модель объекта недвижимости m_{ou} – должны видоизменяться в зависимости от мерности кадастра, и поэтому представляют особый интерес для настоящего исследования.

Исходя из этого рассмотрим сначала содержание и особенности не зависящих от мерности кадастра компонентов, входящих в состав модели объекта недвижимости m_o .

Дата d_n присвоения кадастрового номера n_o и кадастровая стоимость S_{ok} объекта недвижимости особых комментариев не требуют. Единственное, что следует отметить, это обязательность наличия даты и возможность отсутствия кадастровой стоимости в кадастровых документах.

Код вида объекта кадастрового учета k_v ($k_v \in K_v ; K_v$) – конечное множество всех различаемых в кадастровом учете разновидностей объектов недвижимости, характеризует особенность конкретного объекта и может быть представлен цифровым значением. Отсюда множество K_v на основании кадастровой практики Российской Федерации характеризуется заданной мощностью r ($|K_v| = r$) и его можно отобразить в виде перечня кодов, соответствующих виду объекта недвижимости, который представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Кодировка объектов кадастрового учета

Код вида объекта учета	Вид объекта недвижимости, подлежащего кадастровому учету
1	Земельные участки
2	Искусственные земельные участки
3	Здания
4	Сооружения
5	Помещения
6	Объекты незавершенного строительства
7	Машино-места
8	Единые недвижимые комплексы

Код назначения объекта недвижимости k_n ($k_n \in K$); K_n – множество всех различаемых в кадастровом учете вариантов назначения объектов недвижимости, представляет собой характеристику каждого учитываемого объекта, отражающую его целевое назначение. Множество K_n состоит из нескольких подмножеств характеристик назначения объектов, соответствующих видам объектов кадастрового учета (см. таблицу 1), т. е.

$$K_n \cup_{j=1}^r K_j = K_1 \cup K_2 \cup K_3 \cup \dots \cup K_r. \quad (2)$$

Каждое из этих подмножеств содержит характеристики назначения соответствующего вида объекта, установленные действующим законодательством и нор-

мативными актами. Например, ст. 7 Земельного кодекса РФ (ЗК РФ) [21] определены семь категорий использования земельных участков (земли сельскохозяйственного назначения; земли населенных пунктов и др.), для зданий применяются такие характеристики назначения, как нежилое, жилое, многоквартирный дом, жилое строение.

Множество T содержит информацию о технических характеристиках объекта недвижимости, таких, как материал наружных стен зданий, степень готовности в процентах и год ввода в эксплуатацию по завершении строительства объекта незавершенного строительства (здания или сооружения) и др.

Множество Z составляет текстовая информация о кадастровом инженеру, выполняющем работы в отношении этого объекта, наименовании объекта (при наличии) и т. д.

Рассмотрим теперь более детально те составные части модели объекта недвижимости m_o , которые зависят от мерности кадастра, и определим их различия в 2D- и 3D-кадастрах.

Правовая (юридическая) модель объекта недвижимости m_{oi} содержит сведения о правах собственности, владения, аренды и пр., обременениях и сервитутах, частях объектов недвижимости, расположении земельных участков в границах различных зон (культурного наследия, особых экономических зон и др.) и т. д. Мировые тенденции интенсивного освоения подземного и надземного пространства порождают новые коллизии правовых норм по распределению прав на окружающее пространство. Отсюда следует изменение сути и содержания модели m_{oi} при переходе на трехмерный кадастр. Однако эти проблемы уже выходят за пределы компетенции технических наук в области кадастра, и поэтому не рассматриваются в настоящем исследовании.

Следующий и весьма важный компонент модели m_o – кадастровый номер учитываемого объекта недвижимости n_o . Его основным свойством является

единственность по отношению к объекту учета, что можно представить выражением вида:

$$\exists! n_o D(n_o); D(n_o): n_o \leftrightarrow o_n, \quad (3)$$

где $\exists! n_o$ – квантор существования и единственности;

$D(n_o)$ – одноместный предикат, определенный на множестве N_o .

В международной практике составления кадастровых номеров можно выделить единый подход, позволяющий успешно идентифицировать модели объектов недвижимости в пространстве, он выражается принципом «от общего к частному». Так, изначально первый уровень кадастрового деления совпадает с утвержденными границами административного деления территории страны (штаты/округа/провинции/муниципалитеты/области), которые не могут пересекать государственную границу. Второй и последующий уровни пошагово разделяют и утверждают границы территорий указанных единиц, в результате чего формируется уникальный номер, который заносится в кадастровую базу данных. Такое деление позволяет сформировать и присвоить каждому из объектов недвижимости уникальный кадастровый номер, не повторяющийся во времени и пространстве.

Аналогичный подход применяется в российском кадастре. Кадастровый номер объекта недвижимости, формируемый по утвержденной методике [54], можно представить в виде кортежа:

$$n_s = [N_o : N_r : N_k : N_{ok}], \quad (4)$$

где N_o – учетный номер кадастрового округа;

N_r – учетный номер кадастрового района;

N_k – учетный номер кадастрового квартала;

N_{ok} – учетный номер объекта недвижимости в кадастровом квартале N_k .

При переходе от двухмерного к трехмерному кадастру возникает необходимость обозначения мерности кадастра. На основании анализа зарубежного опыта,

представленного в документах [93, 105, 126, 127, 130, 142], в диссертационном исследовании разработана и представлена классификация, отражающая существующие решения по указанию мерности моделей объектов недвижимости в различных странах:

– *введение специального признака (кода)*. Наиболее распространенным вариантом реализации такого решения является добавление буквенных или числовых индексов к идентификатору объекта недвижимости. Так, например, в Польше вводится код «3D» перед нумерацией земельного участка либо сочетания AG (above ground), UG (under ground) в отношении модели здания; в Греции появились специальные обозначения для моделей объектов «anogeia, yroskafa, katogeia etc.», которые характеризуют различные типы зданий и сооружений. Наиболее наглядно данный подход представлен в кадастре Малайзии, где при переходе на 3D-кадастр каждому из видов объектов недвижимости был присвоен специальный код;

– *видоизменение кадастрового номера*:

а) добавление буквенного/численного индекса. Данное решение применяется в кадастрах следующих стран: Швеция, Нидерланды, Австралия. Типовой пример – 2D-модель объекта недвижимости обозначается литерой А либо цифрами :xxxxxx, соответственно трехмерная модель дополняется – индексом «1,2,3...» либо буквами латинского алфавита;

б) увеличение разрядности кадастрового номера. Такой вариант применяется в ряде развивающихся стран. В качестве примера рассмотрен кадастр Алжира, где, например, традиционная двухмерная модель здания содержит 11 разрядов (например, 31011370016), в 3D-кадастре – 13 разрядов (3101137001600 либо 3101137001601). Индекс 01 означает наличие зарегистрированного объекта в 3D-кадастре, 00 – отсутствие трехмерной модели объекта (2D-объект).

На основании анализа существующих решений и особенностей формирования кадастровых номеров в Российской Федерации нами сделан вывод о том, что при переходе России на 3D-кадастр наиболее целесообразным будет использовать

вариант увеличения разрядности кадастрового номера. Такой подход позволяет избежать существенной реорганизации структуры кадастровой базы данных и подтверждается отсутствием ограничений к максимальному количеству знаков элемента $N_{ок}$ в соответствующей нормативной литературе [54]. Таким образом, предложен следующий проект изменения кадастрового номера при формировании и учете трехмерных моделей в ЕГРН, представленный в таблице 2.

Таблица 2 – Проект изменения кадастрового номера при переходе на 3D-кадастр

Вид объекта недвижимости	2D-модель	3D-модель (в соответствии с кодом)
Земельный участок	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx00$	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx01$
Искусственный земельный участок	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx00$	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx02$
Здание	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx00$	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx03$
Сооружение	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx00$	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx04$
Помещение	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx00$	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx05$
Объект незавершенного строительства	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx00$	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx06$
Машино-место	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx00$	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx07$
Единый недвижимый комплекс	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx00$	$N_o : N_r : N_k : xxxxxx08$

Пространственная модель объекта недвижимости m_{op} содержит набор метрических характеристик объекта. Существенные различия в структуре и содержании информации об объекте обусловлены видом объекта (значение кода k_v) и его конструктивными особенностями. В общем случае эту пространственную модель m_{op} можно представить отображением, где каждому k_v соответствует кортеж следующего вида:

$$m_{op} : k_v \leftrightarrow \langle M, K, C, P, G \rangle, \quad (5)$$

где M – множество данных, характеризующих местоположение объекта учета;

K – множество (x, y) или (x, y, H) координат характерных точек объекта;

C – множество чертежей, планов и схем графической части кадастра;

P – множество результатов линейных измерений длин, высот и протяженности объектов;

G – множество значений геометрических параметров объекта (площадь помещений, объем застройки, число этажей и др.).

В зависимости от вида объекта в качестве пространственной информации могут быть использованы совокупности геодезических координат или совокупности промеров (длина, высота, протяженность). Кроме того, часть пространственных данных представляет собой результаты непосредственных измерений (координаты точек, промеры), а другая часть получена в результате анализа проектной или строительной документации (площади, объемы), в том числе из данных, содержащихся в информационных моделях зданий, сооружений [72, 80, 98].

Анализируя данные, полученные в результате выполненной формализации содержания, структуры и состава модели объекта недвижимости в условиях выявленной в 1.1 неопределенности понятий, можно сформулировать следующие выводы:

- для самого общего случая информационная модель объекта недвижимости представлена как совокупность пространственной и правовой (юридической) моделей, его кадастрового номера и множества кадастровых номеров объектов недвижимости, топологически связанных с ним, кодов вида и назначения данного объекта, его технических и служебных характеристик;

- часть перечисленных компонентов этой модели принципиально не зависит от применяемого подхода к мерности кадастра (2D- или 3D-кадастр), а три компонента – кадастровые номера объектов из множества, пространственная модель объекта, правовая (юридическая) модель объекта недвижимости – должны видо-

изменяться в зависимости от мерности кадастра, и поэтому представляют особый интерес для дальнейших исследований;

– результаты выполненной формализации могут быть использованы в качестве основы методики кадастровых работ, подчеркивают различия двух- и трехмерного кадастров, позволяют дифференцировать технологические процессы кадастрового учета, обосновывают необходимость изменения содержания, структуры и ряда характеристик модели объекта недвижимости;

– особого внимания заслуживают вопросы получения пространственной модели объекта недвижимости, применяемые в практике выполнения кадастровых работ в России и за рубежом.

2.2 Сравнительный анализ процессов формирования пространственной 3D-модели объектов недвижимости

В соответствии с требованиями, приведенными в [57], для выполнения кадастровых работ по определению координат характерных точек контуров объектов недвижимости могут применяться геодезический, фотограмметрический, картометрический, аналитический методы, а также метод спутниковых геодезических определений. Совокупность приведенных методов соответствует зарубежной практике выполнения аналогичного вида работ, исключение составляют решения, основанные на использовании BIM-моделирования и соответствующей строительной документации [107].

На наш взгляд, методы, применяемые в РФ, в достаточной мере позволяют решать задачу по определению плоских прямоугольных координат (x, y) контуров объектов недвижимости на уровне примыкания к земле, однако, в общем случае вызывают серьезные сложности при определении пространственного положения конструктивных элементов объектов недвижимости, расположенных на разных уровнях, необходимых для формирования 3D-модели объектов недвижимости (исключение составляет совокупность фотограмметрического и спутникового методов).

Анализ зарубежного и отечественного опыта по получению высокоточных 3D-моделей различных видов объектов недвижимости [37, 42, 43, 60, 61, 67, 123, 143] позволил сделать вывод, что для решения проблемы оперативного получения пространственных данных о местоположении и конфигурации объекта недвижимости наибольшее распространение получили следующие методы:

- *тахеометрическая съемка* (в безотражательном режиме, далее – тахеометрическая съемка);
- *лазерное сканирование* (наземное, воздушное, в отдельных случаях мобильное);
- *фотограмметрические методы* (особенно съемка беспилотными авиационными системами (БАС) с малых высот).

Кроме использования указанных методов, в кадастрах зарубежных стран происходит активное изучение вопросов интеграции и адаптации BIM-моделей для кадастра (на основе привязки готовой модели к существующей геодезической основе кадастра и сопоставления проектных и фактических характеристик объектов недвижимости), которые позволяют значительно сократить полевые работы по формированию 3D-модели объектов недвижимости [98, 100, 107].

Рассматривая возможность применения тахеометрической съемки, лазерного сканирования, фотограмметрических методов и BIM-моделей для формирования 3D-модели объектов недвижимости в России, можно сделать следующие выводы:

- в соответствии с требованиями к формированию 3D-модели объектов недвижимости, приведенными в 1.2 настоящей работы, необходимо обеспечить идентичность масштабов трехмерной модели и объекта (1:1), а также координатную привязку к существующим государственным геодезическим (ГГС) или опорным межевым сетям (ОМС). Тахеометрическая съемка, фотограмметрический метод и лазерное сканирование позволяют выполнить оба требования при условии создания планово-высотного геодезического обоснования (тахеометрическая съемка, фотограмметрический метод, воздушное лазерное сканирование (ВЛС)),

координирования сканерных позиций (наземное лазерное сканирование (НЛС)) или начала инерциальной системы координат (мобильное лазерное сканирование, (МЛС)), например, с помощью метода спутниковых определений;

– согласно определению 3D-модели объекта недвижимости, рассмотренному в 1.2, такая модель может быть подготовлена в формате .rvt, который в свою очередь является базовым форматом программного комплекса Autodesk Revit, его целью является проектирование BIM-моделей. Таким образом, можно сделать вывод о существующей возможности интеграции информационных моделей зданий и сооружений в ЕГРН при условии обеспечения ее достоверности и разработки научно-методического обоснования выполнения кадастровых работ по формированию 3D-модели объектов недвижимости.

В соответствии с представленными выводами и анализом существующей практики выполнения кадастровых работ была разработана схема информационного представления процесса 3D-моделирования объектов недвижимости в ЕГРН, которая приведена в приложении В диссертационного исследования.

На основании представленной схемы, можно выделить ряд блоков, не нашедших достаточного отражения в научно-технической литературе и требующих более детального рассмотрения, а именно:

– обоснование выбора метода определения координат и высот объекта недвижимости – исследование сущности и характерных особенностей каждого из методов: тахеометрической съемки, лазерного сканирования, фотограмметрических методов (моделирование с применением БАС) и BIM-моделирования, на основании которого формируется набор параметров для 3D-моделирования объектов недвижимости и конкретные рекомендации по выбору метода в зависимости от видов объектов недвижимости и условий местности, а также ряда других факторов (см. 2.2);

– обоснование выбора характерных точек, описывающих объект недвижимости, из облака, каталога координат и высот характерных точек, описывающих контуры объектов недвижимости (x, y, H) ;

– изучение процесса формирования 3D-модели в соответствующих программных продуктах на основе координат надземного, наземного и подземного контуров;

– разработка и апробирование методики формирования 3D-модели объектов недвижимости, наиболее подходящей для условий России, на основании изучения успешного зарубежного опыта и результатов собственных исследований (см. 3.1–4.2).

В соответствии с представленной структурой исследований рассмотрим сущность и характерные особенности тахеометрической съемки, лазерного сканирования, фотограмметрических методов (моделирование с применением БАС) и BIM-моделирования.

1 *Тахеометрическая съемка.* Область применения: наибольшая эффективность использования данного метода достигается при съемке и последующем 3D-моделировании отдельно стоящих объектов недвижимости либо определении координат характерных точек конструктивных элементов таких объектов, находящихся под навесами, в зонах перекрытия и пр.

Принцип получения координат (x, y, H) характерных точек при тахеометрической съемке заключается в определении от точки стояния прибора с известными координатами горизонтального и вертикального углов, а также расстояния за счет измерения разности фаз излучаемого и отраженного светового луча (фазовый метод), либо по времени прохождения лазерного луча до отражающей поверхности в прямом и обратном направлении (импульсный метод). Под отражающей поверхностью понимается специальный отражатель либо непосредственно поверхность объекта недвижимости (отражательный и безотражательный режимы работы, соответственно). Наиболее эффективным решением для получения координат характерных точек конструктивных элементов объектов недвижимости, расположенных на разных уровнях, является использование безотражательного режима (фазовый метод), при этом стоит учитывать влияние отражающих свойств поверхности на дальность и точность измерений.

К основным преимуществам тахеометрической съемки можно отнести доступность оборудования, относительную простоту выполнения, обработки результатов полевых работ и получение соответствующих координат характерных точек объекта, возможность определения координат точки стояния прибора без использования спутникового оборудования при помощи специальных засечек, а также удобство координирования внутренней части объектов недвижимости (например, помещений (при необходимости)).

Недостатками тахеометрической съемки являются сильная зависимость результатов измерений от внешних условий (влажность, перепады температуры, влияние электромагнитных излучений и пр.) и отсутствие возможности определения координат объектов недвижимости, видимость которых ограничена.

2 Лазерное сканирование. Для получения высокоточных 3D-моделей объектов недвижимости с помощью лазерных сканеров применяются следующие основные методы: наземное лазерное сканирование, воздушное лазерное сканирование и мобильное лазерное сканирование.

Принцип воздушного лазерного сканирования заключается в том, что съемка выполняется с воздушного носителя, на котором устанавливается следующее оборудование: блок управления, лазерный сканер, аэрофотоаппарат, спутниковая антенна, инерциальная навигационная система. Управление системой лазерного сканирования выполняется оператором в процессе съемочного полета с помощью ноутбука, данные записываются и архивируются на жестких дисках.

Главное преимущество ВЛС – это высокая производительность. В зависимости от высоты съемки за один съемочный день можно получить данные на площадь более чем 1 000 км² [39, 64]. Точность данных воздушного лазерного сканирования достигает значения 15 см в плане и по высоте. Лазерное сканирование позволяет выполнять съемку в любое время суток и года. Плотность данных воздушного лазерного сканирования варьируется от 1–2 точек на 1 м² до 20. Недостатком ВЛС является его сильная зависимость от состояния атмосферы, а также от степени застройки городской территории (закрытость крышами, навесами

и пр.). Традиционно сферой применения воздушного лазерного сканирования является картографирование территорий, имеющих большие площади, которое позволяет получать цифровые модели рельефа (ЦМР). Точность построения ЦМР по данным воздушного лазерного сканирования значительно превосходит точность их построения по данным аэрофотосъемки, особенно на лесные территории.

Принцип НЛС заключается в съемке ситуации и рельефа в целях получения точечной пространственной модели со стационарных точек стояния прибора.

Управление наземным лазерным сканером осуществляется с помощью специального дисплея, расположенного непосредственно на устройстве, либо с помощью ноутбука, соединенного со сканером при помощи проводной или беспроводной связи.

Главной отличительной особенностью данных наземного лазерного сканирования является чрезвычайно высокая плотность облака точек. В зависимости от выбранных значений вертикального и горизонтального линейного или углового шага сканирования, от удаления сканируемого объекта от места установки сканера плотность данных может достигать нескольких тысяч точек на 1 м^2 . Метод наземного лазерного сканирования обладает высокой степенью автоматизации, точность его данных выше 1 см [43]. Метод безопасен для исполнителя, возможна трехмерная визуализация в режиме реального времени и съемка в любое время суток. К достоинствам данного метода также можно отнести оперативность получения моделей и удобство моделирования небольших по площади территорий (включая расположенные на них объекты недвижимости). Основным недостатком данного метода является сложность моделирования многоэтажных зданий в условиях плотной застройки (невозможность обеспечить достаточные расстояния между сканерными позициями ввиду условий съемки).

Принцип МЛС схож с принципом ВЛС. Отличие заключается лишь в том, что съемка выполняется с любого наземного транспортного средства, обычно при этом применяется два лазерных сканера. Продольная развертка выполняется за счет движения транспортного средства, а поперечная – за счет вращения голо-

вок лазерных двухмерных сканеров. Метод находит свое применение при картографировании городских ландшафтов, определении геометрических параметров автомобильных дорог и выявлении их дефектов, трехмерном моделировании протяженных линейных объектов.

Основным достоинством МЛС относительно других методов сканирования является его производительность. За один съемочный день можно выполнить сканирование линейных объектов протяженностью до 1 000 км. Точность данных мобильного лазерного сканирования составляет несколько сантиметров [65]. Ключевым недостатком данного метода является обязательность обеспечения проезда вдоль моделируемых объектов, что не всегда является возможным в условиях плотной городской застройки.

3 Фотограмметрические методы (использование БАС). Наряду с традиционными пилотируемыми воздушными судами, в последние годы для выполнения аэрофотосъемки небольших по площади территорий широко применяются беспилотные авиационные системы, представляющие собой совокупность беспилотного летательного аппарата (в основном, самолетного или вертолетного типа), бортового комплекса управления (состоит из приемника спутниковой навигационной системы, интегрированной навигационной системы и автопилота, отвечающего за четкое следование полетному заданию), наземной станции управления (отвечает за прием полетных данных и контроль воздушного судна), а также полезной нагрузки (обычно это цифровая фото-/видео- либо инфракрасная камера, тепловизор и пр.) [17].

Принцип использования БАС заключается в аэрофотосъемке моделируемой территории (блока). Для обеспечения координатной привязки снимков предварительно выполняется планово-высотная подготовка, включающая маркировку планово-высотных опознавательных знаков на местности. Аэрофотосъемка выполняется в ручном или автоматическом режиме в соответствии с проектом, предусматривающим высоту съемки, схему расположения маршрутов, обеспечивающих заданное продольное и поперечное перекрытия, а также скорость полета БАС

и угол поворота камеры [31]. Основными результатами последующей фотограмметрической обработки снимков, полученных с использованием БАС, являются:

- трехмерная точечная модель (трехмерный массив точек), получаемая в результате автоматической триангуляции (аналог облака точек, получаемых в результате лазерного сканирования);
- нерегулярная модель поверхности (TIN, Triangulated Irregular Network);
- регулярная модель поверхности (DEM, Digital Elevation Model);
- текстурированная модель местности (ТММ);
- ортофотоплан.

Стоит отметить, что процесс получения таких результатов отличается в зависимости от используемого программного обеспечения для обработки данных, полученных с БАС (основные – Agisoft Photoscan, PHOTOMOD, Pix4D, Trimble UASMaster (INPHO) и др.), а также вида установленной камеры: метрическая (камера с большим форматом кадра, низким полем искажений, точно измеренным фокусным расстоянием и прикладными рамками, формирующими изображения координатных меток) либо неметрическая (цифровая камера с более низким разрешением, не имеющая координатных меток и обладающая значительной дисторсией) [18, 79]. Анализ существующей практики выполнения работ по 3D-моделированию объектов, расположенных на застроенных территориях [17, 22, 45], показал, что экономически выгодным решением, обладающим достаточной (до 0,10 м) точностью и оперативностью получения данных, являются БАС вертолетного типа с неметрическими камерами, для обработки результатов – программный продукт Agisoft Photoscan. Таким образом, среди множества БАС и программ для обработки результатов съемки в рамках диссертационной работы рассматриваются БАС вертолетного типа с неметрической камерой (на примере DJI Phantom 4) и Agisoft Photoscan.

К основным достоинствам БАС можно отнести оперативность получения трехмерных данных об объектах недвижимости, стоимость оборудования, воз-

возможность выполнения фасадной съемки надземного контура объекта недвижимости и пр.

Недостатки БАС тождественны аналогичным в ВЛС, кроме того, отсутствует возможность получения данных об объектах недвижимости, закрытых растительностью, и существует проблема моделирования объектов, отображенных только на одном из снимков.

4 BIM-моделирование. Для анализа сущности и характерных особенностей BIM-моделирования и обеспечения корректности его дальнейшего сравнения с фотограмметрическими методами (с использованием БАС) и лазерным сканированием необходимо принять во внимание два фактора:

– в отличие от процессов получения реальных трехмерных данных об объекте недвижимости (выполнение сканирования или съемки с БАС – реальная 3D-модель), BIM-модель является результатом компьютерного (информационного) моделирования на основе существующей проектной (строительной) документации (виртуальная 3D-модель) в системе координат самого объекта. Другим вариантом создания BIM-модели является ее формирование по результатам геодезических и натурных измерений, однако такая задача обладает незначительными отличиями от создания традиционной трехмерной модели и не представляет серьезной научной ценности. Таким образом, в диссертационной работе рассматриваются вопросы интеграции BIM-моделей, сформированных на основе проектной (строительной) документации, в существующие кадастровые системы и преимущества их использования;

– несмотря на наличие утвержденной стратегии информационного развития общества в Российской Федерации на 2017–2030 гг. [50], в которой большое внимание уделяется внедрению BIM-моделей в различные области (в том числе, в ЕГРН), а также законодательной возможности применения информационных моделей объектов недвижимости при подготовке технических планов кадастровыми инженерами [57], на сегодняшний день, применение BIM-технологий в России осуществляется лишь в ряде проектов строительства объектов государствен-

ного значения (олимпийские объекты, стадионы к чемпионату мира по футболу 2018 г. и пр.) [12, 92]. Таким образом, при исследовании сущности BIM-моделей и различных технологических решений по их интеграции в кадастр, в диссертационной работе преимущественно используется зарубежный опыт, представленный в работах [71, 73, 75, 90, 98, 107, 109, 110].

Анализируя понятие BIM, стоит выделить два его различных трактования: как процесс (коллективное создание и использование информации о здании/сооружении), формирующий надежную основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта (от самых ранних концепций до рабочего проектирования, строительства, эксплуатации и сноса) [88], либо как продукт – объектно-ориентированная цифровая модель, учитывающая всю семантическую и графическую информацию об объекте. В рамках исследования BIM-модель рассматривается в качестве продукта.

Принципом создания BIM-модели является представление данных о конструктивных элементах объекта недвижимости, указанных в проектной (строительной) документации [49] в виде динамических компонентов, содержащих сведения обо всех семантических (геометрические параметры, материал, допустимая нагрузка и пр.) и графических (поэтажные планы, чертежи и пр.) характеристиках, которые находятся в прямой зависимости друг от друга и формируются в виде единой трехмерной модели, содержащей в своей базе данных всю семантическую информацию об объекте недвижимости.

Основными целями интеграции BIM-моделей в кадастры являются экономия ресурсов на этапах планирования, проектирования, строительства и учета объектов недвижимости, а также оптимизация процесса взаимодействия между специалистами сфер архитектуры, инженерии, строительства и кадастра [98]. Относительно учетной функции BIM-модель позволяет синхронизировать в трехмерной среде правовую и физическую информацию об объекте недвижимости.

Для описания физических границ BIM-модели используется иерархическая структура, предусмотренная международным стандартом Industry Foundation

Classes (IFC) [115], которая описывает стены, потолки, двери, окна и перекрытия объекта в качестве отдельных подмножеств. Правовая часть используется для моделирования различных типов форм собственности, таких, как пространства частной собственности, зоны общего пользования и сервитуты, ее содержание зависит от законодательства конкретной страны. Пример физических границ и ограниченного ими пространства (правовая часть) BIM-модели многоэтажного здания представлен на рисунке 8.

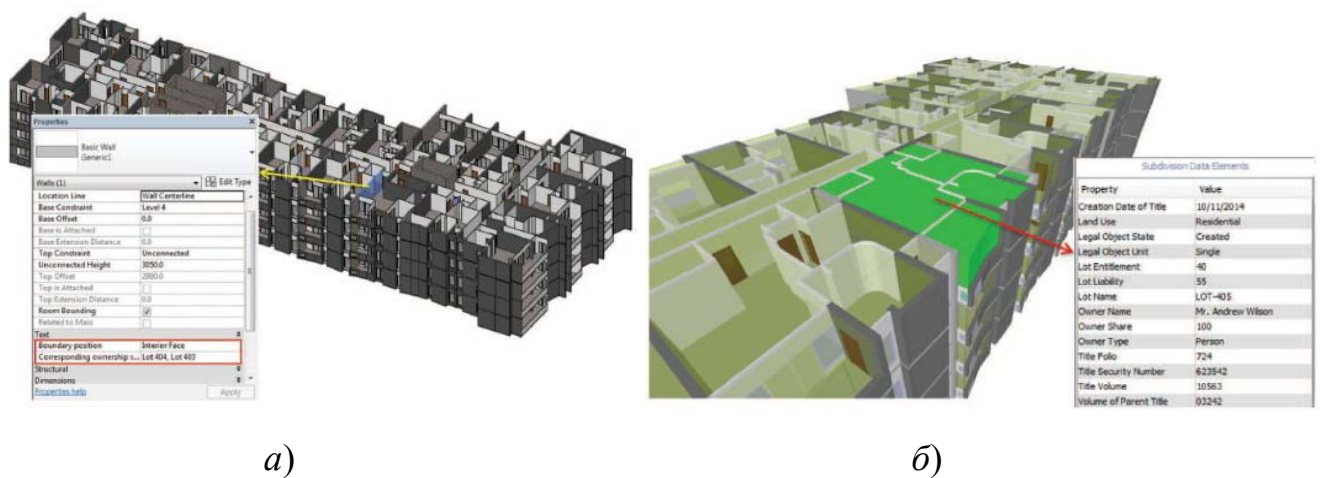


Рисунок 8 – BIM-модель объекта недвижимости:

а) физические границы; б) правовая часть

При интеграции информационных моделей объектов недвижимости в кадастры применяются два основных решения:

- прямой перенос модели в кадастр (либо с учетом доработки под структуру базы данных кадастра);
- трансформация BIM-модели на основе сопоставления данных модели и выполненных геодезических измерений.

Важной составляющей успешной реализации первого метода является четкая взаимосвязь строительных и кадастровых органов в вопросе проверки соответствия создаваемого объекта проектным характеристикам для обеспечения достоверности кадастровых данных. Наиболее качественно такое решение реализо-

вано в кадастре Сингапура, который является признанным лидером в области применения BIM-технологий.

Органом управления сферы строительства Сингапура является организация Building and Construction Authority (BCA), которая занимается не только процессом управления, но и разработкой подходов использования передовых технологий и внедрением их в профессиональную деятельность [41, 74].

В качестве кадастровой службы, в свою очередь, выступает Сингапурское земельное управление (Singapore Land Authority, SLA).

Сотрудничество BCA и SLA привело в 2010 г. к трансформации существовавшей кадастровой системы и внедрению в нее передовых технологий, что позволило реализовать ряд крупных проектов, связанных с применением технологии информационного моделирования. В основе процесса взаимодействия служб при строительстве и учета объектов недвижимости лежит периодическая проверка хода строительства и соответствия характеристик конструктивных элементов проектым в режиме реального времени с применением технологии всесторонней экспертизы архитектурно-строительных проектов, реализованной в программном комплексе Navisworks [97].

Кроме того, отличительной чертой кадастра Сингапура является наличие единой BIM-платформы, которая позволяет загружать информационные модели в любом формате (выполненные в любых программных комплексах) без необходимости экспорта в единый формат. Благодаря этому удается достичь коллаборации между специалистами, работающими в разном программном обеспечении. В качестве примера такого проекта можно рассматривать создание BIM-модели отеля Marina Bay Sands, расположенного в центральной части Сингапура. Отель состоит из трех 200-метровых башен (55 этажей каждая) сложной архитектуры, соединенных конструктивным элементом в форме «лодки». В связи с архитектурными особенностями рассматриваемого объекта часть конструктивных элементов здания отеля моделировались разными проектировщиками, что не повлияло на качество созданной модели и обеспечило возможность проверки коллизий и «повторяемости» моделируемых решений [74].

В качестве примера реализации второго решения рассмотрим процесс интеграции BIM-моделей в кадастр Новой Зеландии.

По состоянию на 2018 г. в Новой Зеландии разработана и введена в действие обширная нормативная база, регламентирующая использование BIM-моделей в кадастре, и создан ряд пилотных проектов по внедрению BIM-технологий на территории отдельных муниципалитетов.

При получении BIM-модели специалисты в области кадастра выполняют ее проверку. Для создания взаимосвязи между информационной моделью объекта недвижимости и земельным участком, на котором он располагается, используется привязка «первичных» (земельные участки, соответствуют границам кадастрового деления, характерные точки описываются плоской прямоугольной системой координат (x, y)) и «вторичных» (объекты недвижимости, контуры описываются в пространственной прямоугольной системе координат (X, Y, Z)) объектов с указанием промеров между ними и до закрепленных на местности геодезических пунктов [87]. Схематичное изображение такой привязки приведено на рисунке 9.

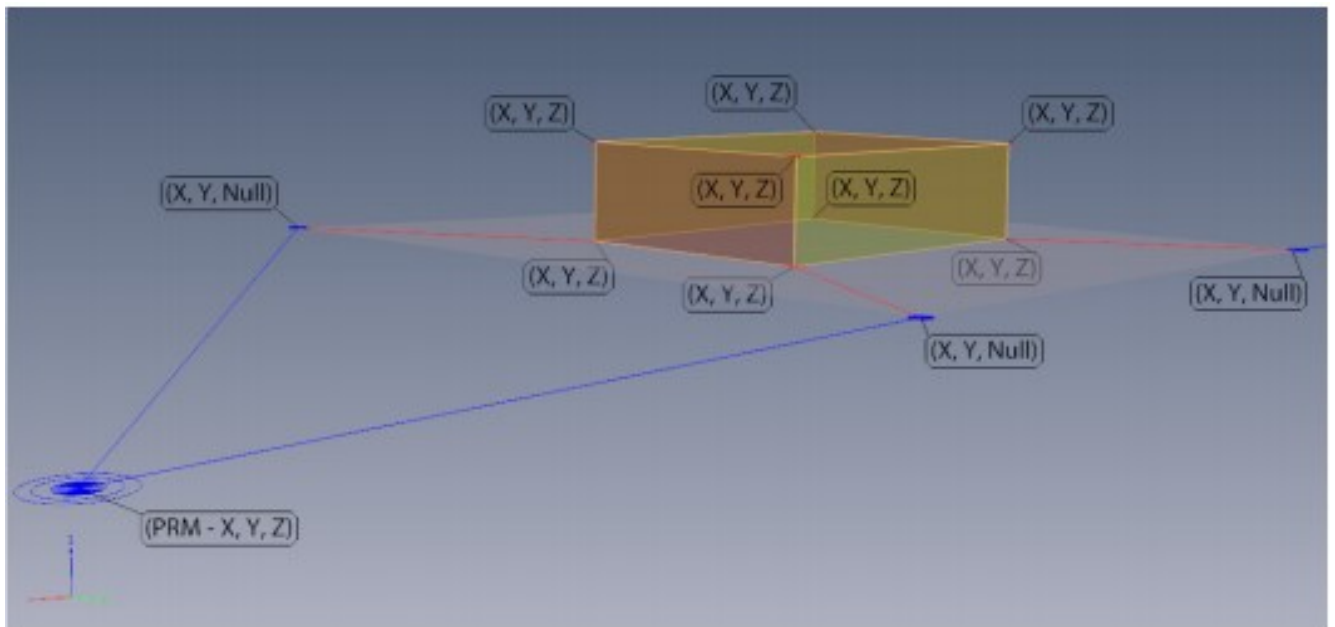


Рисунок 9 – Схема создания взаимосвязи между «первичным» и «вторичным» объектом

Дополнительно, в рамках проверки, с использованием соответствующего программного обеспечения выполняются следующие операции [109]:

- контроль правильности сформированной формы и соответствие модели проектным характеристикам объекта;
- проверка нахождения «вторичного объекта» в границах «первичного объекта»;
- контроль наполнения семантической части модели данными о пространственных прямоугольных координатах (X , Y , Z) характерных точек объекта недвижимости и геодезических пунктов;
- топологическая проверка наложения модели на другие пространственные объекты.

Перечисленные операции обеспечивают достоверность данных, содержащихся в BIM-моделях при их интеграции в кадастровую систему Новой Зеландии.

Анализ приведенных решений по интеграции BIM-моделей в кадастры Сингапура и Новой Зеландии, в совокупности с содержанием и характерными особенностями формирования таких моделей, позволяет сформулировать основные достоинства их использования в кадастре: значительное сокращение сроков и стоимости работ по формированию 3D-моделей объектов недвижимости и наличие единой базы данных, включающих сведения обо всех объектах, входящих в состав объекта недвижимости, что позволяет учитывать топологические связи между ними.

К недостаткам BIM-моделирования можно отнести сложность создания информационных моделей существующих объектов недвижимости и процедуры корректировки созданной модели при ее несоответствии фактическим размерам объекта.

Таким образом, анализ сущности методов тахеометрической съемки, лазерного сканирования, фотограмметрических методов (с применением БАС), а также BIM-моделирования позволяет сделать общий вывод об их пригодности для определения координат и высот всех конструктивных элементов объектов недвижимо-

сти. Для разработки рекомендаций о выборе конкретного метода в зависимости от его характерных особенностей и ряда внешних факторов (тип, характеристики, требуемая точность, количество моделируемых объектов недвижимости, условия съемки и пр.) в диссертационной работе были выполнены экспериментальные исследования по 3D-моделированию надземных контуров типового здания (метод НЛС), моделированию с помощью БАС (на эталонном полигоне) [59], моделированию социального объекта (детский сад) на основе проектной документации (BIM-моделирование) [80, 85], а также теоретические исследования, направленные на оценку точности координирования внутренней части объекта недвижимости (на примере помещения произвольной формы) с использованием метода тахеометрической съемки [77]. Выбор вида исследований (экспериментальные или теоретические) обусловлен степенью разработанности каждого из методов (вопрос получения координат «внешней» модели объекта с помощью электронного тахеометра хорошо освещен в научно-технической литературе [1, 8], в то время как координирование «внутреннего содержания» модели, а также оценка точности такого вида работ являются актуальным направлением для создания 3D-кадастра) [77].

Содержание экспериментальной части исследования включает в себя изучение особенностей различных методов получения 3D-моделей объектов недвижимости:

- 3D-моделирование (метод НЛС);
- 3D-моделирование (с помощью БАС);
- BIM-моделирование (на основе проектной документации);
- тахеометрическая съемка.

3D-моделирование (метод НЛС). Объект исследования: типовое здание (общежитие). Здание было отсканировано с четырех позиций, со всех сторон с помощью лазерного сканера Leica ScanStation 2. Уравнивание данных осуществлялось по маркам, располагавшимся в зонах взаимного перекрытия между сканами. Вычисление пространственных координат точек лазерных отражений вы-

полнялось посредством фиксирования продольного и поперечного углов и на основе измеренного расстояния по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} X &= R \cdot \cos \varphi \cdot \sin \theta \\ Y &= R \cdot \sin \varphi \cdot \sin \theta \\ Z &= R \cdot \cos \theta \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где R – измеренная дальность от точки стояния сканера до объекта;

φ – горизонтальный угол измеренного направления лазерного луча R ;

θ – вертикальный угол направления R , отсчитываемый от оси Z до вектора R (зенитное расстояние направления лазерного луча);

X, Y, Z – прямоугольные координаты.

Точность уравнивания составила 12 мм в плане и 6 мм по высоте, этого достаточно для трехмерного моделирования объектов недвижимости в кадастре.

Результат сканирования с обозначенным положением сканерных позиций, а также фотография части отсканированного здания представлены на рисунке 10. Расстояние от сканерной позиции $S1$ до двух ближайших углов здания составило 8 и 14 м соответственно. От сканерной позиции $S2$ до ближайшего угла – 12 м, а до основного крыльца – 29 м.

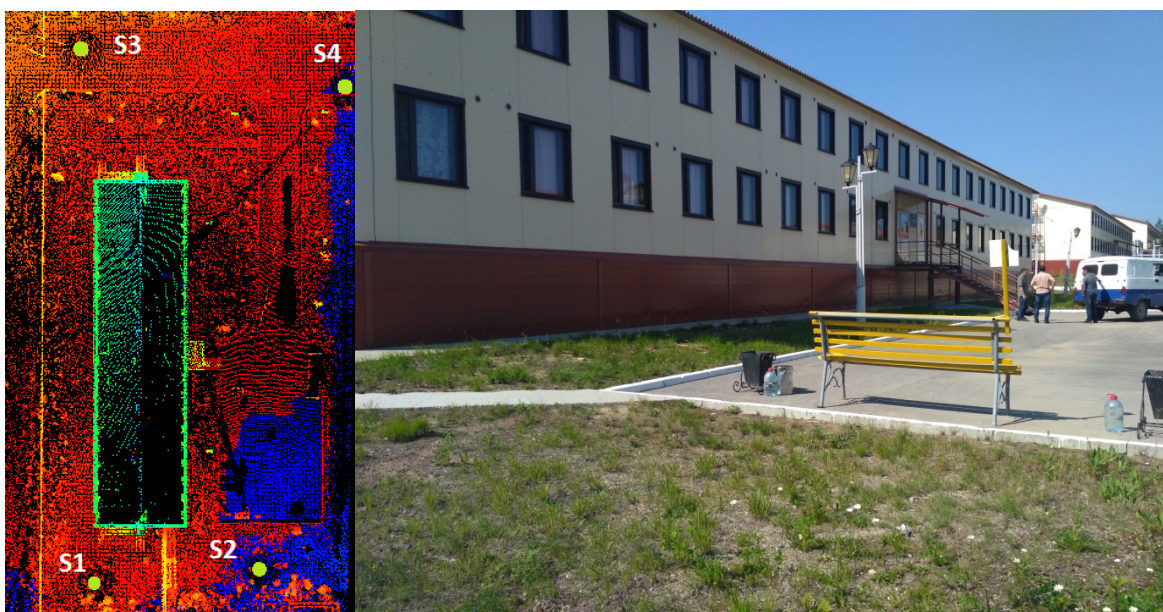


Рисунок 10 – Результат лазерного сканирования типового здания

На рисунке 11 представлен результат построения трехмерной модели здания. Для того, чтобы продемонстрировать пример различной степени детализации при построении трехмерной модели, моделирование основного крыльца здания, показанного на фотографии рисунка 10, было выполнено с большей степенью детализации, чем крыльцо пожарного выхода, находящегося в торце здания (плотность облака точек позволила моделировать оба объекта с максимальной степенью детализации, выбор основного крыльца связан с частотой использования объекта проживающими в общежитии).

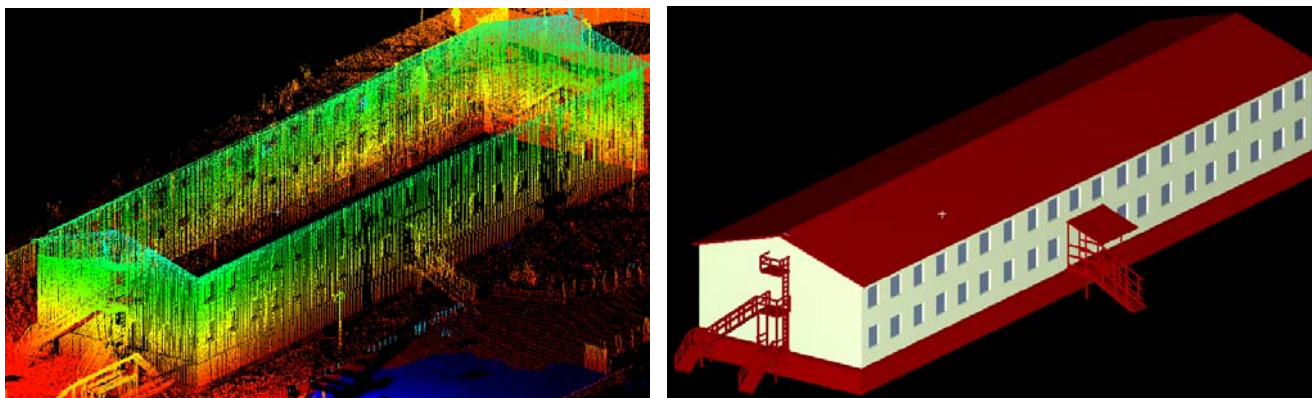


Рисунок 11 – Результат трехмерного моделирования типового здания

Плотность точек основного крыльца получилась меньше, чем плотность точек крыльца пожарного выхода, так как он располагался ближе к сканерным позициям. Расстояние между ближайшими точками в плане у пожарного выхода в среднем составило 15 мм, а по высоте – 5 мм. Данной плотности достаточно для моделирования практически всех деталей. Для основного крыльца здания данное значение в плане в среднем составило 58 мм, а по высоте – 17 мм. Такой плотности может быть недостаточно для отображения всех деталей здания, таких, как ступеньки, перила. Для их полного отображения могут быть использованы фотографии, которые помогают выполнить дешифрирование массива точек, особенно при его недостаточной плотности. Из рисунка 12 видно, что выполнить моделирование всех ступенек по точкам, определить диаметр опор и толщину перил не-

возможно. Данные параметры были определены по фотографиям и в результате измерения на местности. Массив точек позволил определить их положение со значением точности не выше его плотности, т. е. точность определения положения данных деталей составила не выше 58 мм в плане и 17 мм по высоте плюс ошибка за уравнивание массива точек, что соответствует действующим требованиям к точности определения координат характерных точек объектов недвижимости [56].

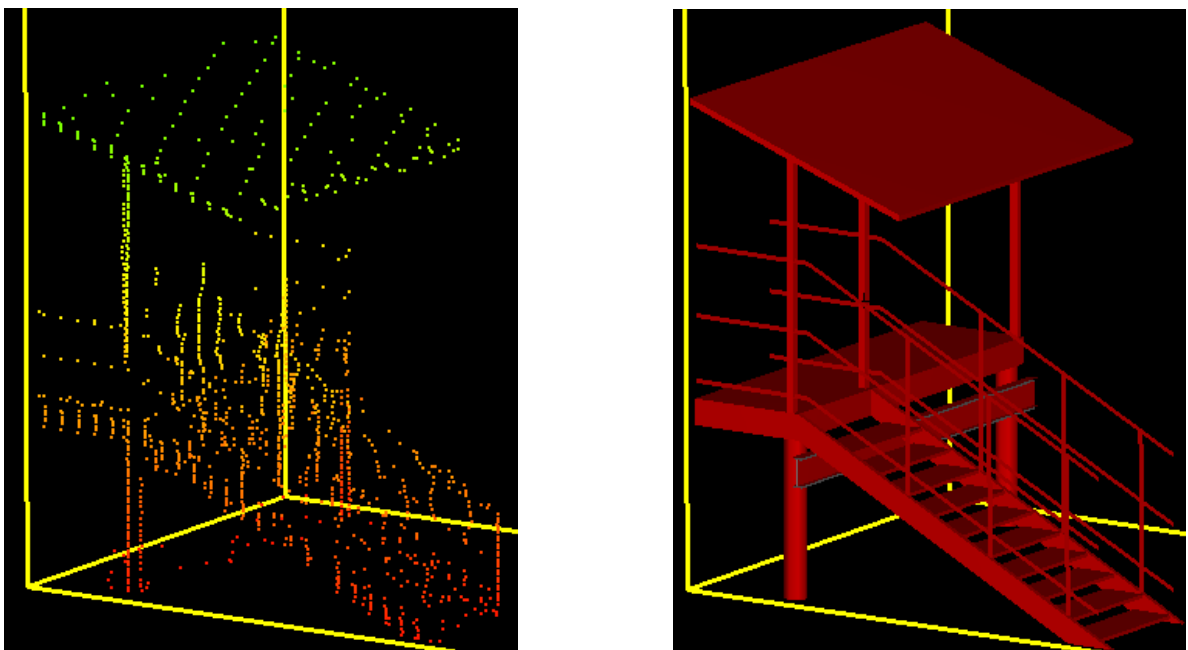


Рисунок 12 – Результат 3D-моделирования основного крыльца общежития

Рисунок 13 иллюстрирует, что плотность массива точек позволяет выполнить моделирование всех деталей без дополнительного применения фотографий. Но для того, чтобы в 3D-кадастре показать возможность применения генерализации, т. е. различной степени детализации, при моделировании пожарного выхода каждая ступенька не показывалась, область ступенек отображалась лишь в виде плоскости. Перила изображались на этом участке в виде трехмерных полилиний, ширина перил не была показана. Ширина перил и каждая ступенька отображались при моделировании главного крыльца здания.

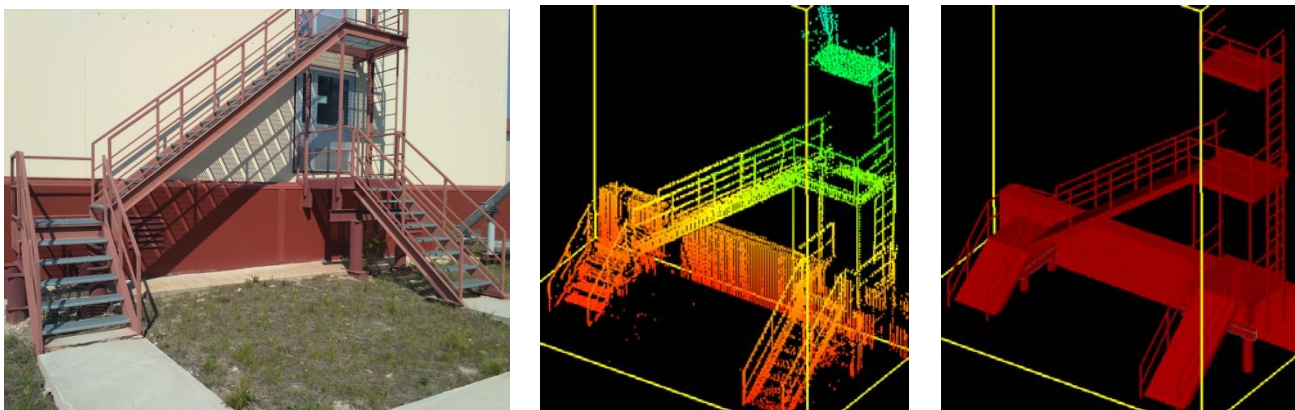


Рисунок 13 – Результат трехмерного моделирования крыльца
пожарного выхода общежития

При сравнении фотографий и трехмерной модели можно заметить, что не были смоделированы двери. Данный факт обусловлен отсутствием выступающих элементов дверей относительно поверхности стен, что не оказывает влияние на реальные размеры здания. Но при необходимости, при более высокой степени детализации, они могут быть показаны в виде набора текстурированных элементов.

На основании проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

– точность полученной модели составила 58 мм в плане и 17 мм по высоте, что полностью соответствует требованиям современного законодательства в области кадастра. В то же время, в отличие от традиционных методов съемки, характеризующихся равноточными измерениями, для конструктивных элементов здания «основное крыльцо» и «крыльцо пожарного выхода» получена различная точность определения их пространственного местоположения. Следовательно, для получения максимального уровня детализации модели, при выполнении сканирования, точки стояния прибора необходимо располагать в непосредственной близости к выступающим конструктивным элементам объекта недвижимости.

– выполнение данного условия, а также соблюдение необходимых технических параметров (плотность съемки, количество сканерных станций и пр.) позволяют получать высокоточные трехмерные модели объектов недвижимости. Следовательно, наземное лазерное сканирование может применяться в качестве одно-

го из решений для осуществления трехмерного моделирования объектов недвижимости при переходе на систему 3D-кадастра в РФ.

3D-моделирование (с помощью БАС). Объект исследования: эталонный полигон (земельный участок с ровной поверхностью) площадью 1 800 м², расположенный на территории СГУГиТ (г. Новосибирск).

В рамках исследования проведен эксперимент по созданию и оценке точности фотограмметрической 3D-модели эталонного полигона, полученной по результатам аэрофотосъемки на высоте 30, 60 и 100 м с применением БАС DJI Phantom 4. Данный аппарат относится к вертолетному типу и предназначен для выполнения панорамной и плановой аэрофото- и видеосъемки на высоте до 500 м. На БАС установлена цифровая неметрическая фотокамера DJI FC330 с фокусным расстоянием 4 мм и размером кадра 4 000 × 3 000 пикселей.

Планирование маршрутов съемки с заданным перекрытием снимков 80 % выполнено средствами мобильного приложения Pix4D Poligon Mission. Окно программы Pix4D Poligon Mission с изображением границ съемки, осей маршрутов и центров фотографирования для заданной высоты 30 м приведено на рисунке 14.

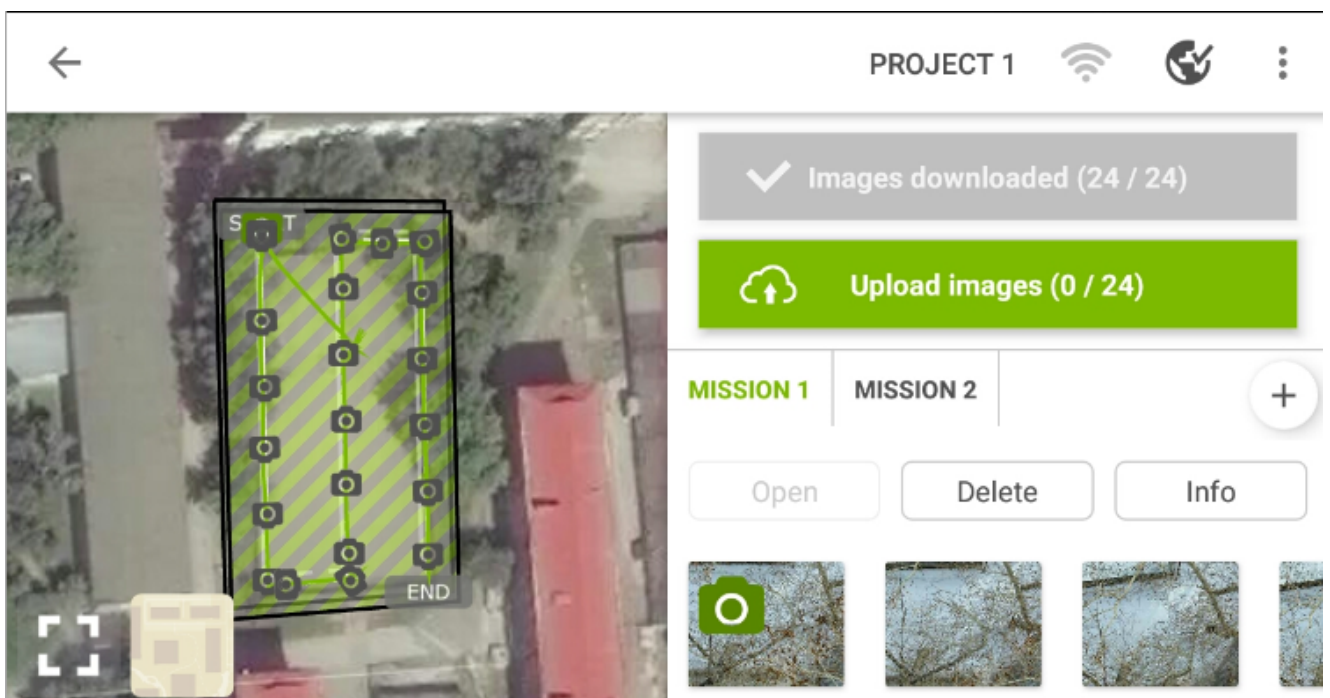


Рисунок 14 – Окно программы Pix4D Poligon Mission

Управление БАС во время аэрофотосъемки выполнялось в автоматическом режиме с помощью автопилота. Параметры результатов аэрофотосъемки на различных высотах приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры аэрофотосъемки на различных высотах

Высота, м	Разрешение, см/пиксель	Время съемки	Количество снимков
30	0,10	2 мин 33 с	24
60	2,10	1 мин 18 с	12
100	3,50	1 мин 42 с	6

Для исследования точности фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки с БАС была выбрана программа Agisoft PhotoScan Professional Edition, которая, по нашему мнению, в большей степени ориентирована на автоматизацию процесса обработки полученных данных, что имеет существенное значение для оперативного получения, обработки и оценки точности 3D-моделей объектов недвижимости.

Создание трехмерной модели эталонного полигона в Agisoft PhotoScan выполнялось в четыре этапа:

- выравнивание снимков и построение разреженного облака точек (по терминологии документации программы);
- построение плотного облака точек;
- создание полигональной модели объекта;
- построение текстуры модели и ортофотоплана.

Результаты выполнения каждого из этапов приведены на рисунке 15.

Оценка точности фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки выполнялась по опорным и определяемым пунктам планово-высотного обоснования (пунктам ПВО) на этапе выравнивания снимков и построения разреженного облака точек. Схема расположения пунктов приведена на рисунке 16.

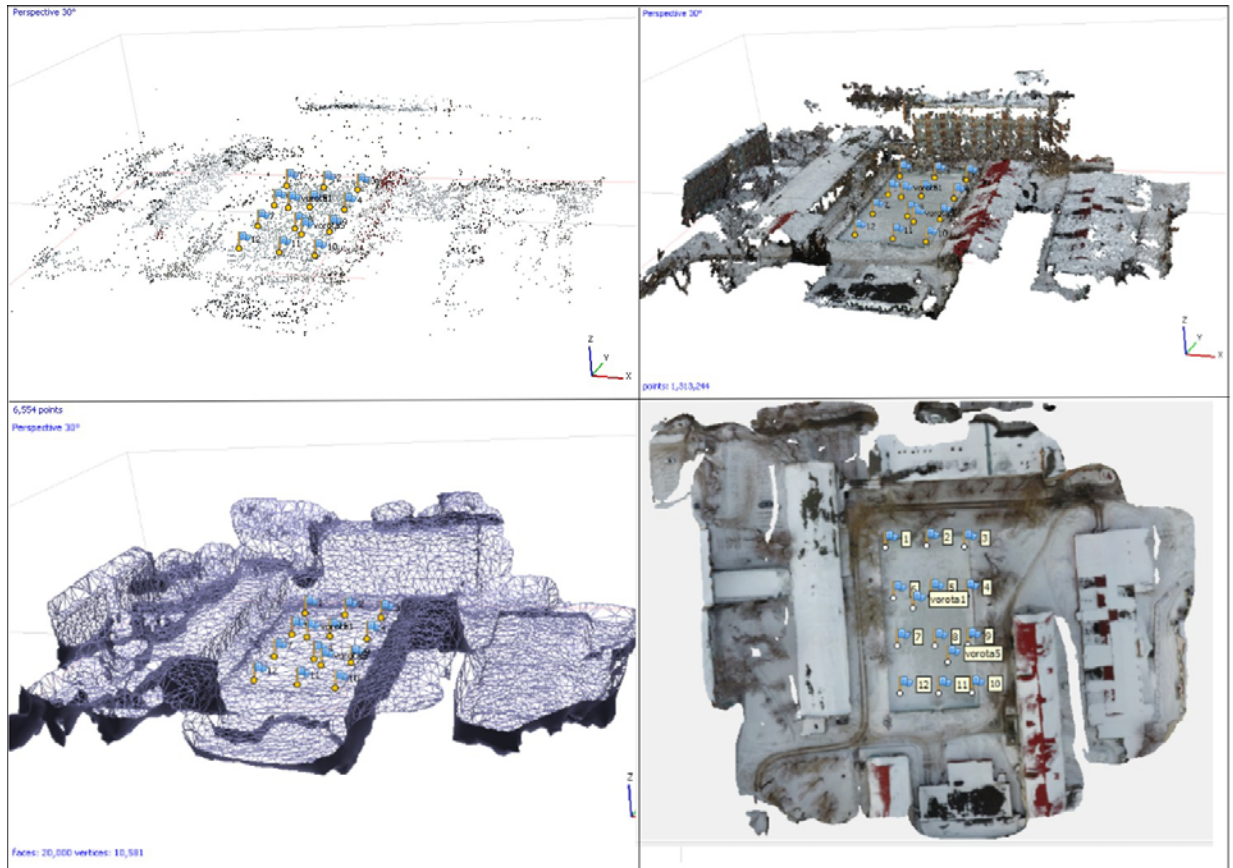
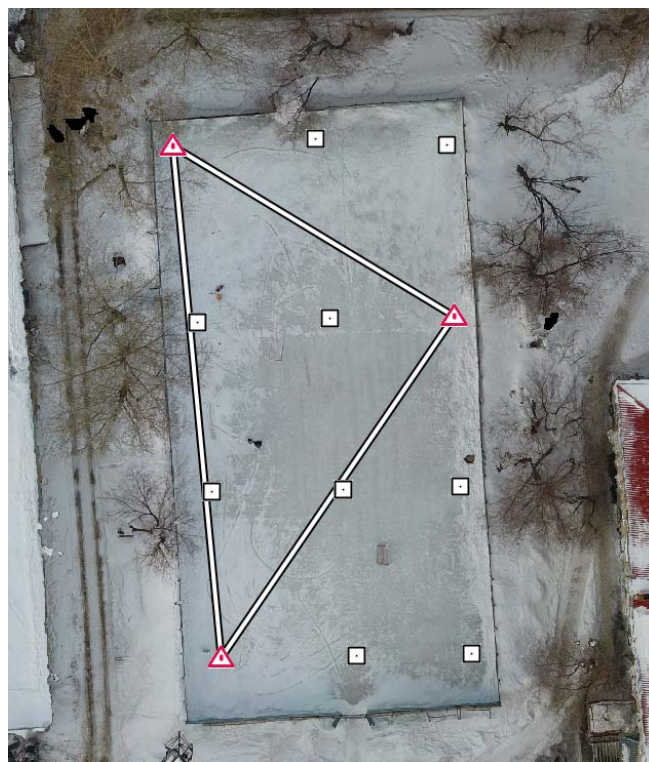


Рисунок 15 – Этапы создания 3D-модели эталонного полигона



△ – опорный пункт; □ – определяемый пункт; // – базисное направление

Рисунок 16 – Схема расположения пунктов планово-высотного обоснования

На основании сравнения координат, полученных из 3D-модели (на разных высотах) и определенных с помощью GPS-приемника Topcon Hiper SR (с выполнением контрольных промеров между пунктами лазерной рулеткой Leica Disto 530), и последующей оценки точности можно сделать следующие выводы:

– идентичность результатов измерения контрольных длин линий между пунктами ПВО наземными и спутниковыми методами (расхождение составило 0,02 м) позволила сделать вывод, что точность координат пунктов эталонного полигона дает возможность использовать его параметры в качестве эталонных при определении средней квадратической ошибки (СКО) создания 3D-модели полигона с применением БАС [59];

– средняя СКО вычисления координат определяемых пунктов ПВО по данным трехмерной модели на разных высотах составила: для 30 м – 0,06 м, для 60 м – 0,07 м, для 100 м – 0,07 м. Таким образом, можно сделать вывод о том, что точность полученной 3D-модели принципиально не зависит от высоты полета, соответствует требованиям к точности определения координат характерных точек объектов недвижимости [56] при расположении исходных пунктов ПВО на удалении 40 м друг от друга и погодных условиях, приближенных к идеальным. Следовательно, фотограмметрические методы (моделирование с использованием БАС) могут применяться в качестве одного из решений для осуществления трехмерного моделирования объектов недвижимости при переходе на систему 3D-кадастра в РФ.

В отличие от предыдущего исследования (3D-моделирование с помощью НЛС), в данном эксперименте не представлены данные о степени детализации объекта недвижимости, что связано с его сущностью. Однако, дальнейшие исследования по данному вопросу показали, что, аналогично НЛС, объект может быть смоделирован снаружи с любой степенью детализации, при условии выполнения перспективной аэрофотосъемки по линии окружности вокруг строения.

ВИМ-моделирование (на основе проектной документации). Объект исследования: детский сад, расположенный в г. Новосибирске. В качестве технического

решения для создания BIM-модели проектируемого объекта был выбран программный комплекс Autodesk Revit Architecture. На наш взгляд, данный продукт наилучшим образом подходит для формирования информационных моделей объектов недвижимости, поскольку позволяет создавать различные спецификации, разрезы, 3D-виды, производить различные расчеты и анализировать данные, обладает рядом надстроек и приложений, обеспечивает возможность совместной работы над проектом на основе облачных технологий, облегченный импорт и экспорт проектных данных [62].

Результатом работы в программе стала информационная модель объекта исследования, полностью отвечающая требованиям законодательства в области 3D-моделирования в кадастре [57], содержащая данные как о самом здании, так и о 361 помещении внутри него, которая представлена на рисунке 17.



Рисунок 17 – Объект исследования и его BIM-модель

В рамках экспериментальных исследований использовались лишь существующие проектные данные, без проведения геодезических измерений фактических контуров объекта, следовательно, оценка точности определения характерных точек объекта недвижимости не выполнялась. Уровень детализации модели в полной мере соответствует данным поэтажных планов здания. В результате формирования BIM-модели были сформулированы основные преимущества их использования при переходе на 3D-кадастр в РФ:

– возможность автоматического расчета параметров объекта недвижимости (включая топологические отношения) и редактирования семантики модели. В рамках выполнения экспериментальных исследований рассмотрен вопрос наполнения внутреннего содержания 3D-модели объекта недвижимости (на примере модернизации процесса подготовки данных для учета помещений). При традиционном подходе конфигурация помещений (площадь, размеры и пр.) определяется путем соответствующих обмеров кадастровым инженером. В случае использования в качестве проектных данных существующих BIM-моделей, достоверность сведений в которых подтверждена соответствующим образом, необходимость обмеров отсутствует, поскольку такие параметры, как площади, линейные размеры, объемы и пр. вычисляются автоматически и заносятся в соответствующие поля (рисунок 18) [80].

Скриншот программного интерфейса, отображающий таблицу характеристик помещений. Таблица имеет следующие столбцы: А (Кадастровый номер), В (Этаж), С (Номер помещения), D (Назначение), E (Адрес), F (Площадь), G (Объем). В таблице перечислены различные помещения, такие как Тамбур, Зойхоз, Сушильно-лавильная, Коридор, Спальня, Электрик, Сантехник, Игровые комнаты, Игровые комнаты, Игровые комнаты, Коридор, Массо-рыбный цех, Загрязненная, Тамбур, Групповая, Коллекционная, Мясная, Тамбур, Горячий цех, Актовый зал, Коридор, Мехкабинет, Групповая, Групповая, Коридор, Групповая, Групповая.

А	В	С	D	E	F	G
Кадастровый номер	Этаж	Номер помещения	Назначение	Адрес	Площадь	Объем
64.35.053575.3517	этаж 1	1	Тамбур	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	4,45 м²	13,36 м³
64.35.053575.3518	этаж 1	2	Зойхоз	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	2,33 м²	6,99 м³
64.35.053575.3519	этаж 1	3	Сушильно-лавильная	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	5,15 м²	15,46 м³
64.35.053575.3520	этаж 1	4	Коридор	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	49,45 м²	148,34 м³
64.35.053575.3521	этаж 1	5	Спальня	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	13,17 м²	39,50 м³
64.35.053575.3522	этаж 1	6	Электрик	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	2,13 м²	6,40 м³
64.35.053575.3523	этаж 1	7	Сантехник	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	2,46 м²	7,38 м³
64.35.053575.3524	этаж 1	8	Игровые комнаты	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	56,65 м²	169,95 м³
64.35.053575.3525	этаж 1	9	Игровые комнаты	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	13,53 м²	39,59 м³
64.35.053575.3526	этаж 1	10	Игровые комнаты	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	56,65 м²	169,95 м³
64.35.053575.3527	этаж 1	11	Коридор	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	49,45 м²	148,34 м³
64.35.053575.3528	этаж 1	12	Массо-рыбный цех	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	5,15 м²	15,46 м³
64.35.053575.3529	этаж 1	13	Загрязненная	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	2,33 м²	6,99 м³
64.35.053575.3530	этаж 1	14	Тамбур	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	5,30 м²	15,90 м³
64.35.053575.3531	этаж 1	15	Групповая	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	15,04 м²	45,12 м³
64.35.053575.3532	этаж 1	16	Коллекционная	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	2,13 м²	6,40 м³
64.35.053575.3533	этаж 1	17	Мясная	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	2,46 м²	7,38 м³
64.35.053575.3534	этаж 1	18	Тамбур	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	6,12 м²	18,35 м³
64.35.053575.3535	этаж 1	19	Горячий цех	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	21,06 м²	63,18 м³
64.35.053575.3536	этаж 1	20	Актовый зал	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	228,19 м²	684,56 м³
64.35.053575.3537	этаж 1	21	Коридор	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	261,75 м²	785,25 м³
64.35.053575.3538	этаж 1	22	Мехкабинет	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	10,92 м²	32,77 м³
64.35.053575.3539	этаж 1	23	Групповая	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	11,47 м²	34,41 м³
64.35.053575.3540	этаж 1	24	Групповая	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	19,42 м²	58,27 м³
64.35.053575.3541	этаж 1	25	Групповая	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	8,39 м²	25,18 м³
64.35.053575.3542	этаж 1	26	Коридор	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	30,87 м²	92,60 м³
64.35.053575.3543	этаж 1	27	Групповая	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	15,33 м²	45,99 м³
64.35.053575.3544	этаж 1	28	Групповая	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	8,81 м²	26,42 м³
64.35.053575.3545	этаж 1	29	Групповая	Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Петухова, д. 95/2	0,79 м²	2,37 м³

Рисунок 18 – Результаты автоматического вычисления параметров BIM-модели

Продemonстрированный пример автоматического заполнения сведений об основных характеристиках помещений соответствует структуре сведений дей-

ствующей формы XML-схемы (за исключением добавленной колонки рассчитанного объема помещений, что, по нашему мнению, является важной кадастровой характеристикой помещений). При экспорте информационной модели в формат .xml и соответствующей доработке программного обеспечения, используемого для подготовки технических планов объектов недвижимости, сведения из информационной модели могут быть автоматически извлечены в соответствующие поля, что избавит кадастровых инженеров от ряда операций, выполняемых вручную, и приведет к сокращению сроков и стоимости выполнения соответствующих кадастровых работ;

– целостность BIM-модели. Характерной особенностью BIM-технологий является параметрическое моделирование объектов недвижимости, соответственно все связи между элементами и объектами задаются с помощью параметров, которые можно динамически менять (примеры традиционного поэтажного плана и параметрически связанного из BIM-модели приведены на рисунке 19).

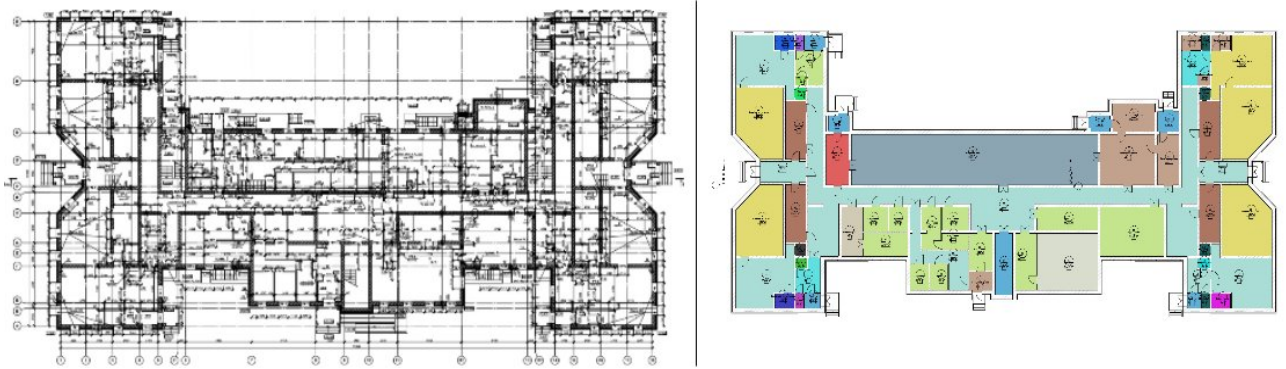


Рисунок 19 – Традиционное и информационное решения при формировании проектных данных

Таким образом, в случае внесения изменений в BIM-модель (например, при перепланировке квартиры) все изменения в поэтажные планы и расчеты характеристик помещений произойдут в автоматическом режиме, что практически исключает возможность совершения ошибок. Также, помимо сведений о самих объектах недвижимости, BIM-модели могут содержать в себе данные об инженерных

коммуникациях и других системах различного назначения, связанных с объектами, таким образом, устраняется проблема разрозненности данных в моделях, актуальная на сегодняшний день.

Тахеометрическая съемка. Существующий порядок выполнения кадастровых работ в отношении «внутренней модели» объекта недвижимости (помещений) предусматривает описание помещений путем выполнения обмеров, а не координирования таких объектов [57]. В то же время, при создании 3D-кадастра на территории РФ целесообразно изучить вопрос оценки точности координирования помещений различной формы, поскольку они являются самостоятельными объектами недвижимости, и в ряде 3D-кадастров зарубежных стран предусмотрен соответствующий порядок выполнения таких работ [102, 140]. В исследовании рассмотрены два вида помещений: стандартной (прямоугольной) и нестандартной (произвольной) формы.

При принятии гипотезы о правильной геометрической фигуре, образованной стенами помещения (квадрат или прямоугольник), площадь вычисляется по элементарной геометрической формуле:

$$P = a \cdot b, \quad (7)$$

где a и b – длина и ширина помещения соответственно.

Продифференцировав формулу по двум переменным и считая их независимыми величинами, получим уравнение для вычисления средней квадратической ошибки площади прямоугольника:

$$m_p^2 = a^2 \cdot m_b^2 + b^2 \cdot m_a^2. \quad (8)$$

Установим нормативное значение точности определения в зависимости от площади геометрической фигуры. Для этого воспользуемся значением коэффициента $t = 0,10$, предложенным в работе [1]. Такое значение соответствует «критерию ничтожного влияния» и, по нашему мнению, является оптимальной

величиной, определяющей соотношение между качеством выполняемой работы и трудозатратами на ее реализацию.

Принимая гипотезу о равнозначности измерений и подставляя вместо m_p принятое нормативное значение, получаем следующую формулу для вычисления необходимой точности измерений:

$$\Delta_p^2 = a^2 \cdot m_b^2 + b^2 \cdot m_a^2 = m_L^2(a^2 + b^2), \quad m_L = \frac{\Delta_p}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{0,10 \cdot P}{\sqrt{a^2 + b^2}}. \quad (9)$$

Более сложная ситуация возникает в случае, когда гипотезу о правильной геометрической фигуре помещения принять нельзя. Это имеет место при исполнительной съемке, когда качество строительства подвергается тщательному контролю или когда в соответствии с проектом помещение имеет произвольную конфигурацию. Для этого варианта площадные и геометрические характеристики целесообразно определять в результате координирования по способу свободной станции в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 20.

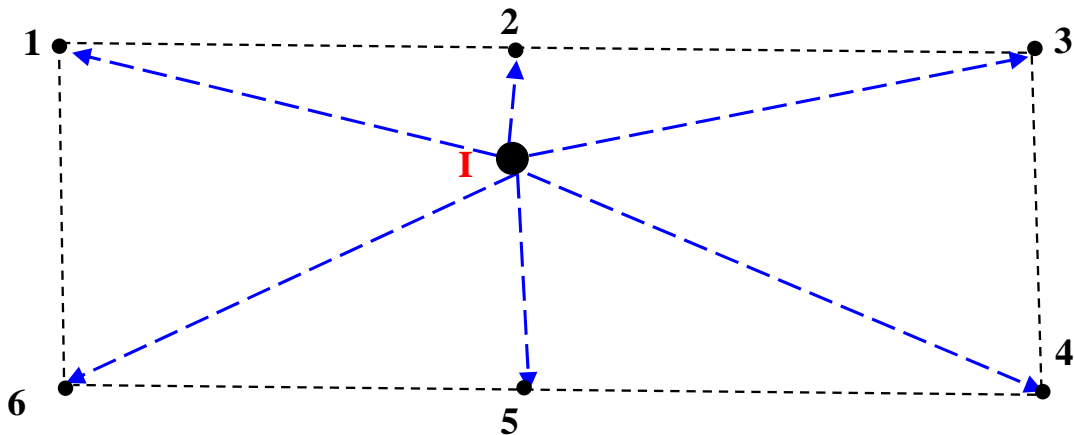


Рисунок 20 – Схема координирования помещения свободной конфигурации

Если с одной точки стояния тахеометра нет видимости на все определяемые характерные точки, предлагается использовать следующую схему, представленную на рисунке 21.

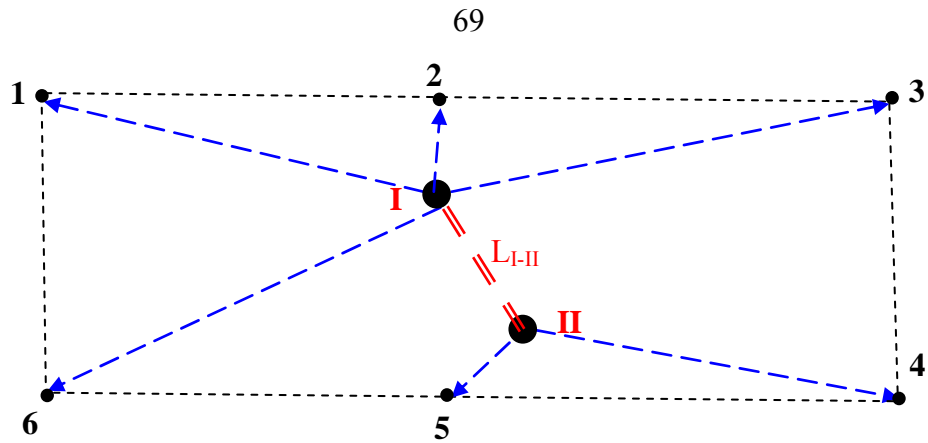


Рисунок 21 – Схема координирования помещения произвольной конфигурации с двух точек установки тахеометра

Для представленных схем координирования площадь помещения вычисляется по следующей известной аналитической формуле:

$$2P = \sum_1^n (Y_{I+1} - Y_{I-1}) X_I, \quad (10)$$

а точность ее вычисления – в соответствии со следующим уравнением:

$$m_P = \frac{\mu}{2} \sqrt{\sum_{I=1}^n (Y_{I+1} - Y_{I-1})^2 Q_{X_I} + \sum_{I=1}^n X_I^2 (Q_{Y_{I+1}} + Q_{Y_{I-1}} - 2Q_{Y_{I+1} Y_{I-1}})}, \quad (11)$$

где X_I, Y_I – координаты характерной точки помещения;

I – текущий номер характерной точки;

n – число характерных точек;

Q_X – диагональные элементы матрицы весовых коэффициентов, характеризующие точность определения координат характерных точек;

μ – средняя квадратическая ошибка единицы веса, принимаемая равной точности угловых измерений при координировании.

Установим СКО определения площади как нормативно заданное значение μ , выразив в этом уравнении неизвестное значение μ , получим

$$\mu = \frac{2 \cdot 0,10 \cdot P}{\sqrt{\sum_{I=1}^n (Y_{I+1} - Y_{I-1})^2 Q_{X_I} + \sum_{I=1}^n X_I^2 (Q_{Y_{I+1}} + Q_{Y_{I-1}} - 2Q_{Y_{I+1} Y_{I-1}})}}. \quad (12)$$

Представим СКО характерной точки в виде известной формулы и, принимая гипотезу о равенстве ошибок по осям координат и их независимости между собой, имеем:

$$m = \sqrt{m_X^2 + m_Y^2} = \sqrt{\mu^2 Q_X + \mu^2 Q_Y} = \mu \sqrt{Q_X + Q_Y} = \mu \sqrt{2} \sqrt{Q}. \quad (13)$$

Учтем, что при координировании помещений произвольной конфигурации наиболее оптимальным является способ полярных координат [1], получим следующее уравнение:

$$m^2 = m_L^2 + \frac{m_B^2}{\rho^2} \cdot L^2 = 2 \cdot \mu^2 \cdot Q. \quad (14)$$

Применяя к уравнению (14) принцип равного влияния и выражая неизвестный весовой коэффициент, с учетом условия $\mu = m_B$ получим:

$$m_L = \frac{m_B}{\rho} L = \mu \cdot \sqrt{Q} = m_B \cdot \sqrt{Q} \cdot Q = \frac{\rho^2}{L^2}. \quad (15)$$

Подставив полученное значение для Q в формулу (9), получим окончательное уравнение для вычисления необходимой точности измерительного технологического оборудования при координировании помещения произвольной формы:

$$\mu = m_B = m_L = \frac{0,20 \cdot P}{\sqrt{\frac{\rho^2}{L^2} (\sum_{I=1}^n (Y_{I+1} - Y_{I-1})^2 + 2 \sum_I X_I^2)}}. \quad (16)$$

На основании анализа, обобщения и систематизации информации о сущности и характерных особенностях методов формирования трехмерных моделей объектов недвижимости (методов определения координат и высот объекта недвижимости), а также выполненных экспериментальных и теоретических исследований предлагается следующий набор параметров для проведения сравнительного

(компаративного) анализа методов формирования 3D-моделей объектов недвижимости:

- а) уровень и количество моделируемого/моделируемых объекта/объектов недвижимости;
- б) площадь моделируемой территории;
- в) условия съемки (ситуация на местности);
- г) точность моделирования объектов недвижимости;
- д) уровень детализации объектов;
- е) время сбора и обработки данных;
- ж) экономическая эффективность.

Анализируя параметр а), можно отметить, что объекты недвижимости могут располагаться как на одном уровне (подземный – подземные сети, туннели, линии метрополитена и пр.; наземный – дороги, площадки и т. д., надземный – объекты капитального строительства, многоуровневые развязки, газопроводы и пр.), так и на нескольких разных уровнях (здания с подземной парковкой, единые недвижимые комплексы и др.).

При моделировании подземных объектов по данному параметру рекомендуется использовать метод НЛС, причем для координирования сканерных позиций на объектах большой площади и протяженности требуется дополнительное использование наземных измерительных приборов (например, электронного тахеометра). Малая распространенность способов ВЛС, БАС и МЛС для съемки объектов, расположенных ниже уровня земли, связана с характерными условиями съемки (для выполнения ВЛС и аэрофотосъемки с БАС необходимо обеспечить прямую оптическую видимость объекта, для МЛС – возможность беспрепятственного перемещения съемочной платформы). Применение BIM-моделирования возможно при наличии проектной документации, полностью соответствующей реальным размерам объекта, с привязкой к существующим опорным межевым сетям.

Выбор метода моделирования объектов наземного и надземного уровня напрямую зависит от параметров б) и в) и от количества таких объектов. Многооб-

разие форм организации пространства, особенно городских территорий, не позволяет выделить единый подход к моделированию объектов недвижимости, соответственно, автором сформулированы лишь общие рекомендации по данному вопросу. На наш взгляд, по параметрам б) и в) для создания трехмерных моделей отдельных зданий следует применять наземное лазерное сканирование, тахеометрическую съемку, беспилотные авиационные системы либо BIM-моделирование; для городских территорий – воздушное лазерное сканирование; протяженных объектов, к которым обеспечен проезд, – мобильное лазерное сканирование, без возможности проезда – НЛС или ВЛС; при наличии большого количества навесов, крыш, выступающих конструктивных элементов – НЛС. При оценке оптимальности выбора того или иного метода следует принимать во внимание существующие конструктивные особенности моделируемых объектов.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что по параметру г) все рассматриваемые методы обеспечивают точность определения координат характерных контуров объектов недвижимости [56]. Уровень детализации 3D-модели (параметр д)) зависит от количества сканерных позиций (НЛС), ситуации на местности (крыши, навесы, и пр. – ВЛС), выбора маршрута и растительности, окружающей объект недвижимости (БАС), обеспечения возможности проезда вокруг объекта (МЛС), качества проектной документации (BIM-моделирование).

Оценка параметров е) и ж) также проводилась на основании конкретных проектов, оборудования и программного обеспечения. Для обеспечения корректности сравнения по параметру е), для BIM-моделирования рассматривается время, затраченное на формирование модели по готовой строительной документации, а не на ее разработку и корректировку в процессе строительства, что существенно сокращает временные затраты. На основании анализа результатов выполненных исследований был сделан вывод, что для моделирования отдельных объектов недвижимости наиболее целесообразно использовать БАС.

Основные результаты проведенного сравнительного анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительный анализ методов 3D-моделирования объектов недвижимости

Параметр (включая детализацию)		Лазерное сканирование			БАС	BIM- моделирование	Тахеометрическая съемка
		НЛС	ВЛС	МЛС			
а)	Подземный уровень	+	-	-	-	+	+
	Наземный, надземный уровень	+	+	+	+	+	+
	Совокупность уровней	+	+	-	+	+	+
б)	Отдельно стоящий объект	+	-	-	+	+	+
	Линейные объекты	-	-	+	+	-	-
	Квартал	-	-	-	+	-	-
	Город	-	+	-	+	-	-
в)	Наличие большого количества нависающих элементов	+	-	-	-	-	+
	Ограниченный доступ к объекту	-	-	-	+	-	-
	Наличие растительности, ограничивающей видимость	+	+	-	-	-	+
г)	В плане (эксперимент)	0,058 м	0,090 м*	н. д.	0,020 м	н. д.	н. д.
	По высоте (эксперимент)	0,017 м	0,160 м*	н. д.	0,040 м	н. д.	н. д.
д)	LoD 0 – LoD 2	+	+	+	+	+	+
	LoD 3	+	+	-	+	+	+
	LoD 4	-	-	-	-	+	+
е)	Время сбора данных, не включая координирование сканерных позиций/пунктов ПВО	2 часа (Leica ScanStation 2)	н. д.	н. д.	0,33 часа (DJI Phantom 4)	н. д.	н. д.
	Время обработки данных, включая формирование 3D-модели	8 часов (Bentley Microstation)	н. д.	н. д.	5 часов (Agisoft Photoscan)	14 часов (Autodesk Revit)	н. д.
ж)	Средняя стоимость оборудования, млн руб.	5.0 (снят с производства)	40.0 (RIEGL 1-VUX)	80.0 (RIEGL VMX-250)	0,10	н. д.	0,40 (Leica TS 02, 5)

Примечания

* – по материалам исследований, представленных в работе Kumar [123];

н. д. – нет данных.

В результате анализа данных, представленных в таблице 4, можно сделать следующие выводы:

– наибольшее влияние на выбор метода 3D-моделирования объекта/объектов недвижимости оказывают параметры а), б), в). Многообразие форм и типов застройки, характеристик объектов и внешних факторов не позволяет сделать однозначный выбор того или иного метода. На наш взгляд, с учетом современного состояния вопроса создания 3D-кадастра на территории России, наибольшую актуальность для формирования и последующего государственного кадастрового учета трехмерных моделей объектов недвижимости представляют собой отдельно стоящие многоэтажные здания сложной конфигурации (например, здание Технопарка, расположенное в г. Новосибирске) и индивидуальные жилые дома (с августа 2018 г. требуется корректное определение высоты такого объекта) [15]. С учетом данного положения, по параметрам а), б), в) наиболее подходящими методами являются НЛС, БАС, BIM-моделирование и тахеометрическая съемка;

– плановая точность получаемых 3D-моделей, вне зависимости от применяемого метода (в рамках проведенных исследований), удовлетворяет требованиям к определению координат характерных точек объектов недвижимости для земель населенных пунктов – не более 0,10 м (требования к точности по высоте законодательством не установлены) [56]. Однако, для подтверждения полученных результатов требуется проведение дальнейших исследований для объектов большей площади, разной конфигурации, с различной степенью застроенности территории и погодными условиями, с использованием разнообразных методов 3D-моделирования объектов недвижимости;

– все методы соответствуют уровням детализации LoD 0 – LoD 3, установленным международным стандартом CityGML [125] (за исключением МЛС). Данный уровень предполагает полноценное описание всех конструктивных элементов объектов недвижимости. Уровень детализации LoD 4, включающий дополнительно данные о внутреннем содержании модели, наиболее целесообразно строить на основе BIM-моделирования либо методом тахеометрической съемки;

– наиболее оптимальными методами 3D-моделирования по параметрам е) и ж) является использование современных БАС. При точности, сопоставимой с НЛС, время получения данных и стоимость БАС существенно ниже при идентичном времени обработки данных.

Таким образом, на основании совокупности параметров, влияющих на выбор метода 3D-моделирования объектов недвижимости, и предположении о первоочередности наполнения базы ЕГРН 3D-моделями многоэтажных зданий со сложной конфигурацией и индивидуальных жилых домов можно сделать вывод об использовании беспилотных авиационных систем (с использованием тахеометрической съемки для моделирования внутренних помещений объекта недвижимости и определения координат характерных точек, находящихся под навесами и перекрытиями) в качестве приоритетного метода для современных условий кадастра РФ (не исключая возможность использования остальных методов).

Основные выводы по разделу 2

В результате теоретических и экспериментальных исследований получены следующие научные результаты:

– на основании формализованного представления структуры и содержания 3D-модели объектов недвижимости выделены компоненты, которые зависят от мерности кадастра: кадастровые номера объектов, пространственная модель объекта, правовая (юридическая) модель объекта недвижимости;

– предложено увеличение разрядности кадастрового номера, обеспечивающее отражение мерности модели объекта недвижимости;

– составлены схемы, показывающие место 3D-модели и информационного процесса 3D-моделирования объектов недвижимости в ЕГРН;

– предложены формулы для вычисления необходимой точности измерительного технологического оборудования при координировании помещений прямоугольной и произвольной формы;

– на основании сравнительного анализа методов получения пространственной модели объектов недвижимости путем исследования международной практики выполнения кадастровых работ предложен набор параметров, влияющих на выбор метода 3D-моделирования объектов недвижимости;

– обосновано требование к расположению точек стояния наземного лазерного сканера (оно должно быть в непосредственной близости к выступающим конструктивным элементам объекта недвижимости);

– доказано, что при использовании БАС вертолетного типа с неметрической камерой точность 3D-модели не зависит от высоты съемки (в диапазоне от 30 до 100 м);

– определено наиболее необходимое на данном этапе направление выполнения работ по 3D-кадастру с учетом современных условий России – трехмерное моделирование многоэтажных зданий со сложной конфигурацией и индивидуальных жилых домов;

– для получения пространственных 3D-моделей приведенных видов объектов недвижимости целесообразнее всего применять совокупность беспилотных авиационных систем и тахеометрической съемки (не исключая возможность использования остальных методов).

3 ИССЛЕДОВАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

3.1 Выработка критериев оценки и классификация 3D-моделей объектов недвижимости

В соответствии со схемой информационного представления процесса 3D-моделирования объектов недвижимости в ЕГРН, приведенной в приложении В, после получения каталога координат и высот характерных точек, описывающих контуры объектов недвижимости (x, y, H) , необходимо перейти к блоку формирования 3D-модели объекта недвижимости. В результате анализа результатов зарубежных научных исследований [93, 102, 103, 105, 112–114, 134] такой блок можно представить в виде укрупненной технологической схемы, приведенной на рисунке 22.



Рисунок 22 – Схема формирования 3D-модели объекта недвижимости

Анализируя данные, приведенные на рисунке 22, можно сделать следующие выводы:

– информация об основных методах сбора пространственной информации об объекте недвижимости подробно рассмотрена в 2.2 диссертационного исследования;

– на основании результатов сравнительного анализа методов 3D-моделирования объектов недвижимости, представленного в таблице 4, можно отметить, что на начальном этапе создания 3D-кадастра на территории России наиболее целесообразно формировать трехмерные модели с уровнем детализации LoD 3. В то же время, при наличии соответствующей BIM-модели, возможен уровень детализации LoD 4;

– этап интеграции 3D-модели в кадастровую систему обладает своей спецификой относительно каждой страны. Для России такой этап в достаточной мере описан в блоке «Подготовка технического плана и внесение сведений в ЕГРН» схемы, представленной в приложении В;

– этапы моделирования объекта недвижимости (в соответствии с его видом) и его трансформации в соответствии с различными особенностями конкретной страны требуют выполнения исследований и формирования рекомендаций для условий РФ (см. 3.1–4.1 диссертационной работы).

Главным принципом представления объектов недвижимости в виде 3D-моделей, вне зависимости от вида и формы моделирования таких объектов, является использование вершин, ребер ограничивающих поверхностей и ограничивающих поверхностей, в отличие от описания с помощью точек, линий и полигонов, используемых в традиционных двухмерных кадастрах.

В соответствии с международным стандартом LADM [108], под *вершиной* понимается место пересечения одной или более ограничивающих поверхностей (или ребер); *ребро ограничивающей поверхности (ребро)* – часть ограничивающей поверхности, образующая границу пространственного объекта (представляется в виде двухмерных отрезков, ограниченных вершинами); *ограничивающая по-*

верхность – поверхность, используемая в трехмерном отображении границы пространственного объекта (либо не ограничена, либо ограничивается соответствующими ребрами). На рисунке 23 представлен пример, иллюстрирующий сущность приведенных понятий.

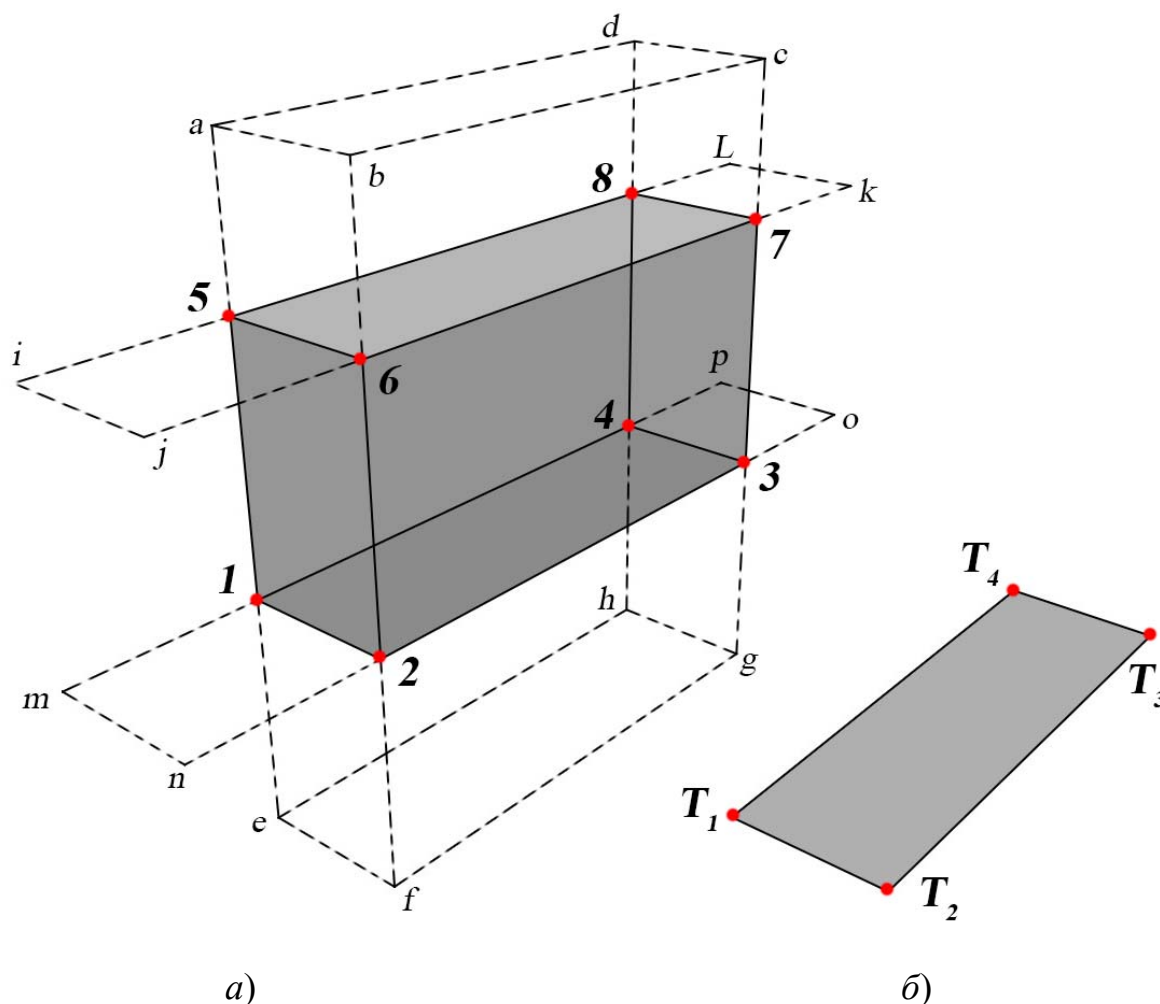


Рисунок 23 – Моделирование объекта недвижимости в кадастре:

а) 3D-модель, образованная вершинами, ребрами и ограничивающими поверхностями; б) 2D-модель

На рисунке 23 приняты следующие обозначения для отображения объекта недвижимости:

– в 2D-кадастре:

T_1 – точка;

T_1T_2 – линия, отрезок между точками T_1 и T_2 ;

$T_1T_2T_3T_4$ – полигон, образованный пересечением линий T_1T_2 , T_2T_3 , T_3T_4 , T_4T_1 ;
– в 3D-кадастре:

$abcd$, $efgh$, $ijkl$, $mnpq$ – ограничивающие поверхности;

$1-2$, $2-3$, $3-4$, $4-1$, $3-7$, $4-8$, $1-5$, $2-6$, $5-6$, $6-7$, $7-8$, $8-5$ – ребра ограничивающих поверхностей, получаемые в результате пересечения соответствующих ограничивающих плоскостей, например, $1-2 = (mnpq) \cap (abfe)$;

$1-8$ – вершины, образованные соответствующие местам пересечения ребер, например, ребер $1-2$ и $1-5$.

Описание криволинейных границ при 3D-моделировании выполняется аналогичным образом, кривая аппроксимируется на множество ребер ограничивающих поверхностей, количество которых зависит от особенностей и законодательства конкретной страны.

Таким образом, можно сделать вывод, что объект недвижимости любой формы может быть представлен в кадастре в виде его трехмерной модели, состоящей из совокупности вершин, ребер и ограничивающих поверхностей.

На основании анализа зарубежной научно-технической литературы [105, 112–114, 134] можно выделить пять основных типов 3D-моделирования объектов недвижимости на основе вершин, ребер и ограничивающих поверхностей:

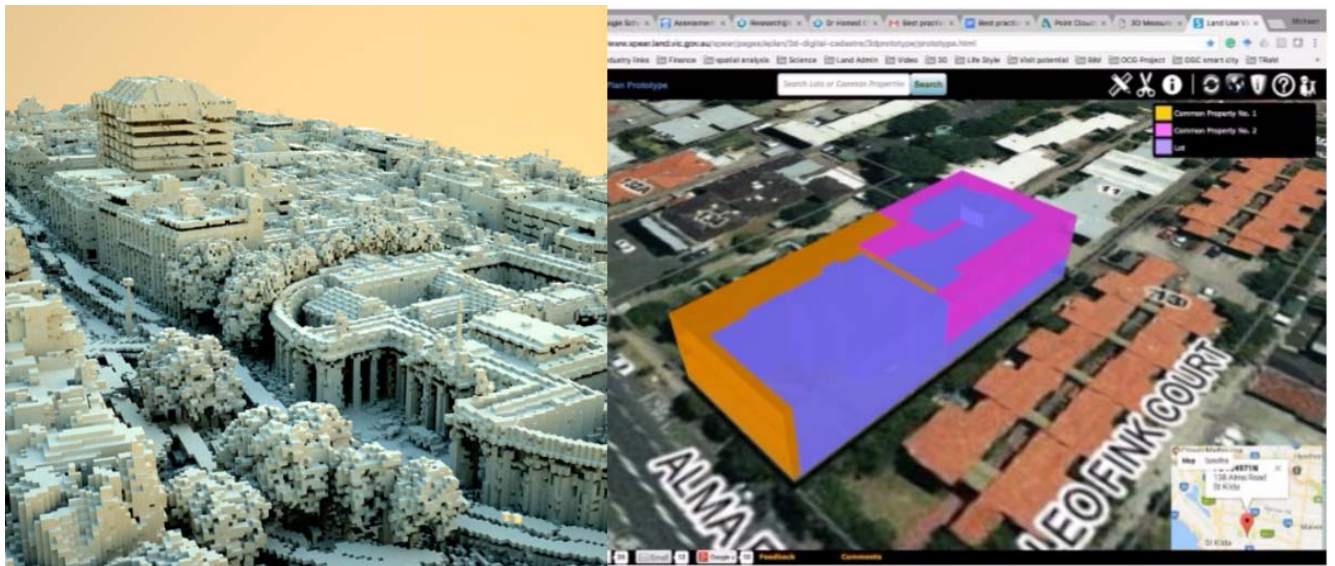
- модели, основанные на объемном представлении (Decomposition models);
- строительные модели (Constructive models);
- модели, основанные на выдавливании наземного контура;
- ограничивающие модели (Boundary models);
- модели, построенные на основе массивов (облаков) точек (Point Clouds models).

Рассмотрим сущность, характерные особенности и область применения перечисленных методов относительно моделирования таких объектов недвижимости, как здания, сооружения и объекты незавершенного строительства.

1 Модели, основанные на объемном представлении.

При использовании данного метода, трехмерную модель объекта недвижимости получают путем объединения вокселей (voxel), либо полиэдров (polyhedron).

Под вокселем понимается 3D-единица в форме куба или сферы, каждый элемент которого занимает одно (или более) значение типа данных (логическое, реальное). Данный тип моделирования применяется, в основном, при моделировании типовых зданий правильной геометрической формы либо больших площадных объектов. Пример представления различных объектов недвижимости с помощью вокселей приведен на рисунке 24.



a)

б)

Рисунок 24 – 3D-моделирование с помощью вокселей:

a) цифровая модель г. Дублина, Ирландия; *б)* здание школы (Австралия)

Формирование 3D-моделей объектов недвижимости с помощью полиэдров происходит аналогично. Ключевым отличием является форма примитивов: если у вокселя это куб или сфера, то у полиэдра – тетраэдры, додекаэдры, икосаэдры и пр. [134].

К основным достоинствам моделей, основанных на объемном представлении (с использованием вокселей и полиэдров), можно отнести удобную конфигурацию для вычисления объемов, создания срезов у типовых зданий. К недостаткам – большой объем данных, «грубость» моделируемого объекта и ограничен-

ную возможность применения относительно объектов недвижимости со сложной конфигурацией.

2 Строительные модели.

При моделировании объектов недвижимости с использованием данного метода применяется принцип строительной твердотельной геометрии (CSG – constructive solid geometry), заключающийся в структурировании объекта как набора логических операций (объединение, пересечение, сопряжение, вычитание и пр.) над телами (твердотельными примитивами) – кубами, сферами, цилиндрами и др. [83].

Пример 3D-модели, сформированной на основе использования строительных моделей, продемонстрирован на рисунке 25.

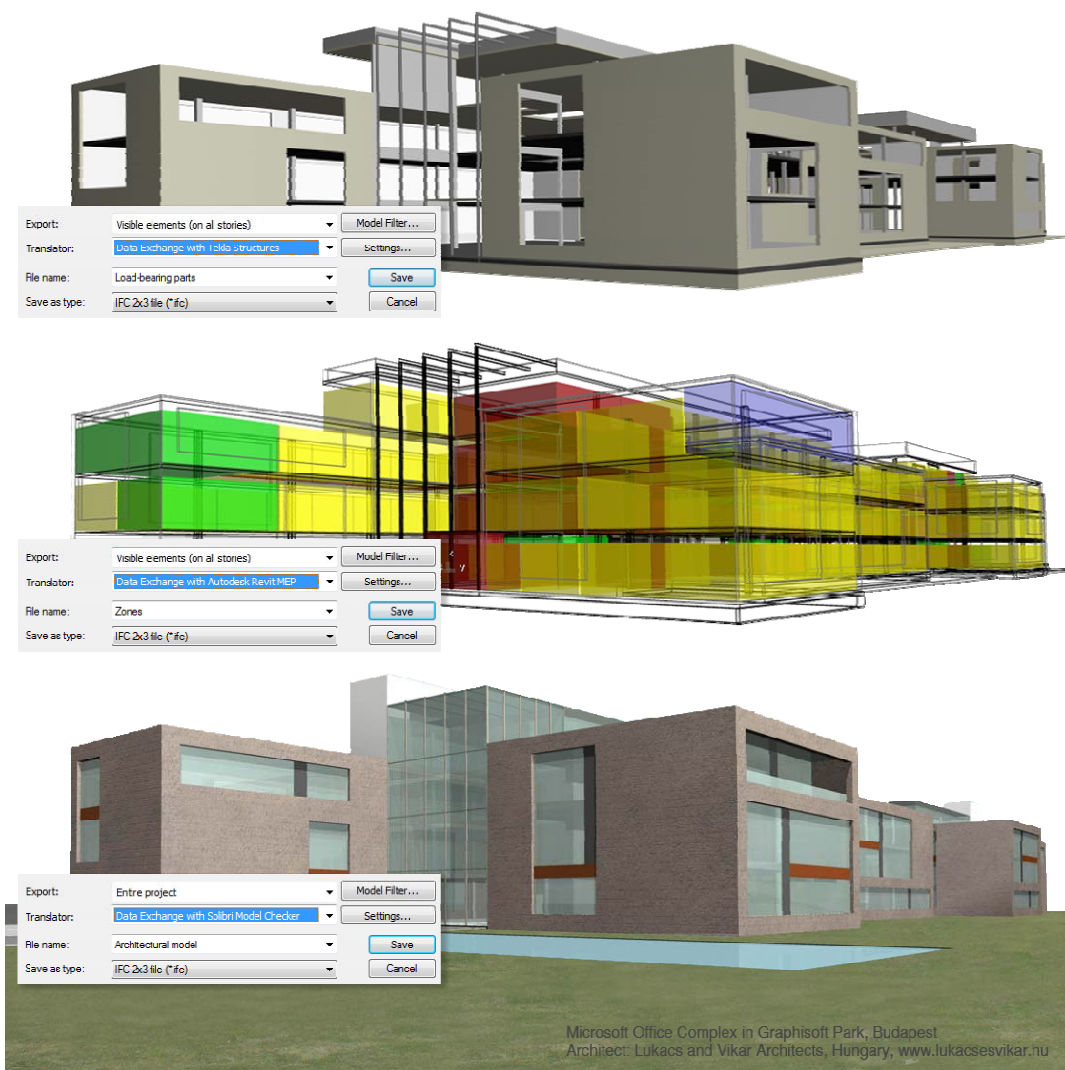


Рисунок 25 – 3D-модель здания на основе строительных моделей (Венгрия)

Преимуществами строительных моделей являются относительная легкость их моделирования с помощью примитивов, удобство вычисления характеристик объекта недвижимости (линейные, площадные и объемные).

К недостаткам строительных моделей можно отнести сложность построения логической цепочки операций над телами, на основании которой формируется 3D-модель, и ограниченность применения относительно объектов со сложной конфигурацией. Таким образом, можно сделать вывод, что данный метод, подобно моделированию на основе объемного представления, обладает серьезными ограничениями и не получил массового применения в кадастрах различных стран.

3 Модели, основанные на выдавливании наземного контура.

В основе данного метода лежит формирование наземного контура, ограниченного вершинами и ребрами, и его выдавливание по направляющей вверх (для наземного контура) и вниз (для подземного контура). В качестве ограничивающей поверхности выступает плоскость (плоскости), проходящая (проходящие) на заданной высоте или глубине.

Пример 3D-моделирования, основанного на выдавливании наземного контура приведен на рисунке 26.

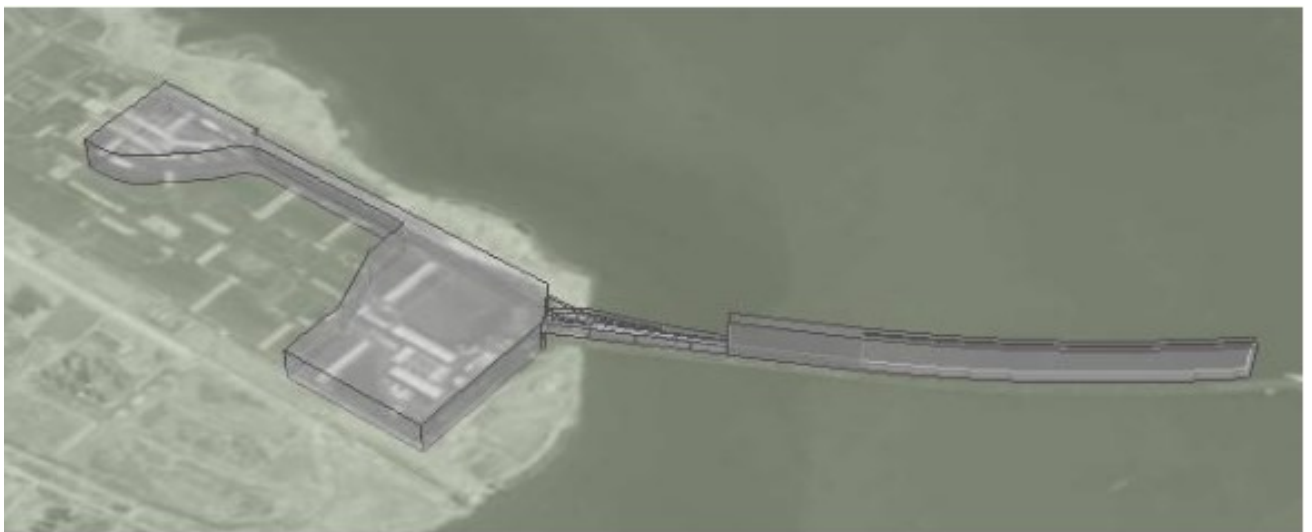


Рисунок 26 – 3D-модель порта, полученная методом «выдавливания» (Китай)

Основными преимуществами данного метода являются быстрота формирования 3D-модели, наглядная визуализация и быстрота получения трехмерных характеристик модели.

К недостаткам метода выдавливания можно отнести недостаточную точность моделирования объектов недвижимости со сложной конфигурацией, нависающими конструктивными элементами и пр.

Такое решение применяется, как правило, в 3D-кадастрах развивающихся стран, а также при формировании 3D-моделей объектов простой конфигурации (например, в Китае).

4 Ограничивающие модели.

Данный метод получил широкое распространение в мировой практике. В основе ограничивающих моделей лежит использование структурированной коллекции низкоразмерных элементов (вершины, грани, ребра, поверхности) для получения 3D-моделей объектов недвижимости.

Выделяют два основных вида ограничивающих моделей: простое представление (плоские грани, прямые линии) и сложное представление (криволинейные поверхности и ребра). Независимо от вида представления, при формировании 3D-модели с применением данного метода используются три основных правила для проверки модели на самопересечения, пустые пространства в модели и пр.:

- грани и ребра представляют отдельные классы;
- ребра не пересекаются, кроме общих вершин;
- грани не пересекаются, кроме общих вершин и ребер.

Пример моделирования объекта недвижимости с помощью ограничивающих моделей приведен на рисунке 27.

К достоинствам данного метода относится максимальная детализация всех конструктивных элементов объектов недвижимости любой конфигурации, широкая распространенность среди программных продуктов для 3D-моделирования, такие модели максимально понятны для их дальнейшего предоставления заинтересованным сторонам (гражданам, налоговой службе, органам государственной и муниципальной власти и пр.).



Рисунок 27 – 3D-модель торгового центра, сформированная на основе ограничивающих моделей (Китай)

К недостаткам метода ограничивающих моделей относятся сложность комбинаторной структуры, а также сложность проверки ограничений допустимости таких моделей.

Решения, основанные на методе ограничивающих моделей, получили наибольшее распространение среди 3D-кадастров различных стран и нашли свое применение в Нидерландах, Китае, Австралии, Хорватии и др.

5 Модели, построенные на основе массивов (облаков) точек.

В основе данного метода 3D-моделирования лежит обработка ручным или полуавтоматическим способом массива (облака) точек, выбор соответствующих точек из облака в качестве вершин модели и формирование на их основе ограничивающих плоскостей, описывающих объект недвижимости. Схематически процесс получения трехмерной модели из облака точек приведен на рисунке 28.

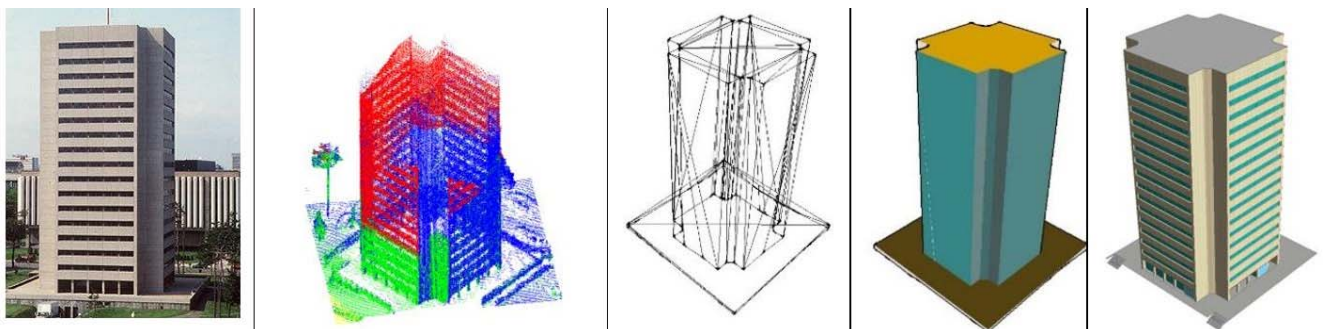


Рисунок 28 – Этапы построения 3D-модели на основе облака точек

Стоит отметить, что общий принцип формирования трехмерной модели объекта недвижимости совпадает с методом ограничивающих моделей, соответственно обладает схожими достоинствами и недостатками. Кроме того, при использовании такого метода существует необходимость обработки результатов в нескольких программных продуктах для 3D-моделирования в связи с существующим противоречием между форматом данных облака точек и результатом – трехмерной моделью объекта недвижимости.

Несмотря на это, такое решение используется в 3D-кадастре Сингапура, Канады и ряде других стран [100, 110].

В результате выполненного анализа основных типов 3D-моделирования объектов недвижимости на основе вершин, ребер и ограничивающих поверхностей можно сделать вывод, что для формирования трехмерных моделей зданий, сооружений и объектов незавершенного строительства (в том числе сложной конфигурации) наиболее эффективным решением является метод ограничивающих моделей, получивший широкое распространение в 3D-кадастрах различных стран.

Рассматривая варианты формирования 3D-моделей помещений (что соответствует уровню детализации LoD 4), можно выделить два основных решения:

– *на основе существующих BIM-моделей объектов недвижимости* (особенности данного метода подробно рассмотрены в 2.2 диссертационного исследования);

– *моделирование на основе поэтажных планов.*

Несмотря на разные вариации существующих поэтажных планов в кадастрах различных стран [107, 114, 119], в основе данного метода лежит их интеграция во «внешнюю» модель объекта недвижимости, где в качестве ограничивающих поверхностей выступают горизонтальные плоскости, проходящие по середине пола каждого из этажей и дальнейшее трехмерное моделирование путем выдавливания перегородок. Пример такого вида моделирования приведен на рисунке 29.

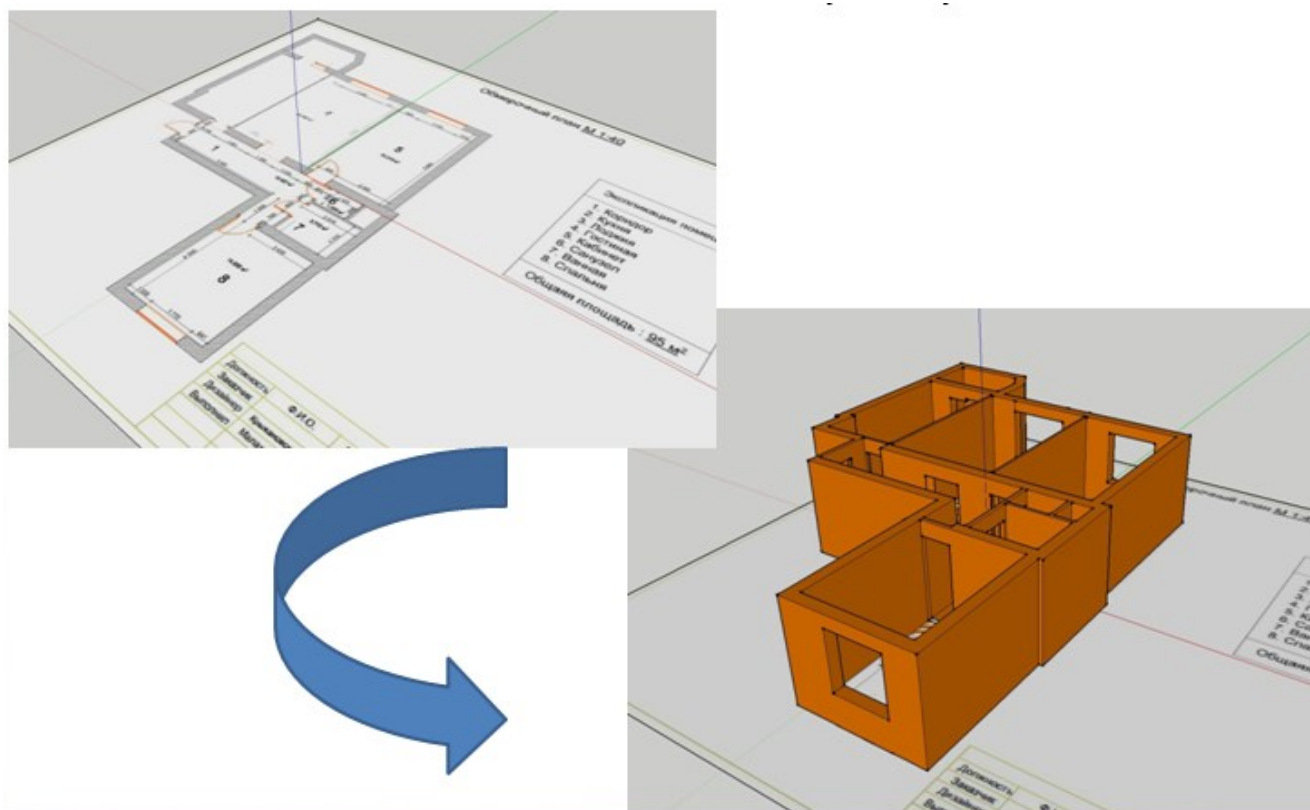


Рисунок 29 – 3D-моделирование помещений с помощью выдавливания

Основным достоинством данного метода является относительная простота выполнения такого вида работы и наглядность модели. В качестве недостатков можно выделить сложность контроля «входимости» внутренней модели (поэтажных планов) во внешнюю модель (3D-модель объекта недвижимости) и зачастую необходимость использования нескольких видов программного обеспечения для 3D-моделирования (разность форматов внутренней и внешней модели).

Исходя из приведенных недостатков, в мировой практике создания 3D-кадастров принято выделять внешние модели (здания, сооружения и объекты незавершенного строительства) и внутренние модели (помещения) в два отдельных реестра. Комбинированный вариант, представляющий объект недвижимости в виде совокупности внешней и внутренней 3D-моделей (LoD 4), используется в случае наличия законодательной возможности интеграции BIM-моделей в кадастр (например, в Китае, Нидерландах и Сингапуре) [94, 103, 137].

Анализ вариантов формирования 3D-моделей линейных сооружений (инженерных коммуникаций) показал, что оптимальным решением является представление данного вида объектов недвижимости в виде мультиполилинии с диаметром. Для обозначения высоты/глубины, на которой проходят коммуникации, целесообразно использовать горизонтальные ограничивающие поверхности. Пример моделирования трубопровода (без указания ограничивающих плоскостей) представлен на рисунке 30.

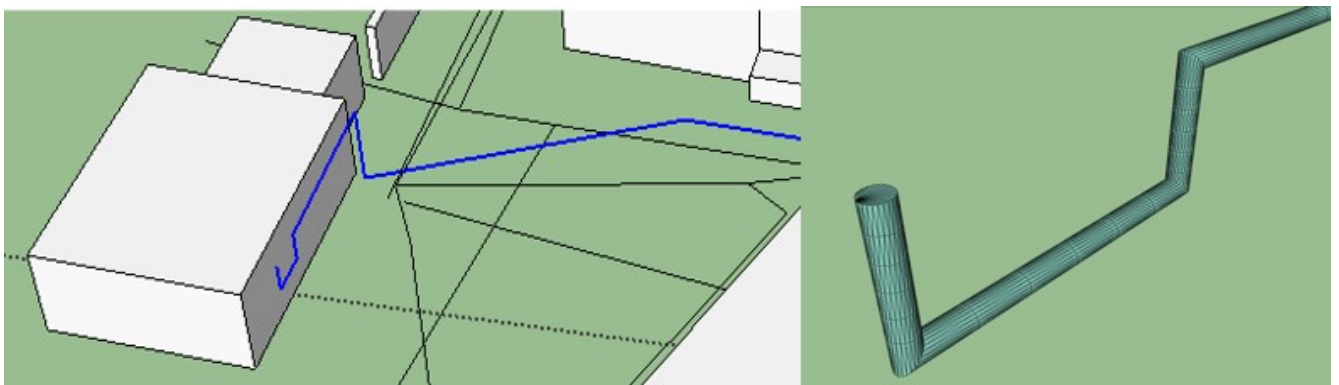


Рисунок 30 – 3D-моделирование трубопровода (Россия)

Достоинством такого метода является возможность моделирования различных типов инженерных коммуникаций по слоям (определяется верхней и нижней ограничивающей поверхностью). Основным недостатком данного метода являются в необходимости хранения большого объема данных о таких объектах недвижимости, расположенных на различной высоте/глубине, что приводит к серьезной нагрузке на кадастровую систему.

В результате систематизации и обобщения информации о типах 3D-моделирования можно сделать следующие выводы:

- в основе формирования внешней модели (уровень LoD 3) зданий, сооружений и объектов незавершенного строительства лежит представление таких объектов в виде совокупности вершин, ребер и ограничивающих поверхностей;
- для моделирования таких объектов недвижимости наиболее эффективно применять метод ограничивающих моделей;

– при формировании 3D-моделей помещений (уровень LoD4) используется метод выдавливания поэтажных планов и данных из BIM-моделей, которые впоследствии (в большинстве случаев) хранятся в различных разделах кадастровой системы (исключение – Китай, Нидерланды, Сингапур);

– для моделирования линейных сооружений (инженерных коммуникаций) принято применять мультиполинии с диаметром, с указанием глубины/высоты с помощью горизонтальных ограничивающих поверхностей.

С учетом выводов, приведенных в 2.2, можно отметить, что наибольший интерес для России представляет детальное исследование вариантов формирования 3D-моделей зданий, сооружений и объектов незавершенного строительства.

На этапе трансформации 3D-модели в соответствии с техническими, юридическими и национальными особенностями конкретной страны возникают серьезные вариации представления сформированной 3D-модели. Используя терминологию, приведенную в работе [93], представим основные варианты формирования 3D-модели объектов недвижимости, применяемые в разных странах:

- модель-отпечаток;
- модель определенной высоты/глубины:
 - а) модель, ограниченная по максимальной высоте/глубине конструктивных элементов;
 - б) модель, заданная высотой/глубиной;
 - модель на основе блоков фиксированной высоты/глубины;
 - модель – однозначный ступенчатый срез;
 - модель – многозначный ступенчатый срез;
 - общая трехмерная модель;
 - модель – «пустое пространство».

Для обеспечения возможности сравнения приведенных вариантов и оценки их пригодности для ЕГРН предлагается следующий набор критериев и критериальных значений [82].

Первым и наиболее важным критерием, на наш взгляд, является *вид системы координат*. Среди множества разнообразных систем координат, в которых осуществляется ведение кадастра, можно выделить два основных вида, которые будут являться критериальными показателями: плоская прямоугольная с высотой/глубиной (x, y, H) и трехмерная пространственная прямоугольная (X, Y, Z) .

В качестве второго критерия рассматривается *точность измерений в плане и по высоте*. Вопросы оценки плановой точности 3D-модели получили широкое освещение в научно-технической литературе и не требуют дополнительных пояснений. В то же время, оценка точности высотной составляющей зависит от ряда факторов: видимость, трудоемкость получения данных и пр. В кадастрах, например, Китая и Нидерландов, оценка измерений производится с одинаковой точностью в плане и по высоте. В большинстве стран наблюдаются различия по данному критерию [2]. Таким образом, предлагаются следующие критериальные показатели: равноточные, разноточные, не определена.

Третьим критерием является *пространственная ориентированность ограничивающих поверхностей, описывающих конструктивные элементы объектов недвижимости*. На основании выводов, приведенных в 3.1, установлено, что границы 3D-модели объектов недвижимости описываются пересечением ограничивающих поверхностей. Конфигурация объекта недвижимости может включать в себя, в том числе, наклонные элементы, которые также требуют описания. Логичным шагом является их представление в виде пересечения горизонтальной/вертикальной и наклонной ограничивающих поверхностей. В то же время, структура базы данных кадастра не всегда предусматривает такую возможность. Соответственно, в качестве критериальных показателей рассматриваются: моделирование с помощью горизонтальных и вертикальных либо горизонтальных, вертикальных и наклонных ограничивающих поверхностей.

Исходя из третьего критерия можно выделить четвертый и пятый критерии: *конфигурация горизонтальных ограничивающих поверхностей и конфигурация вертикальных ограничивающих поверхностей*.

Для горизонтальных ограничивающих поверхностей наиболее оптимальным вариантом является их прохождение через плоскости всех конструктивных элементов объектов недвижимости (многоуровневые) либо через плоскости наиболее выступающих элементов объектов недвижимости (двухуровневые). К двухуровневым вариантам также относят модели, в которых ограничивающие поверхности располагаются на заданной высоте/глубине либо проходят через высшую и низшую точку объекта недвижимости. Наименее распространенной формой является одноуровневое представление, в этом случае горизонтальная ограничивающая поверхность проходит на уровне земной поверхности.

Для вертикальных ограничивающих поверхностей под многоуровневым вариантом принято понимать описание всех конструктивных элементов объектов недвижимости, под двухуровневым – через плоскости наиболее выступающих элементов объектов недвижимости, одноуровневым – через ребра ограничивающих поверхностей, описывающих контур объекта недвижимости.

Таким образом, в качестве критериальных показателей по четвертому и пятому критерию рассматриваются следующие критериальные показатели: одноуровневые, двухуровневые, многоуровневые.

Шестым, заключительным критерием является *степень учета пространства между ограничивающими поверхностями и плоскостью земельного участка/участков, на котором/которых расположен объект недвижимости – «пустое пространство»*. Данный вид модели получил широкое распространение в кадастре Австралии и Китая [93, 103, 112], предназначен для поддержания явной связи [108] между различными объектами недвижимости и служит, в основном, для определения вторичных прав на объект (например, аренда, сервитут и пр.). Критериальные показатели: учитывается либо не учитывается.

Таким образом, набор критериев и критериальных показателей можно рассматривать как классификационные признаки для сравнения вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости (таблица 5).

Таблица 5 – Критерии оценки вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости

Критерий	Критериальный показатель	
Система координат	Плоская прямоугольная (x, y, H)	
	Пространственная прямоугольная (X, Y, Z)	
Точность измерений в плане и по высоте	Равноточные	
	Разноточные	
	Не определена	
Пространственная ориентированность ограничивающих поверхностей, описывающих конструктивные элементы объектов недвижимости	Моделирование с помощью горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей	
	Моделирование горизонтальными, вертикальными и наклонными ограничивающими поверхностями	
Конфигурация горизонтальных ограничивающих поверхностей	<i>Одноуровневые</i>	Совпадают с плоскостью земельного участка
	<i>Двухуровневые</i>	Проходят через высшую и низшую точку объекта недвижимости
		Проходят на заданной высоте/глубине
		Проходят через плоскости наиболее выступающих конструктивных элементов объектов недвижимости
<i>Многоуровневые</i>	Проходят на уровне выступающих конструктивных элементов объекта недвижимости	
Конфигурация вертикальных ограничивающих поверхностей	<i>Одноуровневые</i>	Проходят через ребра ограничивающих поверхностей, описывающих контур объекта недвижимости
	<i>Двухуровневые</i>	Проходят через наиболее выступающие конструктивные элементы объекта недвижимости
	<i>Многоуровневые</i>	Ограничивают все выступающие конструктивные элементы объекта недвижимости
Степень учета пространства между ограничивающими поверхностями и плоскостью земельного участка/участков, на котором/которых расположен объект недвижимости	Учитывается	
	Не учитывается	

Таким образом, в таблице 5 представлены шесть классификационных признаков, которые позволят выполнить корректное сравнение основных вариантов формирования 3D-моделей объектов недвижимости.

3.2 Анализ содержания и структуры пространственных 3D-моделей объектов недвижимости

В соответствии с классификационными признаками, приведенными в таблице 5, выполним сравнительный анализ вариантов формирования 3D-моделей объектов недвижимости и представим результаты в виде соответствующей классификации.

Для увеличения наглядности и демонстрации характерных особенностей и существующих различий при формировании различных вариантов трехмерных моделей выбрано здание со сложной конфигурацией, состоящее из нескольких блоков различной высоты, включая нависающие элементы, представленное на рисунке 31.

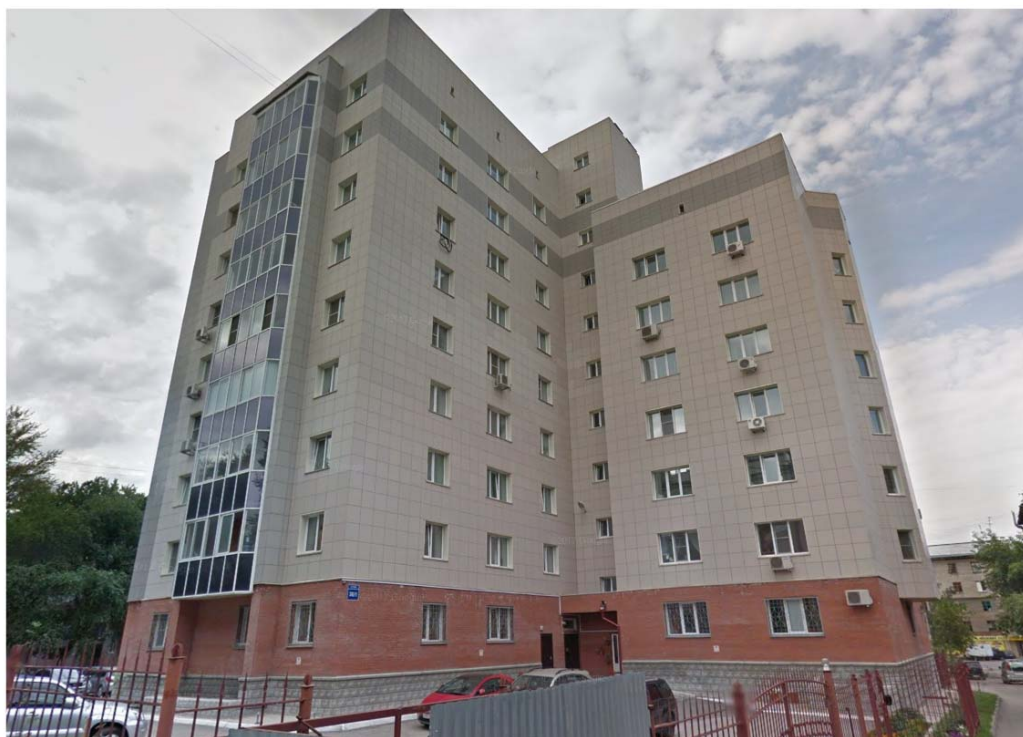


Рисунок 31 – Моделируемый объект – здание со сложной конфигурацией

Для каждого из вариантов приведены соответствующие иллюстрации, отображающие наземную и надземную часть объекта недвижимости (для моделиро-

вания подземной части объектов применяются аналогичные принципы). На рисунках 32–39 с помощью арабской нумерации (1, 2, ... n) отмечены характерные точки контура объекта недвижимости в местах примыкания к поверхности земли, обозначения $T_1, T_2, \dots T_n$ показывают места пересечения ограничивающих плоскостей, формирующих границы 3D-модели.

Рассмотрим более детально варианты формирования 3D-моделей объектов недвижимости, применяемых в зарубежных странах:

– *модель-отпечаток*. Для данной модели координатное описание осуществляется с помощью плоской прямоугольной системы координат на уровне примыкания объекта недвижимости к земельному участку и описывается с помощью множества точек с координатами (x, y, H) , где $H = 0$. Модель представляет собой часть пространства, ограниченного вертикальными гранями без определения верха и низа модели, с одноуровневой конфигурацией горизонтальной ограничивающей поверхности (совпадает с плоскостью земельного участка), равноточность измерений которой в плане и по высоте не определена (рисунок 32);

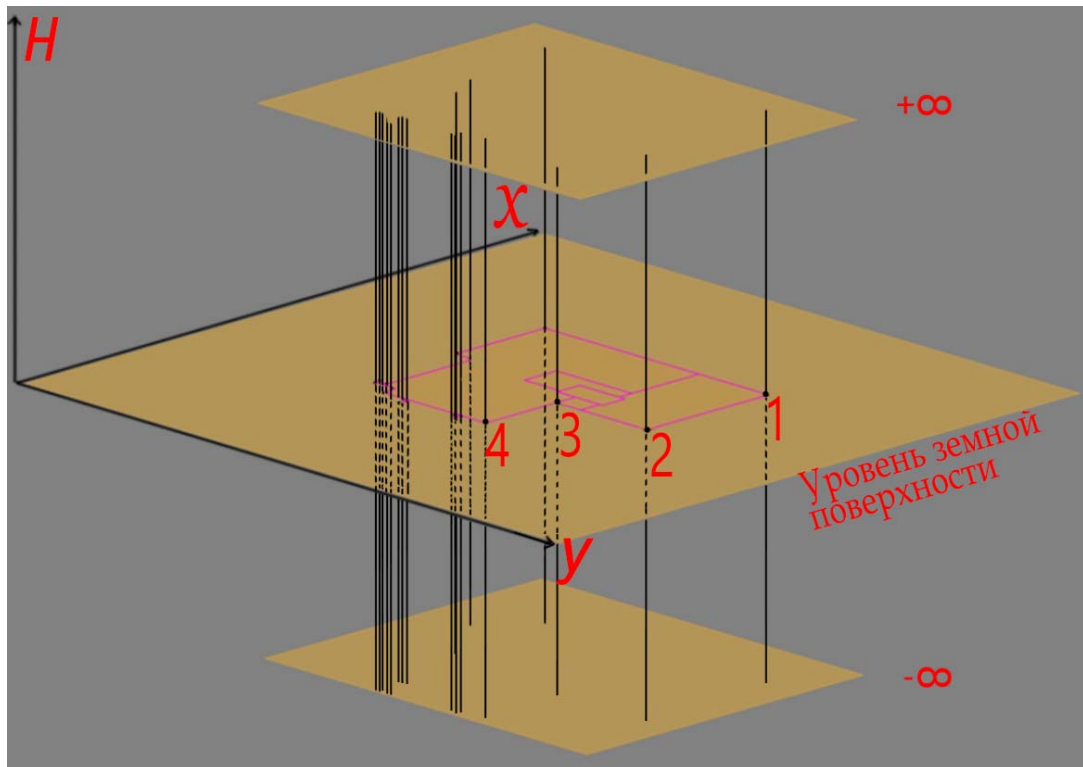


Рисунок 32 – Модель-отпечаток

– модель определенной высоты/глубины:

а) модель, ограниченная по максимальной высоте/глубине конструктивных элементов. Для данной модели координатное описание осуществляется с помощью плоской прямоугольной системы координат и представляет собой множество точек с координатами (x, y, H) , где $H=0$ или $H=H_{\max}$, $H=H_{\min}$. В основе данной модели лежит «выдавливание» контура модели «отпечатка» до горизонтальной ограничивающей поверхности, проходящей на высоте наиболее высокого/глубокого конструктивного элемента объекта недвижимости (ортогонально), вне зависимости от высоты остальных блоков (элементов), что обуславливает разноточность измерений в плане и по высоте. При формировании модели горизонтальные ограничивающие поверхности проходят через высшую и низшую точки объекта недвижимости (двухуровневые), а вертикальные ограничивающие поверхности – через ребра ограничивающих поверхностей, описывающих контур объекта недвижимости (одноуровневые), и не учитывают «пустое пространство» (рисунок 33);

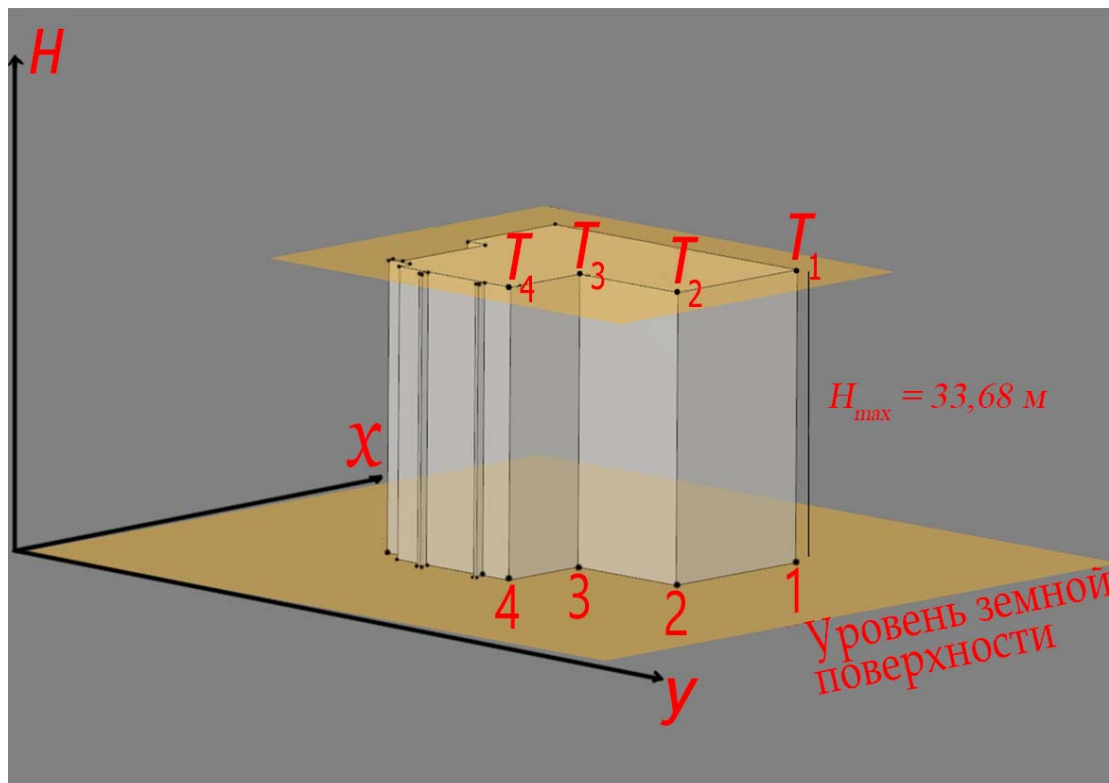


Рисунок 33 – Модель, ограниченная по максимальной высоте/глубине конструктивных элементов

б) модель, заданная высотой/глубиной. Для данной модели координатное описание осуществляется с помощью плоской прямоугольной системы координат и представляет собой множество точек с координатами (x, y, H) , где $H=0$ или $H=\text{const}$. В основе данной модели лежит «выдавливание» контура модели «отпечатка» до горизонтальной ограничивающей поверхности, проходящей на высоте заданной ограничивающей поверхности (ортогонально), вне зависимости от высоты конструктивных элементов объектов недвижимости, что обуславливает разность точности измерений в плане и по высоте. Высота ограничивающей поверхности определяется из требований законодательства в области градостроительства, институциональных и юридических особенностей конкретных стран. При формировании модели горизонтальные ограничивающие поверхности проходят через плоскость земельного участка и заданную плоскость ограничивающей поверхности (двухуровневые), а вертикальные ограничивающие поверхности – через ребра ограничивающих поверхностей, описывающих контур объекта недвижимости (одноуровневые), и не учитывают «пустое пространство» (рисунок 34);

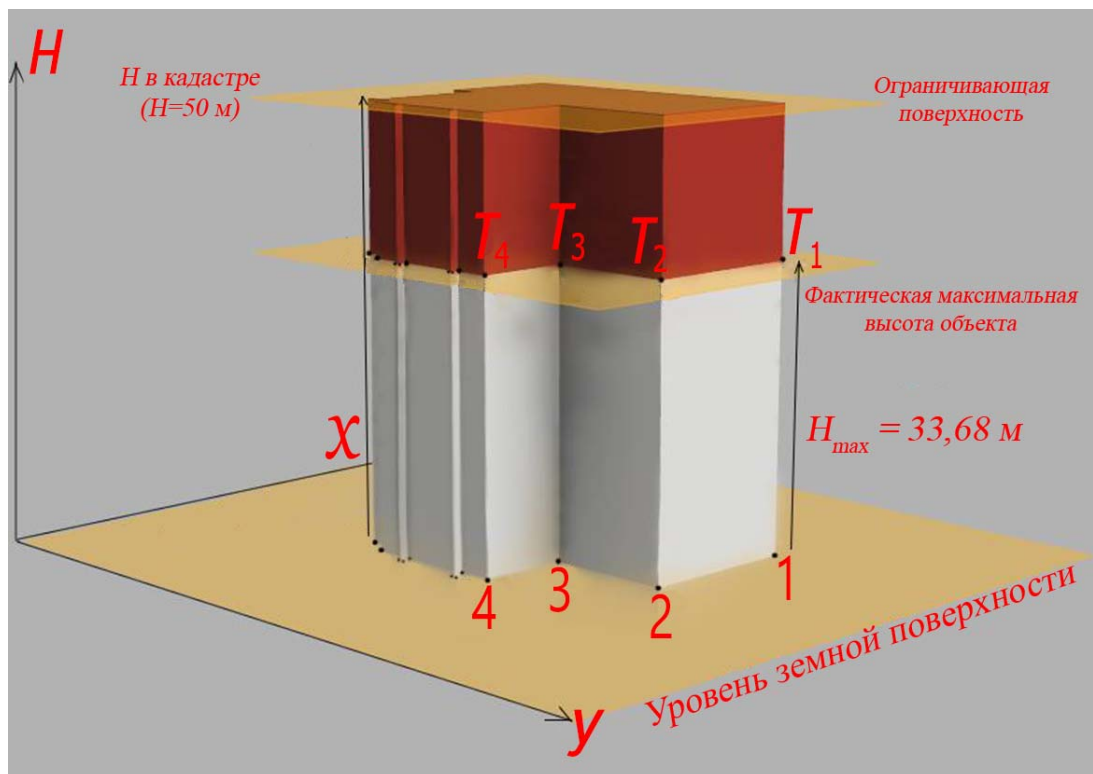


Рисунок 34 – Модель, заданная глубиной/высотой

– модель на основе блоков фиксированной высоты/глубины. Для данной модели координатное описание осуществляется с помощью плоской прямоугольной системы координат и представляет собой множество точек с координатами (x, y, H) , где $H=0$ или $H=h \cdot n$, где h – фиксированная высота этажа, n – номер этажа (как надземного, так и подземного). В основе данной модели лежит принцип «выдавливания» контура модели «отпечатка» до горизонтальных ограничивающих поверхностей, проходящих на уровнях высших отметок блоков объекта недвижимости с различной этажностью (ортогонально), что обуславливает разноточность измерений в плане и по высоте. При формировании модели горизонтальные ограничивающие поверхности проходят через плоскость земельного участка и плоскости ограничивающих поверхностей (двухуровневые), а вертикальные ограничивающие поверхности – через ребра ограничивающих поверхностей, описывающих контур объекта недвижимости (одноуровневые), и не учитывают «пустое пространство» (рисунок 35);

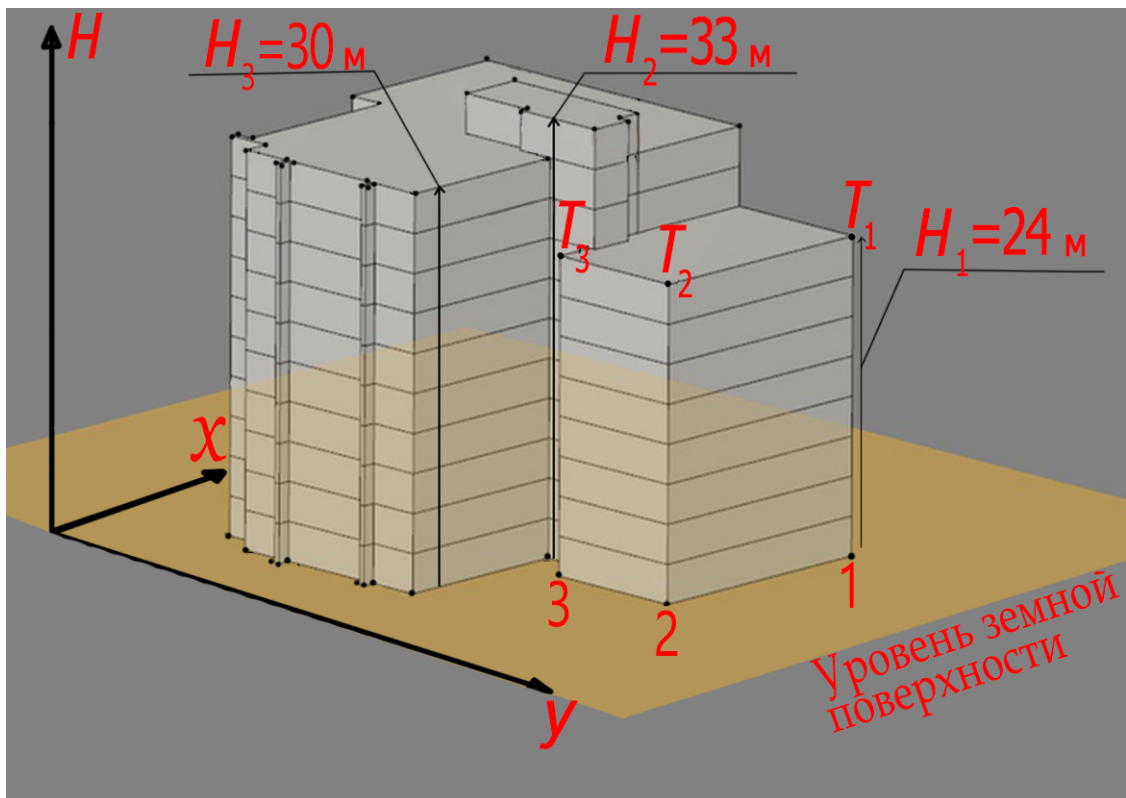


Рисунок 35 – Модель на основе блоков фиксированной высоты/глубины

– модель – однозначный ступенчатый срез. Для данной модели координатное описание осуществляется с помощью плоской прямоугольной системы координат и представляет собой множество точек (вершин) с координатами (x, y, H) , где $H=0$ или $H=H_f$, H_f – высота ограничивающей поверхности (фактическая высота). В основе данной модели лежит представление объекта недвижимости в виде ортогонального пересечения граней, проходящих через плоскости наиболее выступающих конструктивных элементов объекта недвижимости (на рисунке 36 показаны розовым цветом), что позволяет обеспечить равноточность измерений в плане и по высоте. Конфигурация горизонтальных ограничивающих поверхностей – также двухуровневая (проходят через плоскости наиболее выступающих конструктивных элементов объектов недвижимости), вертикальных – двухуровневая. Рассматриваемая модель не позволяет учитывать «пустое пространство». Пример модели представлен на рисунке 36;

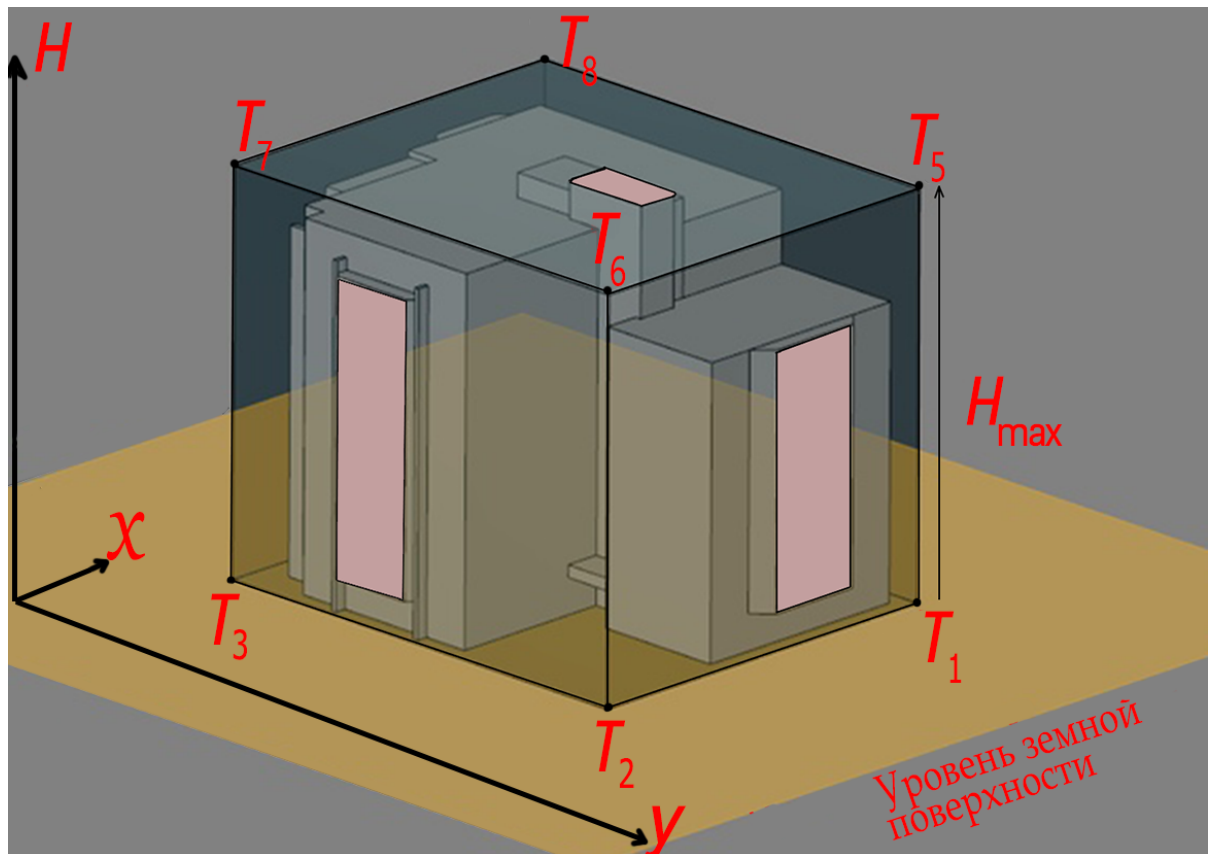


Рисунок 36 – Модель – однозначный ступенчатый срез

– модель – многозначный ступенчатый срез. Для данной модели координатное описание осуществляется с помощью плоской прямоугольной системы координат и представляет собой множество точек (вершин) с координатами (x, y, H) , где $H=0$ или $H = H_f$, H_f – высота ограничивающей поверхности (фактическая высота). В основе данной модели лежит представление объекта недвижимости в виде ортогонального пересечения горизонтальных и вертикальных граней, проходящих через плоскости всех выступающих конструктивных элементов объекта недвижимости, что позволяет обеспечить равноточность измерений в плане и по высоте. Конфигурация горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей – многоуровневая. Рассматриваемая модель не позволяет учитывать «пустое пространство». Пример модели представлен на рисунке 37;

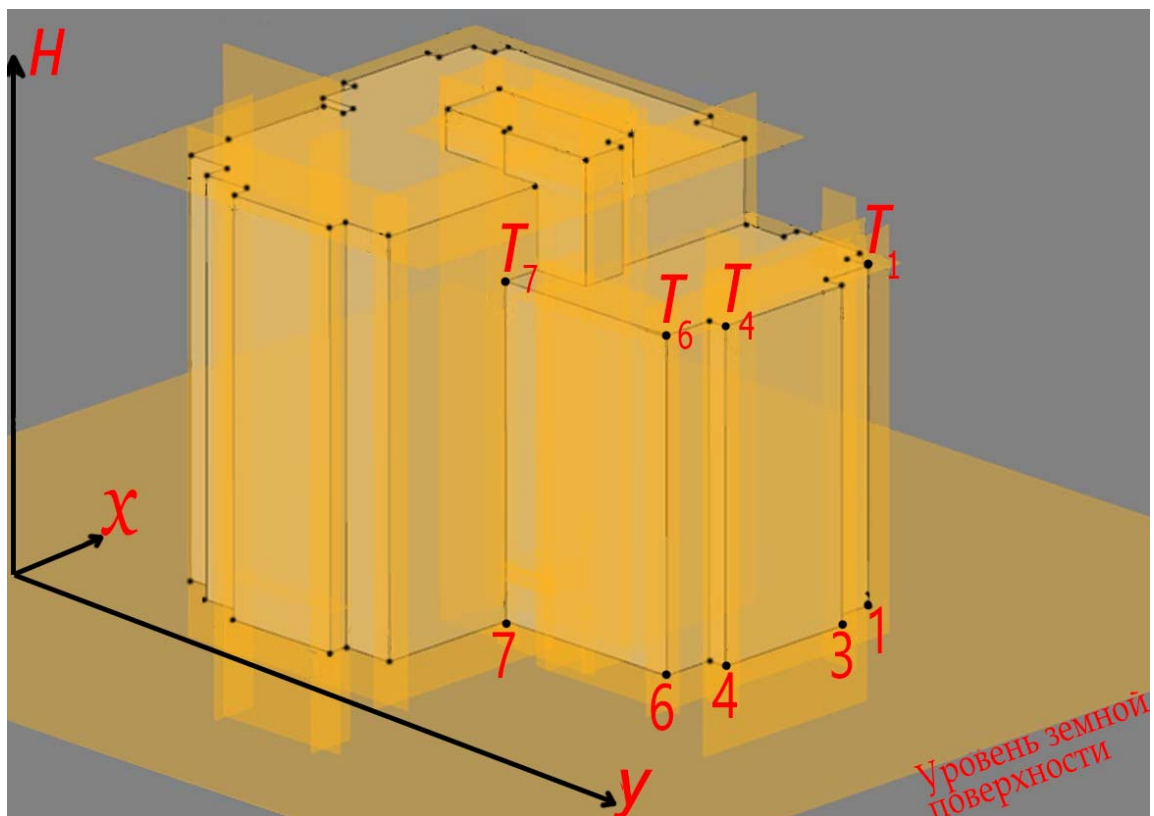


Рисунок 37 – Модель – многозначный ступенчатый срез

– общая трехмерная модель. Для данной модели координирование характерных точек всех конструктивных элементов объекта недвижимости осуществ-

ляется в пространственной прямоугольной системе координат (X, Y, Z) , измерения в плане и по высоте равнозначны. Моделирование объекта выполняется с помощью совокупности горизонтальных, вертикальных и наклонных граней, проходящих через все конструктивные элементы объекта, соответственно конфигурация горизонтальных и вертикальных граней многоуровневая. Рассматриваемая модель не учитывает «пустое пространство». Пример модели представлен на рисунке 38;

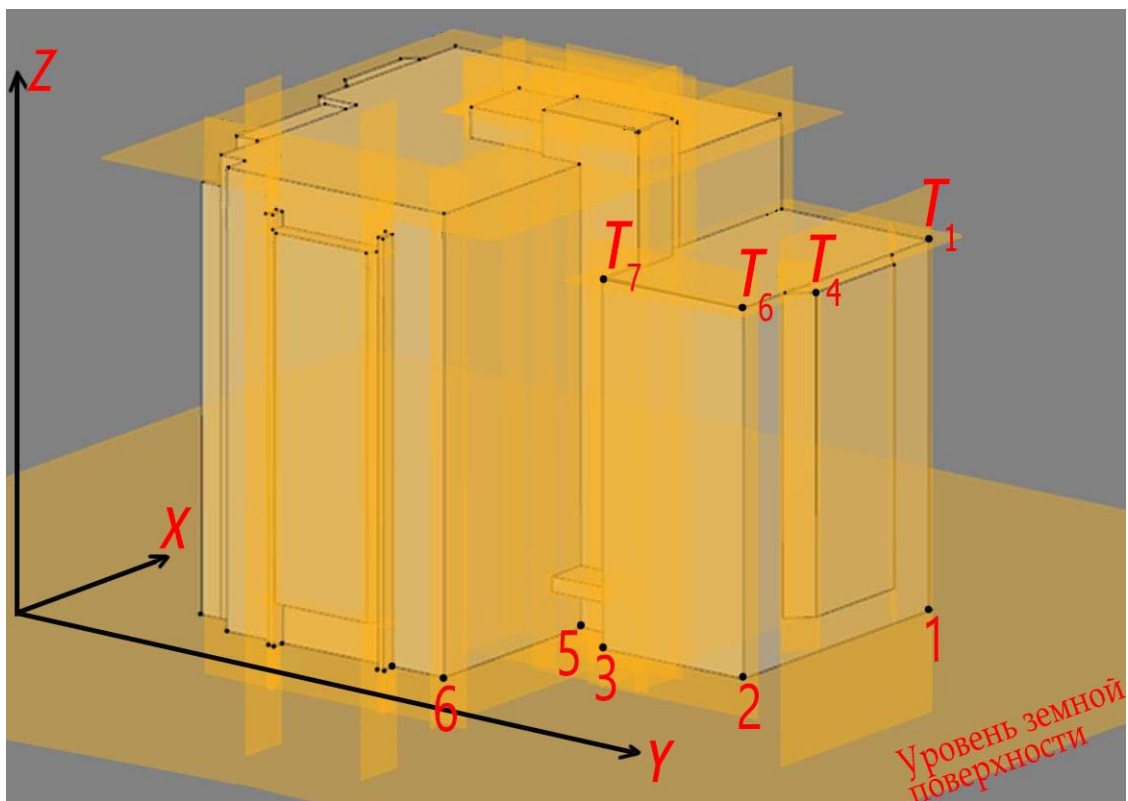


Рисунок 38 – Общая трехмерная модель

– модель – «пустое пространство». Для данной модели координатное описание может осуществляться как с помощью плоской прямоугольной системы координат (множество точек с координатами (x, y, H) , где $H=0$ или $H=H_f$, H_f – высота ограничивающей поверхности (фактическая высота)), так и в пространственной прямоугольной системе координат (X, Y, Z) , измерения в плане и по высоте равнозначны. В основе такой модели лежит учет неиспользуемого простран-

ства между объектом недвижимости, описанным с помощью однозначного ступенчатого среза и многозначного ступенчатого среза/общей трехмерной модели. Пример такой модели представлен на рисунке 39 (для наглядности изображения отображена модель, разделенная секущей плоскостью).

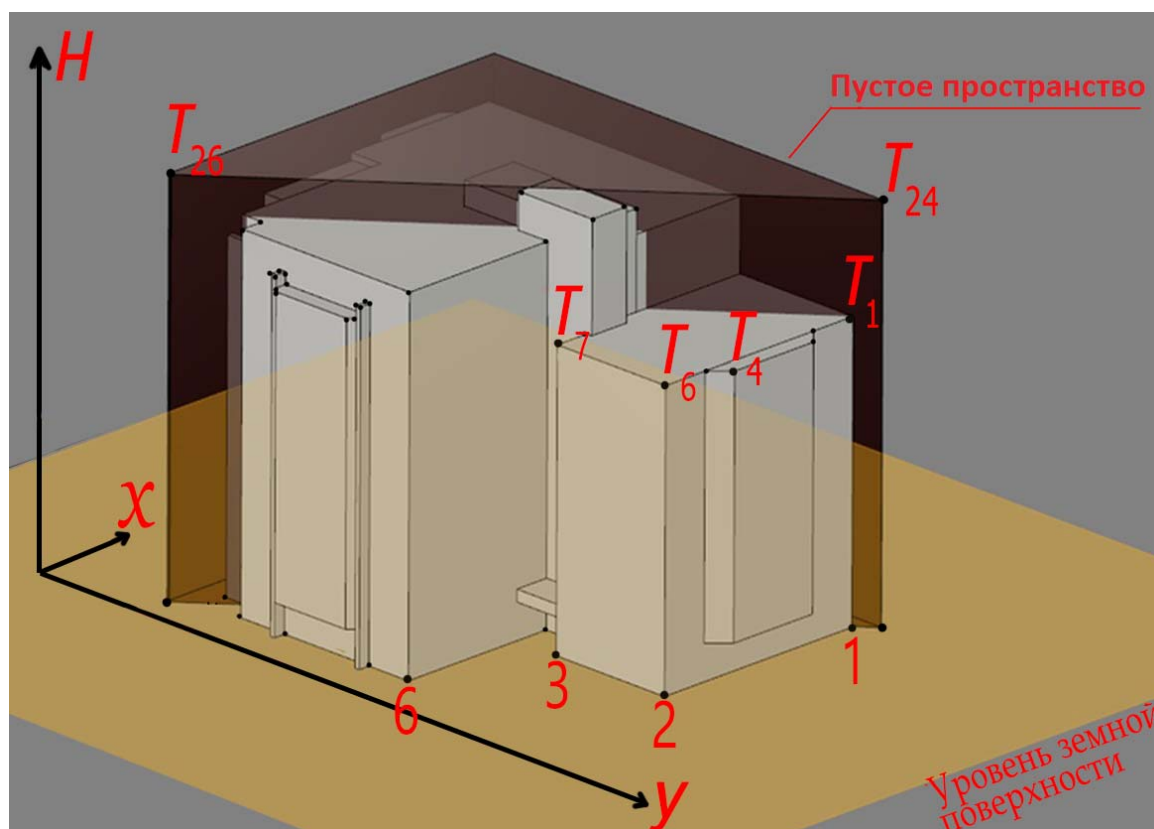


Рисунок 39 – Модель – «пустое пространство» (в разрезе)

На основании проведенного анализа разработана классификация вариантов построения 3D-модели объектов недвижимости, которая приведена в таблице 6 (для удобства вариантам построения 3D-модели объектов недвижимости присвоены следующие числовые индексы: модель-отпечаток (1), модель, ограниченная по максимальной высоте/глубине конструктивных элементов (2.1), модель, заданная высотой/глубиной (2.2), модель на основе блоков фиксированной высоты/глубины (3), модель – однозначный ступенчатый срез (4), модель – многозначный ступенчатый срез (5), общая трехмерная модель (6), модель – «пустое пространство» (7)).

Таблица 6 – Классификация вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости

Критерий	Критериальный показатель		Вид 3D-модели объекта недвижимости							
			1	2.1	2.2	3	4	5	6	7
Система координат	Плоская прямоугольная (x, y, H)		+	+	+	+	+	+	-	+
	Пространственная прямоугольная (X, Y, Z)		-	-	-	-	-	-	+	+
Точность измерений в плане и по высоте	Равноточные		-	-	-	-	+	+	+	+
	Разноточные		-	+	+	+	-	-	-	-
	Не определена		+	-	-	-	-	-	-	-
Пространственная ориентированность ограничивающих поверхностей, описывающих конструктивные элементы объектов недвижимости	Моделирование с помощью горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей		+	+	+	+	+	+	-	+
	Моделирование горизонтальными, вертикальными и наклонными ограничивающими поверхностями		-	-	-	-	-	-	+	+
Конфигурация горизонтальных ограничивающих поверхностей	<i>Одноуровневые</i>	Совпадают с плоскостью земельного участка	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Двухуровневые</i>	Проходят через высшую и низшую точки объекта недвижимости	-	+	-	-	-	-	-	-
		Проходят на заданной высоте/глубине	-	-	+	+	-	-	-	-
		Проходят через плоскости наиболее выступающих конструктивных элементов объектов недвижимости	-	-	-	-	+	-	-	-
	<i>Многоуровневые</i>	Проходят на уровне выступающих конструктивных элементов объекта недвижимости	-	-	-	-	-	+	+	+
Конфигурация вертикальных ограничивающих поверхностей	<i>Одноуровневые</i>	Проходят через ребра ограничивающих поверхностей, описывающих контур объекта недвижимости	+	+	+	+	-	-	-	-
	<i>Двухуровневые</i>	Проходят через наиболее выступающие конструктивные элементы объекта недвижимости	-	-	-	-	+	-	-	-
	<i>Многоуровневые</i>	Ограничивают все выступающие конструктивные элементы объекта недвижимости	-	-	-	-	-	+	+	+
Степень учета пространства между ограничивающими поверхностями и плоскостью земельного участка/участков, на котором/которых расположен объект недвижимости	Учитывается		-	-	-	-	-	-	-	+
	Не учитывается		+	+	+	+	+	+	+	-

На основании представленной классификации можно сделать следующие выводы:

– варианты 1, 2.1, 2.2 не позволяют корректно учитывать сложные разноразмерные объекты недвижимости;

– вариант 3 достаточно нагляден и нашел широкое распространение в кадастрах различных стран, однако он формирует «виртуальные», а не «реальные» трехмерные модели;

– вариант 4 представляет объект недвижимости в виде части пространства и является эффективным инструментом для построения топологических связей с другими 3D-моделями, однако обладает двухуровневым критериальным показателем горизонтальных ограничивающих поверхностей;

– вариант 5 обладает максимальной степенью детализации конфигурации объектов недвижимости (за исключением достоверного отображения наклонных поверхностей), но достаточно сложен для построения топологических связей между объектами недвижимости и выполнения соответствующих проверок;

– вариант 6 позволяет строить 3D-модель, полностью повторяющую конфигурацию объектов недвижимости любой формы и сложности. Его недостатки соответствуют аналогичным для варианта 5, кроме того, ряд стран, в том числе и Россия, обладает плоской прямоугольной системой координат, что существенно ограничивает область распространения такого решения при создании 3D-кадастра;

– вариант 7 не описывает саму 3D-модель объекта недвижимости, а позволяет учесть пустое пространство, полученное в результате моделирования, что является важной составляющей при регистрации сервитутов, аренды и пр. В то же время, такой вариант применяется лишь в 3D-кадастрах отдельных стран, что связано со сложностью его хранения и представления в кадастровой базе данных.

Таким образом, рассмотрев основные варианты формирования 3D-модели объектов недвижимости, можно прийти к выводу, что прямая интеграция одного из представленных вариантов в кадастровую систему РФ невозможна, поэтому

актуальной научно-технической задачей является обоснование и предложение оптимального варианта модели для условий России на основе совокупности решений, представленных в классификации.

Основные выводы по разделу 3

В результате выполнения теоретических исследований получены следующие научные результаты:

- разработана укрупненная технологическая схема формирования 3D-модели объекта недвижимости;
- доказано, что для описания 3D-модели зданий, сооружений и объектов незавершенного строительства следует применять совокупность вершин, ребер и ограничивающих поверхностей;
- предложена система критериев и критериальных значений, позволяющая выполнить сравнение основных вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости;
- разработана классификация вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости;
- обоснована актуальность предложения 3D-модели, отвечающей условиям России.

4 РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ И МЕТОДИКИ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

4.1 Обоснование условий и разработка 3D-модели объектов недвижимости

Для разработки наиболее подходящего варианта 3D-модели объектов недвижимости для условий России предлагается использовать следующий укрупненный алгоритм, состоящий из трех этапов:

- анализ и формализация содержания пространственной модели объектов недвижимости РФ в соответствии с действующим порядком ведения ЕГРН;
- обоснование и выбор критериальных показателей оценки вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости для РФ;
- предложение варианта формирования 3D-модели для РФ.

В рамках выполнения первого этапа воспользуемся разработанным формализованным представлением структуры и содержания информационной модели объектов недвижимости, подлежащих государственному кадастровому учету, приведенным в формуле (1).

На основании выводов о необходимости исследования пространственной модели объектов недвижимости, представленных в 2.1 диссертационной работы, рассмотрим более детально содержание соответствующей модели РФ, формализованное представление которой представлено в формуле (5).

Исходя из существующих требований к построению 3D-моделей объектов недвижимости [57] наибольший интерес для исследования представляет компонент K пространственной модели m_{op} , поскольку он формируется на основании геодезических определений, выполняемых кадастровым инженером, с привязкой к существующим опорным межевым сетям, что является одним из условий для осуществления учета и регистрации 3D-модели в кадастре недвижимости.

Анализ существующего порядка ведения ЕГРН, а также структуры действующей xml-схемы, используемой при подготовке технических планов [57], позволил представить содержание компонента K в виде следующего выражения:

$$K = \langle T, M_t, H_1, H_2, V \rangle, \quad (17)$$

где T – совокупность множества двухмерных координат (x, y) характерных точек объекта недвижимости с указанием типа контура (подземный, наземный или надземный);

M_t – средняя квадратическая погрешность определения координат характерных точек контура;

H_1 – высота (глубина) от контура объекта недвижимости до точки начала конструктивного элемента объекта недвижимости;

H_2 – высота (глубина) от контура объекта недвижимости до точки окончания конструктивного элемента объекта недвижимости;

V – вид контура (дополнительная информация).

Таким образом, можно сделать вывод, что пространственное описание конструктивных элементов объектов недвижимости базируется на использовании совокупности множества двухмерных координат (x, y) характерных точек с различным типом уровня и множества высот H этих точек относительно контура объекта недвижимости.

Несмотря на то, что такой вариант 3D-моделирования позволяет в целом учитывать форму объекта недвижимости по вертикали, он обладает рядом существенных недостатков:

- недостаточная точность проецирования характерных точек конструктивных элементов объектов недвижимости, перекрывающих друг друга (нависающих друг над другом);

- сложность моделирования высотных объектов, а также объектов недвижимости со сложной архитектурой;

– при определении высот характерных точек конструктивных элементов объектов недвижимости относительно контура объекта недвижимости не учитывается рельеф местности, что в ряде случаев приводит к недостоверности сведений, вносимых в ЕГРН [30].

Для разработки варианта, позволяющего устранить указанные недостатки, в рамках второго этапа более детально рассмотрим критерии и критериальные показатели вариантов формирования 3D-модели объекта недвижимости относительно условий России.

1 Система координат.

В соответствии с действующим законодательством [46], для ведения кадастра на территории РФ, установлены местные (в отношении кадастровых округов) плоские прямоугольные системы координат в проекции Гаусса – Крюгера (x, y) с установленными ключами перехода к единой государственной системе координат (ЕГСК), которая ведется в пространственной прямоугольной системе координат (X, Y, Z) . На сегодняшний день ЕГСК применяется в обязательном порядке лишь при описании государственной границы Российской Федерации и обладает рядом характерных особенностей, не позволяющих обеспечить ее использование для координирования объектов недвижимости и внесения соответствующих сведений в ЕГРН [1, 6].

Таким образом, можно сделать вывод, что по критерию «система координат» для формирования 3D-модели объектов недвижимости в России необходимо предусмотреть критериальный показатель «плоская прямоугольная (x, y, H) », который не потребует существенной реорганизации информационной структуры ЕГРН.

2 Точность измерений в плане и по высоте.

Существующие требования к точности определения координат характерных точек объектов недвижимости устанавливаются лишь значения плановой точности в зависимости от категории земель, на которой расположен объект (максимальное значение точности соответствует землям населенных пунктов

и составляет 0,10 м) [56]. Для формирования предложений об оценке соответствующей точности по высоте рассмотрим укрупненный перечень основных вариаций структуры 3D-модели объектов недвижимости на территории населенных пунктов в России:

а) «внешняя 3D-модель», описывающая наземный и надземный контуры объектов недвижимости (LoD 3). Результаты экспериментальных исследований по формированию такого вида моделей, приведенные в 2.2 диссертационной работы, свидетельствуют о незначительном ухудшении величины СКО определения координат характерных точек объектов недвижимости по высоте относительно плановых значений и нахождении в диапазоне 0,10 м при использовании наземных лазерных сканеров и беспилотных авиационных систем с неметрической камерой на малых высотах. При использовании пилотируемых аппаратов и воздушных лазерных сканеров соответствующий показатель находится в пределах 0,15 м [123] и соответствует данным, полученным в результате реализации пилотного проекта по созданию 3D-кадастра в РФ [69]. Таким образом, предлагаются следующие значения соответствующих СКО для оценки точности формируемых 3D-моделей такого вида: в плане – 0,10 м, по высоте – 0,15 м. Соответственно, критериальный показатель – «разноточные»;

б) «внешняя 3D-модель», описывающая подземный, наземный и надземный контуры объектов недвижимости (LoD 3). Характерным отличием при описании и оценке точности СКО определения координат характерных точек подземного контура объектов является отсутствие (либо серьезная ограниченность) его видимости с земли и с воздуха. При определении координат характерных точек подземного контура в большинстве случаев используется аналитический метод, предусматривающий сопоставление данных о координатах конструктивных элементов наземного контура (например, лифтовая шахта) и сведений проектной документации о подземном контуре объекта недвижимости (на которой отображен соответствующий конструктивный элемент), с последующим вычислением координат всех характерных точек подземного контура.

При использовании данного метода, помимо ошибок определения координат характерных точек наземного контура, могут добавляться ошибки, вызванные частичным несоответствием проектных и измеренных характеристик объекта недвижимости и сложность контроля выполненных вычислений. Таким образом, при вычислении координат характерных точек подземного контура объекта недвижимости возникает необходимость введения доверительного интервала. На основании анализа мировой практики по данному вопросу [124] можно установить соответствующее значение в 0,30 м.

Следовательно, для такого вида 3D-модели можно установить следующие СКО определения координат характерных точек в плане и по высоте: наземного и наземного контура – 0,10 и 0,15 м, подземного контура – $0,10 \pm 0,30$ и $0,15 \pm 0,30$ м, соответственно и выбрать критериальный показатель «разноточные»;

в) «внешняя и внутренняя 3D-модель», описывающая подземный, наземный и наземный контуры объекта недвижимости, а также топологические отношения внутри модели (LoD 4).

Предлагаемые значения для оценки точности внешней 3D-модели объекта недвижимости приведены в пункте б). В основе создания такой модели лежит «наполнение» внешней 3D-модели данными о помещениях и сооружениях для обеспечения жизнедеятельности (коммуникациях) на основании поэтажных планов и соответствующих обмеров (существующая структура сведений о помещениях не содержит координатной привязки) либо на основании сведений, содержащихся в BIM-модели.

Для оценки точности варианта внутренней 3D-модели, основанной на координировании помещений и учитывающей их площадь и конфигурацию, предложена формула (16), полученная в результате выполнения теоретических исследований в 2.2 диссертационной работы.

При сохранении существующего решения, не предусматривающего координирование помещений, при оценке точности «внутренней 3D-модели» большое значение имеет величина несоответствия проектных данных и фактических геоде-

зических измерений, которые в большом количестве встречаются в практике выполнения соответствующих кадастровых работ.

На наш взгляд, в таком случае следует разделять внешнюю 3D-модель горизонтальными ограничивающими поверхностями, проходящими на уровне «середины пола», количество которых соответствует количеству этажей объекта недвижимости. Далее в границах каждой поверхности следует выполнить интеграцию существующего поэтажного плана (в формате 2D или 3D) в модель и «привязать» его к закоординированной внешней 3D-модели (по положению окон, лифтовой шахты и пр.). Следующим шагом должно являться моделирование помещений в плане этажа (в модели) на основе обмерных данных. Невязку между поэтажным планом внутренней модели и внешней трехмерной моделью, на наш взгляд, следует распределить равномерно между несущими стенами объекта недвижимости.

Таким образом, оценка точности внутренней модели, основанной на обмерах, должна производиться из совокупности среднеинтегрального значения величин невязок между внутренней моделью (каждого из этажей) и внешней 3D-моделью, СКО определения координат характерных точек внешней модели, а также ошибкой выполнения внутренних обмеров.

Следовательно, без проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований по данному вопросу невозможно достоверно определить величину такой ошибки в плане и по высоте. Соответственно, для такого вида 3D-модели необходимо выбрать критериальный показатель «не определена».

В результате выполненного анализа по критерию «точность измерений в плане и по высоте» для зданий, сооружений и объектов незавершенного строительства (выбор данных видов объектов недвижимости обусловлен выводами, представленными в 2.2 диссертационной работы) можно сделать вывод, что в зависимости от вида выбранного варианта формирования 3D-модели для условий РФ, возможны все три варианта критериальных показателей.

Для обоснования выбора вида модели а), б) или в) и соответствующего критериального показателя рассмотрим существующие тенденции в области нормативно-правового регулирования области 3D-моделирования объектов недвижимости [15, 53, 57]:

– действующее законодательство не предусматривает возможность трехмерного моделирования помещений;

– с 3 августа 2018 г. в ЕГРН появилось понятие «индивидуальный жилой дом», характерными особенностями которого являются необходимость определения высоты (впервые в федеральном законодательстве в области кадастра) и отсутствие раздела на самостоятельные объекты недвижимости (таким образом, формирование внутренней 3D-модели не предусмотрено);

– объект недвижимости рассматривается как совокупность трех равнозначных контуров.

Следовательно, можно сделать обоснованный вывод о том, что базовым вариантом формирования 3D-модели объектов недвижимости для условий России является «внешняя 3D-модель», описывающая подземный, наземный и надземный контуры объектов недвижимости (LoD 3) и, соответственно, значение критериального показателя по критерию «точность измерений в плане и по высоте» – разноточные.

В случае необходимости формирования также внутренней 3D-модели объекта недвижимости (что является вероятным в условиях динамично изменяющегося законодательства в области кадастра), предлагается использовать метод, описанный в рамках данного критерия, при условии проведения дополнительных исследований.

3 Пространственная ориентированность ограничивающих поверхностей, описывающих конструктивные элементы объектов недвижимости.

На основании анализа данных классификации вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости (см. таблицу 6), можно сделать вывод, что критериальный показатель «моделирование горизонтальными, вертикальными

и наклонными ограничивающими поверхностями» применяется лишь в моделях, основанных на использовании пространственной прямоугольной системы координат. Таким образом, с учетом выбора критериального показателя «плоская прямоугольная (x, y, H) » для условий России, по данному критерию предлагается применять моделирование с помощью горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей.

4 Конфигурация горизонтальных ограничивающих поверхностей.

При выборе критериального показателя по данному критерию необходимо принимать во внимание следующие факторы:

- а) сложность моделирования подземного контура объекта недвижимости;
- б) наличие прецедентов с изменяющимися надземными контурами объектов недвижимости и незначительное изменение параметров объекта недвижимости в зависимости от внешних условий;
- в) техническая и технологическая возможности получения пространственных данных о конструктивных элементах объектов недвижимости на надземном уровне;
- г) плотность застройки современных городских территорий.

В мировой практике градостроительства набирает популярность строительство зданий с изменяющимися контурами, что вызывает определенные сложности при учете таких объектов (пример такого здания приведен на рисунке 40).



Рисунок 40 – Здание многофункционального центра, Шанхай (Китай)

Кроме того, свойства строительных материалов (расширение бетона, усадка и пр.) также могут оказывать влияние на параметры объектов недвижимости. Следовательно, при формировании 3D-модели объекта целесообразно выбирать двухуровневую конфигурацию горизонтальных ограничивающих поверхностей (критериальный показатель – «проходят через плоскости наиболее выступающих конструктивных элементов объекта недвижимости»).

В то же время, для эффективного управления территориальным образованием необходимо обладать информацией о точных пространственных характеристиках объектов недвижимости (например, планирование расположения надземных линий связи). Данный факт, в совокупности с фактором в) и результатами сравнительного анализа методов формирования пространственной 3D-модели объектов недвижимости, приведенными в 2.2 диссертационной работы, позволяет сделать вывод о необходимости выбора критериального показателя «многоуровневые (проходят на уровне выступающих конструктивных элементов объектов недвижимости)».

Принимая во внимание фактор а), на начальном этапе перехода на 3D-кадастр предлагается при моделировании подземного контура использовать ограничивающую поверхность на уровне, вычисленном на основании проектной документации, и считать ее плоскостью наиболее выступающего элемента объекта недвижимости.

Следовательно, для условий России по данному критерию следует выбрать оба критериальных показателя: двухуровневые и многоуровневые.

5 Конфигурация вертикальных ограничивающих поверхностей.

Учитывая отсутствие принципиальных различий с предыдущим критерием и аналогичность полученных выводов, по данному критерию также предлагается выбрать совокупность критериальных показателей – двухуровневые и многоуровневые.

6 Степень учета пространства между ограничивающими поверхностями и плоскостью земельного участка/участков, на котором/которых расположен объект недвижимости.

На основании выводов, приведенных при описании критерия «конфигурация горизонтальных ограничивающих поверхностей», не вызывает сомнения необходимость учета «пустого пространства» и выбора соответствующего критериального показателя – «учитывается».

Таким образом, для условий России предлагается осуществлять координатное описание с помощью плоской прямоугольной системы координат (множество точек (вершин) с координатами (x, y, H) , где $H=0$ или $H = H_f$, H_f – высота ограничивающей поверхности (фактическая высота)). В основе модели лежит представление объекта недвижимости в виде совокупности двух моделей, полученных в результате ортогонального пересечения горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей, проходящих через плоскости всех и наиболее выступающих конструктивных элементов объекта недвижимости (конфигурация горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей – двухуровневая и многоуровневая).

При условии существования подземного контура точность измерений в плане и по высоте разноточная, аналогичное критериальное значение при моделировании только наземного и надземного контуров. Учитывая актуальность эффективного управления территориальными образованиями в условиях ограниченности пространства (особенно в городских территориях), предлагается дополнять данную модель «пустым пространством».

Классификация вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости с учетом предлагаемой 3D-модели для условий РФ представлена в таблице 7 (для удобства данному варианту присвоен индекс 8).

Таблица 7 – Классификация вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости с учетом модели для РФ

Критерий	Критериальный показатель	Вид 3D-модели объекта недвижимости									
		1	2.1	2.2	3	4	5	6	7	8	
Система координат	Плоская прямоугольная (x, y, H)	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
	Пространственная прямоугольная (X, Y, Z)	-	-	-	-	-	-	+	+	-	
Точность измерений в плане и по высоте	Равноточные	-	-	-	-	+	+	+	+	-	
	Разноточные	-	+	+	+	-	-	-	-	+	
	Не определена	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
Пространственная ориентированность ограничивающих поверхностей, описывающих конструктивные элементы объектов недвижимости	Моделирование с помощью горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей	+	+	+	+	+	+	-	+	+	
	Моделирование горизонтальными, вертикальными и наклонными ограничивающими поверхностями	-	-	-	-	-	-	+	+	-	
Конфигурация горизонтальных ограничивающих поверхностей	<i>Одноуровневые</i>	Совпадают с плоскостью земельного участка		+	-	-	-	-	-	-	
	<i>Двухуровневые</i>	Проходят через высшую и низшую точки объекта недвижимости		-	+	-	-	-	-	-	
		Проходят на заданной высоте/глубине		-	-	+	+	-	-	-	-
		Проходят через плоскости наиболее выступающих конструктивных элементов объектов недвижимости		-	-	-	-	+	-	-	-
	<i>Многоуровневые</i>	Проходят на уровне выступающих конструктивных элементов объекта недвижимости		-	-	-	-	-	+	+	+

Окончание таблицы 7

Критерий	Критериальный показатель		Вид 3D-модели объекта недвижимости								
			1	2.1	2.2	3	4	5	6	7	8
Конфигурация вертикальных ограничивающих поверхностей	<i>Одноуровневые</i>	Проходят через ребра ограничивающих поверхностей, описывающих контур объекта недвижимости	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	<i>Двухуровневые</i>	Проходят через наиболее выступающие конструктивные элементы объекта недвижимости	-	-	-	-	+	-	-	-	+
	<i>Многоуровневые</i>	Ограничивают все выступающие конструктивные элементы объекта недвижимости	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Степень учета пространства между ограничивающими поверхностями и плоскостью земельного участка/участков, на котором/которых расположен объект недвижимости	Учитывается		-	-	-	-	-	-	-	+	+
	Не учитывается		+	+	+	+	+	+	+	-	-

4.2 Технологическая схема формирования 3D-модели объектов недвижимости

Для формирования 3D-модели объектов недвижимости для условий РФ предлагается методика, которую можно представить в виде укрупненной технологической схемы, состоящей из 3 этапов, которая представлена на рисунке 41.

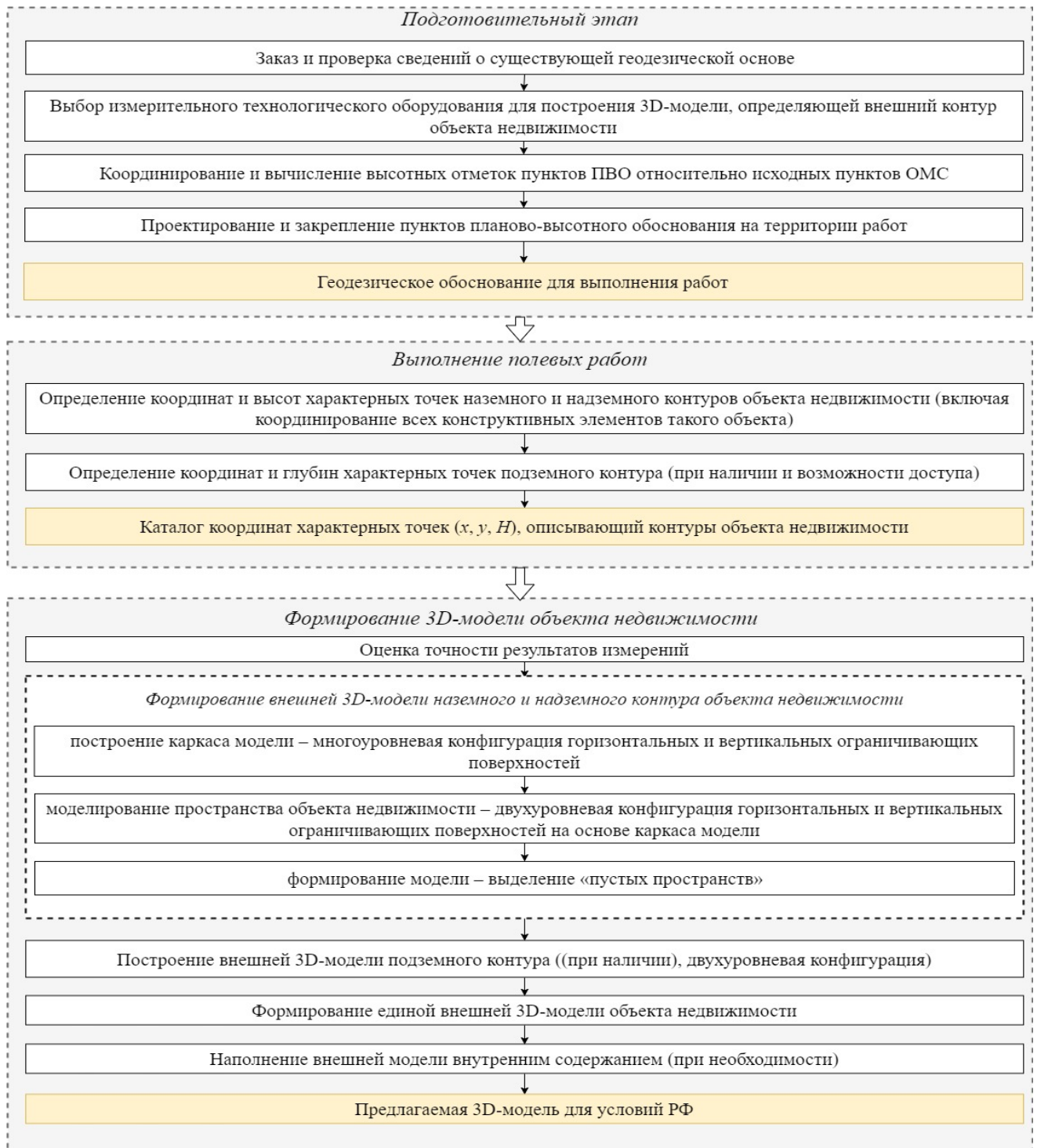


Рисунок 41 – Укрупненная технологическая схема формирования 3D-модели объектов недвижимости для условий РФ

Рассмотрим более детально характерные особенности каждого из этапов предлагаемой методики:

1 Подготовительный этап:

а) заказ сведений об исходной геодезической основе. В соответствии с действующим порядком подготовки технических планов на объекты недвижимости [57], при выполнении соответствующих кадастровых работ в качестве исходных пунктов должны использоваться не менее трех пунктов ОМС, сведения о которых (координаты и высотные отметки) находятся в картографо-геодезическом фонде (КГФ) и предоставляются кадастровому инженеру на основании запроса;

б) проверка сведений об исходной геодезической основе. Сущность данной технологической операции заключается в проверке сохранности наружных знаков пунктов и их центров, а также марок, используемых при выполнении работ, данные о которых содержатся в выписке из КГФ и заносятся впоследствии в соответствующий раздел технического плана;

в) выбор измерительного технологического оборудования для построения 3D-модели, определяющей внешний контур объекта недвижимости. Предложения о выборе измерительного технологического оборудования в зависимости от набора параметров для 3D-моделирования объектов недвижимости приведены в 2.2 диссертационной работы. Обоснованность предложений подтверждается результатами выполненного сравнительного анализа методов трехмерного моделирования, представленными в таблице 4;

г) проектирование и закрепление пунктов планово-высотного обоснования на территории работ. Под пунктами ПВО понимаются: для наземных лазерных сканеров и тахеометров – точки установки прибора, для фотограмметрического метода и воздушных лазерных сканеров – специальные марки, располагаемые на поверхности земли, для мобильных лазерных сканеров – марки, закрепляемые на объектах недвижимости. Количество, вид и плотность пунктов, а также их расположение напрямую зависят от выбранного измерительного технологического обо-

рудования и должны соответствовать требованиям законодательства к производству работ выбранным методом;

д) координирование и вычисление высотных отметок пунктов ПВО относительно исходных пунктов ОМС. Данная операция может выполняться как традиционными геодезическими методами – проложением тахеометрических и нивелирных ходов, либо с применением спутниковых технологий – относительный метод спутникового позиционирования, при котором один из GPS/ГНСС-приемников располагается на исходных пунктах ОМС, а второй – на определяемых пунктах ПВО.

Также наличие сети постоянно действующих базовых станций (ПДБС) на территории кадастрового округа позволяет определять координаты и высотные отметки пунктов в режиме реального времени с сантиметровой точностью. Соответственно, учитывая точность и оперативность получаемых данных при использовании сети ПДБС, необходимо выполнить законодательное закрепление возможности применения такого метода при выполнении кадастровых работ (в том числе при формировании 3D-модели объектов недвижимости).

Результатом подготовительного этапа работ является сеть пунктов ПВО с определенными координатами и высотными отметками, которые обеспечивают возможность выполнения дальнейших работ по формированию трехмерной модели объектов недвижимости и отвечают требованиям законодательства к описанию местоположения 3D-модели [57].

2 Выполнение полевых работ:

а) определение координат и высот характерных точек наземного и надземного контуров объекта недвижимости (включая координирование всех конструктивных элементов такого объекта). Исходя из гипотезы о первоочередности наполнения базы ЕГРН 3D-моделями многоэтажных зданий со сложной конфигурацией и индивидуальных жилых домов, в 2.2 сделан вывод об использовании беспилотных авиационных систем (с использованием тахеометрической съемки определения координат характерных точек, находящихся под навесами и перекры-

тиями) в качестве приоритетного метода для современных условий кадастра РФ (не исключая возможность использования остальных методов).

Процесс создания трехмерной модели с использованием БАС подробно описан в 2.2 диссертационной работы. Стоит отметить, что для определения координат и высот каждой точки из массива (облака) точек, представляющих собой модель объекта недвижимости, в местной системе координат кадастрового округа предлагается использовать метод пространственной фототриангуляции [17]. Особенности выполнения тахеометрической съемки широко описаны в научно-технической литературе [1, 8] и не требуют пояснений.

Результатом выполнения данной технологической операции является каталог координат и высот массива (облака) точек, описывающих наземный и надземный контуры объекта недвижимости и полученных с использованием измерительного оборудования;

б) определение координат и глубин характерных точек подземного контура (при наличии и возможности доступа). При наличии у объекта недвижимости подземного контура и возможности доступа к нему, часть измерений целесообразно выполнять с помощью геодезического оборудования (например, с помощью тахеометра) для расширения возможности контроля достоверности данных, содержащихся в проектной документации объекта недвижимости.

Подробный порядок получения координат и глубин характерных точек подземного контура объекта недвижимости описан в 4.1 диссертационного исследования. Результатом выполнения данной технологической операции также является каталог координат и глубин точек, однако полученный аналитическим методом, и, соответственно, обладающий меньшей степенью достоверности, однако позволяющий однозначно описать подземный контур объекта недвижимости.

Таким образом, результатом этапа выполнения полевых работ является общий каталог координат и высот/глубин характерных точек надземного, наземного и подземного (при наличии) контуров, который удовлетворяет требованиям к содержанию 3D-модели [57].

3 Формирование 3D-модели объектов недвижимости:

а) оценка точности результатов измерений. Характерные особенности и предложения по оценке точности при использовании БАС (как приоритетного метода) приведены в 2.2 диссертационной работы. Вопросы оценки плановой и пространственной точности подробно рассмотрены в 4.1 диссертационной работы;

б) построение каркаса модели – многоуровневая конфигурация горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей. При построении каркаса модели может быть использовано различное программное обеспечение. При выборе следует учитывать особенности координатных систем, заложенных в алгоритме работы конкретной программы. Большинство существующих решений основано на представлении объекта недвижимости в условной системе координат программы (не подходит для формирования 3D-модели для условий России) либо в координатной системе WGS-84, что значительно усложняет процесс моделирования (требуется двукратный пересчет координат, и на выходе возможно получение некорректных координат, описывающих внешний контур объекта недвижимости). Таким образом, следует выбирать программный продукт, ориентированный на работу с массивами (облаками) точек и поддерживающий использование системы координат с заданными параметрами и возможностью представления сформированной 3D-модели в формате (.dxf, .rvt, .pln, .skp) [57] либо облегченного экспорта модели в программу, позволяющую представлять данные в таком формате.

При построении каркаса модели, вне зависимости от выбранного программного продукта, должен учитываться принцип формирования 3D-модели в виде совокупности вершин, ребер и ограничивающих поверхностей, рассмотренный в 3.1 диссертационного исследования (при описании кривых линий они аппроксимируются ребрами ограничивающих поверхностей).

Трехмерная модель надземного и наземного контуров условного объекта недвижимости, наглядно иллюстрирующая результат выполнения технологической операции, приведена на рисунке 42;

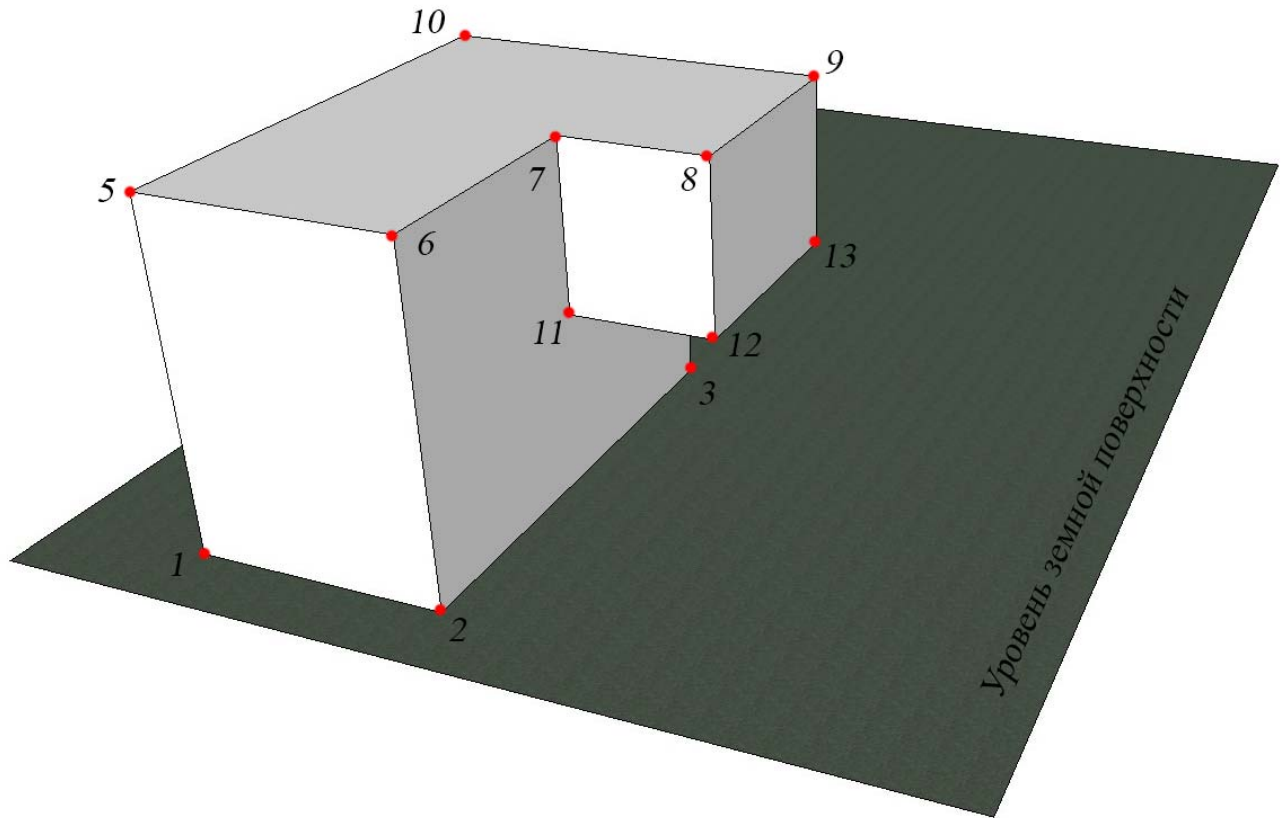


Рисунок 42 – Каркас модели (многоуровневая конфигурация)

в) моделирование пространства объекта недвижимости – двухуровневая конфигурация горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей на основе каркаса модели. При выполнении данной технологической операции на основании каркаса модели формируется пространство объекта, ограниченное наиболее выступающими элементами объекта недвижимости (рисунок 43).

На рисунке 43 синим цветом показана двухуровневая конфигурация горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей, проходящих через наиболее выступающие конструктивные элементы объекта недвижимости (вершины T_1-T_3), основанная на каркасе модели. Таким образом, на данном рисунке 3D-модель описывается совокупностью ребер ограничивающих поверхностей, проходящих через вершины $1, T_1, T_2, 4, T_3, 5, 10, 9$;

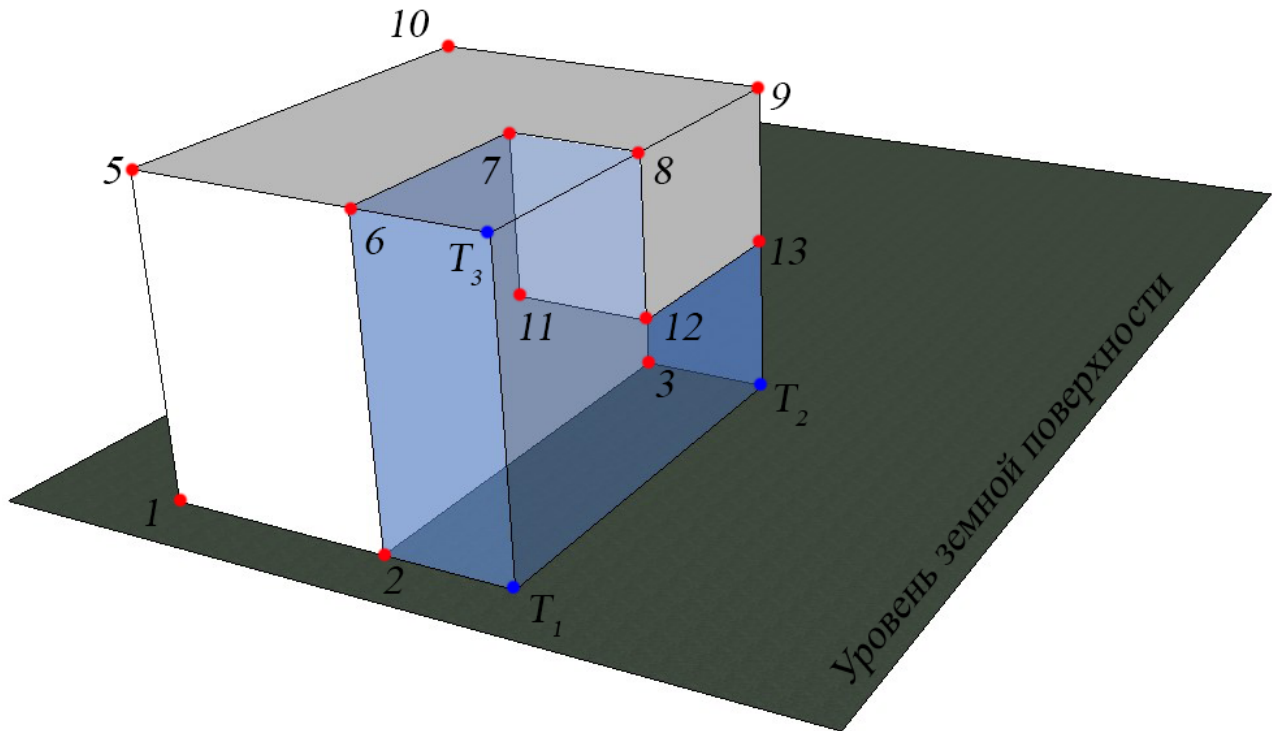


Рисунок 43 – Моделирование пространства объекта недвижимости

г) формирование модели – выделение «пустых пространств». Исходя из данных, представленных на рисунке 43, «пустое пространство» представляет собой пересечение ограничивающих плоскостей, описанных с помощью следующих вершин: 2, T_1 , T_2 , 3, 14, 13, 12, 11, 7, 8, T_3 , 6;

д) построение внешней 3D-модели подземного контура (при наличии, двухуровневая конфигурация). Особенности построения данной части модели рассмотрены в 4.1 диссертационной работы (процесс ее построения аналогичен рассмотренному в пункте в));

е) формирование единой внешней 3D-модели объекта недвижимости. Сущность данной технологической операции заключается в объединении моделей, полученных в пунктах в)–д) и не представляет сложности. Характерной особенностью, требующей более детального рассмотрения, является частный случай, когда подземный контур объекта недвижимости превышает наземный и надземный (рисунок 44).

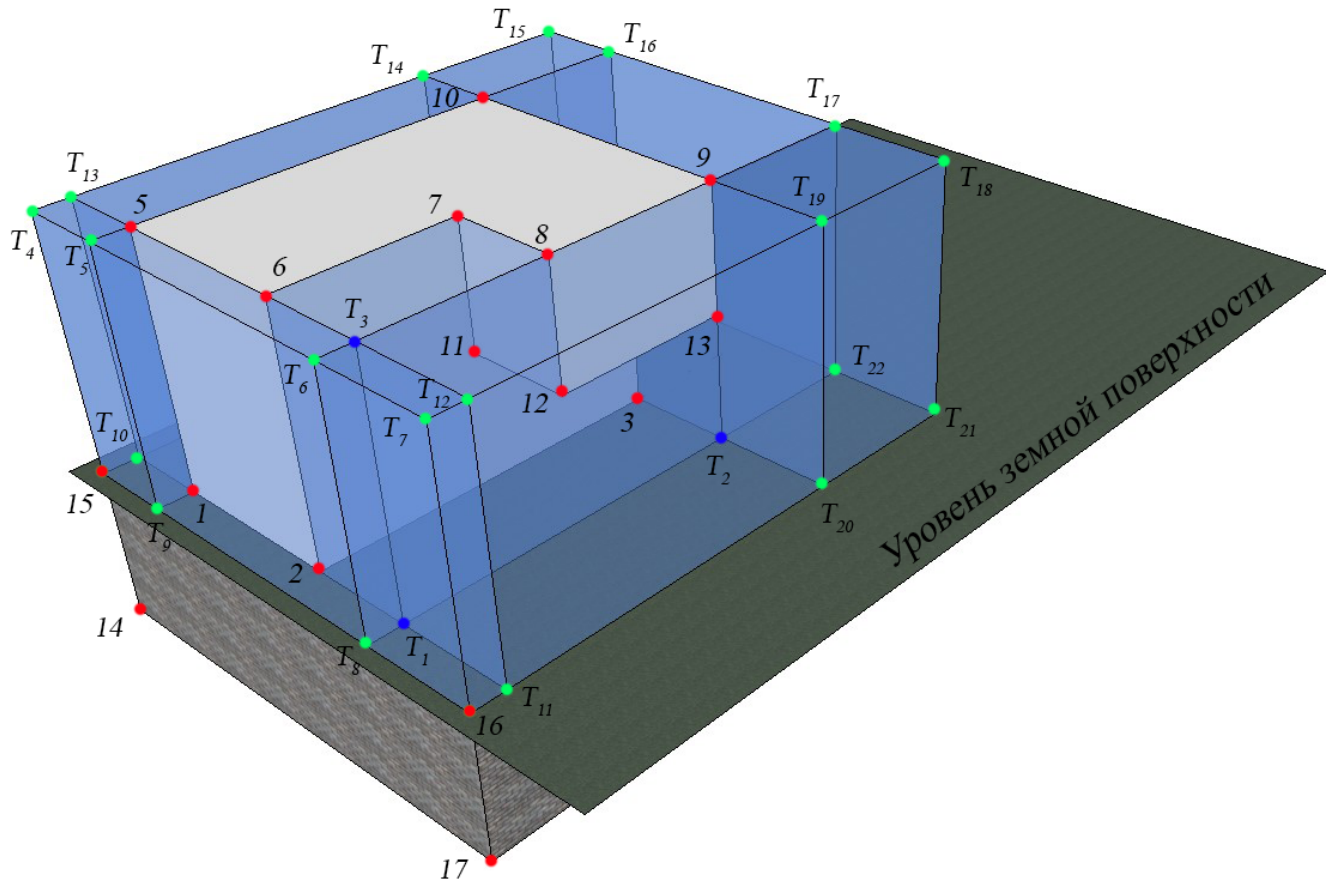


Рисунок 44 – Единая внешняя 3D-модель объекта недвижимости

На рисунке 44 зеленым цветом отмечены вершины, описывающие двухуровневую конфигурацию единой внешней 3D-модели (учитывающей надземный, наземный и подземный контуры объекта недвижимости), и, соответственно, границы «пустых пространств», красным цветом – вершины, описывающие многоуровневую конфигурацию контуров (вершины 14–17 ограничивают подземный контур), синим – двухуровневую конфигурацию надземного и наземного контуров. Полученная модель обеспечивает выполнение требований законодательства к масштабу выполнения 3D-модели [57];

ж) наполнение модели внутренним содержанием (при необходимости). Порядок выполнения данной технологической операции описан в 4.1 диссертационной работы.

На основании анализа основных этапов формирования 3D-модели объектов недвижимости, предлагаемой для условий РФ, можно сделать следующие выводы:

- предлагаемая методика позволяет сформировать 3D-модель, полностью отвечающую современным требованиям законодательства в области кадастра;
- структура модели, представляющая собой совокупность вершин, ребер и ограничивающих поверхностей, не потребует существенного изменения действующих XML-схем, используемых при подготовке технических планов объектов недвижимости;
- выделение «пустых пространств» позволит значительно оптимизировать процесс организации пространства в условиях уплотнения городской застройки;
- предложенные решения обеспечивают возможность более корректного и наглядного описания подземных контуров объектов недвижимости, чем предусмотренные действующим порядком ведения ЕГРН.

4.3 Апробация методики формирования 3D-модели объектов недвижимости

Апробация предложенной методики выполнялась в отношении объекта недвижимости, расположенного на территории Новосибирской области, представляющего собой многоэтажное здание сложной конфигурации (блоки различной высоты, включая нависающие конструктивные элементы), включающее в себя надземный и наземный контур (фото объекта представлено на рисунке 31, далее – объект).

В рамках подготовительного этапа, с учетом выводов, приведенных в 2.2, для формирования 3D-модели объекта применялась БАС вертолетного типа DJI Phantom 4 с неметрической камерой DJI FC330 (фокусное расстояние – 4 мм, размер кадра 4 000 × 3 000 пикселей, размером пикселя 1,56 × 1,56 мкм).

Для закрепления на местности пунктов ПВО были использованы дюбель-гвозди, закрепляющие пластиковые диски контрастного цвета диаметром 0,20 м

в количестве 7 шт. (далее – опорные пункты). Также в состав пунктов ПВО входили восемь пунктов, закрепленных на бордюрных камнях или на придомовой территории в местах, обеспечивающих их сохранность (далее – контрольные пункты). Количество контрольных пунктов подбиралось исходя из существующих требований к плотности пунктов ПВО при выполнении аэрофотосъемки территории и конфигурации моделируемого объекта. Схема расположения опорных и контрольных пунктов ПВО приведена на рисунке 45.

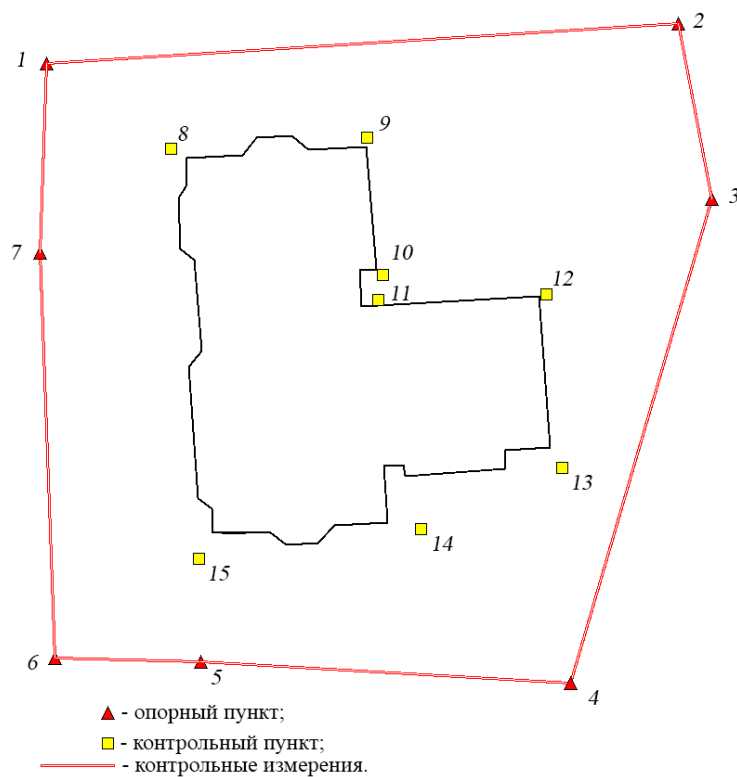


Рисунок 45 – Схема расположения пунктов ПВО

Для координирования опорных и контрольных пунктов применялся GPS-приемник Topcon Hiper SR (измерения выполнялись лучевым методом). В качестве базовой использовалась станция NSKW, являющаяся составной частью ПДБС, расположенных на территории Новосибирской области, и находящаяся на минимальном удалении от объекта. Принцип определения координат опорных и контрольных пунктов с использованием данного метода подробно рассмотрен в рабо-

те [59]. Контроль правильности определения координат пунктов ПВО осуществлялся с помощью контрольных измерений лазерным дальномером Leica Disto 530 и сопоставления с данными, полученными спутниковым методом.

Учитывая существующий порядок определения высоты/глубины конструктивных элементов объектов недвижимости относительно его контура, в качестве высотной отметки H опорных и контрольных пунктов использовались значения Z , полученные в результате GPS-определений.

Таким образом, результатом подготовительного этапа стала сеть пунктов ПВО, закрепленных на территории работ, состоящая из пятнадцати пунктов, семь из которых – опорные, восемь – контрольные, с определенными координатами в системе МСК НСО (зона 4) и высотными отметками.

На этапе выполнения полевых работ проводилась аэрофотосъемка: плановая – величина продольного и поперечного перекрытия выбрана 80 %, и перспективная – по линии окружности вокруг объекта недвижимости с теми же значениями перекрытий и углом захвата 10 градусов. В обоих случаях высота съемки составила 75 м. Также была выполнена фасадная съемка для построения максимально детализированной внешней 3D-модели (LoD 3). Планирование маршрутов плановой и перспективной съемки осуществлялось средствами мобильного приложения Pix4D Poligon Mission. Управление БАС во время аэрофотосъемки выполнялось в автоматическом режиме с помощью автопилота. Обработка результатов измерений производилась с помощью программы Agisoft PhotoScan Professional Edition, результаты представлены на рисунке 46.

Далее, при использовании метода пространственной фототриангуляции (реализуется программно), на основании результатов подготовительного этапа были автоматически определены координаты каждой точки из массива (облака) точек.

Данный объект недвижимости не содержит подземного контура, соответственно все технологические операции относительно его моделирования (в том числе определение координат и глубин характерных точек) не рассматривались.



Рисунок 46 – Результат обработки плановой и перспективной аэрофотосъемки в программном комплексе Agisoft Photoscan

Таким образом, в результате выполнения этапа полевых работ был получен каталог координат массива (облака) точек, описывающих надземный и наземный контуры объекта.

Оценка точности результатов измерений (этап формирования 3D-модели объекта недвижимости) производилась согласно методике определения точности построения 3D-моделей объектов недвижимости по материалам дистанционного зондирования Земли с использованием БАС, предложенной в работе [59]. В результате СКО определения координат составили: опорных точек – в плане и по высоте 0,03 м, контрольных точек – 0,05 и 0,06 м соответственно. Полученные значения соответствуют величинам, предложенным в 4.1 для определения пространственной точности 3D-модели объектов недвижимости (0,10 и 0,15 м), а также существующим требованиям к плановой точности – 0,10 м.

Таким образом, полученная фотограмметрическая модель (представлена массивом (облаком) точек) может быть использована при формировании 3D-модели объекта.

Для дальнейшей работы с полученными данными (построение каркаса модели, моделирование пространства объекта недвижимости и выделение «пустых пространств») использовалась программа Cyclone. На основании ручной обработки массива (облака) точек была сформирована внешняя 3D-модель объекта (рисунок 47), представляющая собой совокупность вершин, ребер и ограничивающих поверхностей с определенными координатами и высотными отметками, описывающая надземный и наземный контуры (включая все конструктивные элементы).



Рисунок 47 – Объект недвижимости и его внешняя 3D-модель

Ввиду большого количества характерных точек и ограниченности размера листа, данные элементы на рисунке 47 (и последующих) не отображены (нумерация аналогична примеру, рассмотренному на рисунке 43).

На основе построенного каркаса модели было смоделировано пространство объекта недвижимости с помощью двухуровневой конфигурации горизонтальных и вертикальных ограничивающих поверхностей (рисунок 48).

Далее в модели были выделены «пустые пространства», которые для наглядности показаны в разрезе на рисунке 49.

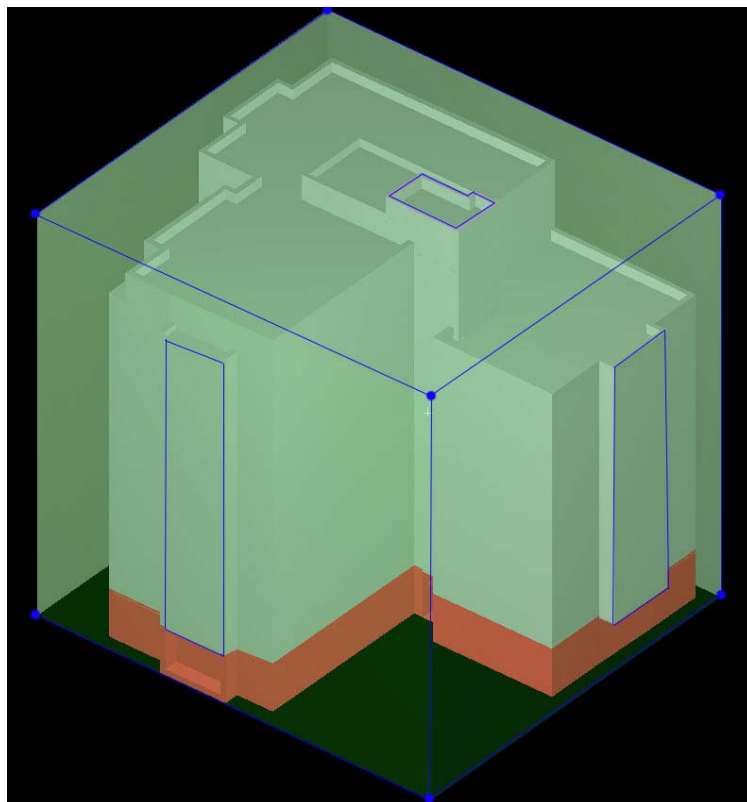


Рисунок 48 – Моделирование пространства исследуемого объекта

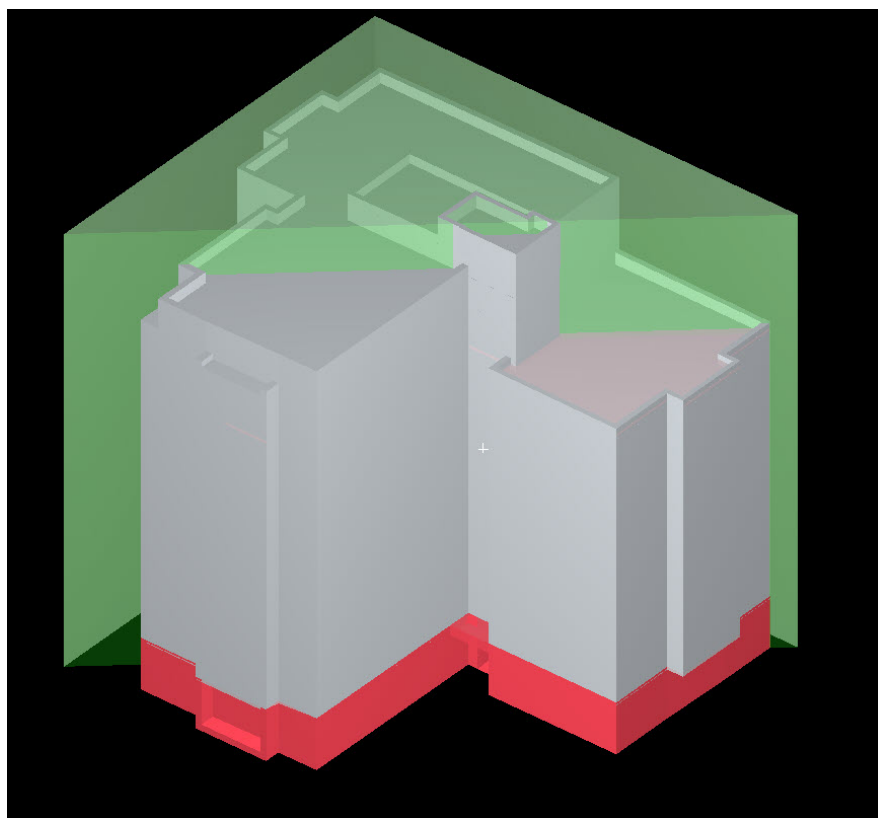


Рисунок 49 – Моделирование «пустых пространств»

Таким образом, учитывая отсутствие подземного контура объекта, модель, представленная на рисунке 49, полностью соответствует предложенной 3D-модели для условий РФ. Стоит отметить, что программа Cyclone не поддерживает экспорт модели в форматах (.dxf, .rvt, .pln, .skp), в связи с чем 3D-модель была экспортирована в программный комплекс Autodesk AutoCad (программы полностью совместимы, формат представления данных – .dxf).

Далее в качестве эксперимента были выполнены работы по наполнению внешней модели (каркаса, см. рисунок 47) на основании данных проектной документации в следующем порядке:

- оцифровка поэтажных планов объекта (2D);
- вычерчивание поэтажных планов (3D);
- загрузка и «привязка» 3D-моделей поэтажных планов во внешнюю 3D-модель;
- оценка расхождения проектных данных и фактических измерений (в рамках эксперимента, среднеинтегральная величина расхождения внешней и внутренней модели (невязка) составила 0,20 м);
- распределение полученной невязки на несущие стены объекта;
- проверка модели на наличие пустот и самопересечений.

Результаты выполнения таких операций приведены на рисунке 50.

Стоит отметить, что выполнение экспериментальных исследований по наполнению внешней модели внутренним содержанием на примере одного объекта дает лишь общее представление о таком методе и требует проведения дальнейших исследований (включая работы по адаптации BIM-моделей). В то же время, результаты апробации методики 3D-моделирования внешнего контура и конструктивных элементов на примере выбранного объекта (сложная конфигурация и различное пространственное положение конструктивных элементов) позволяют сделать вывод о возможности ее внедрения в качестве базовой при выполнении кадастровых работ по формированию 3D-модели объектов недвижимости на территории РФ.

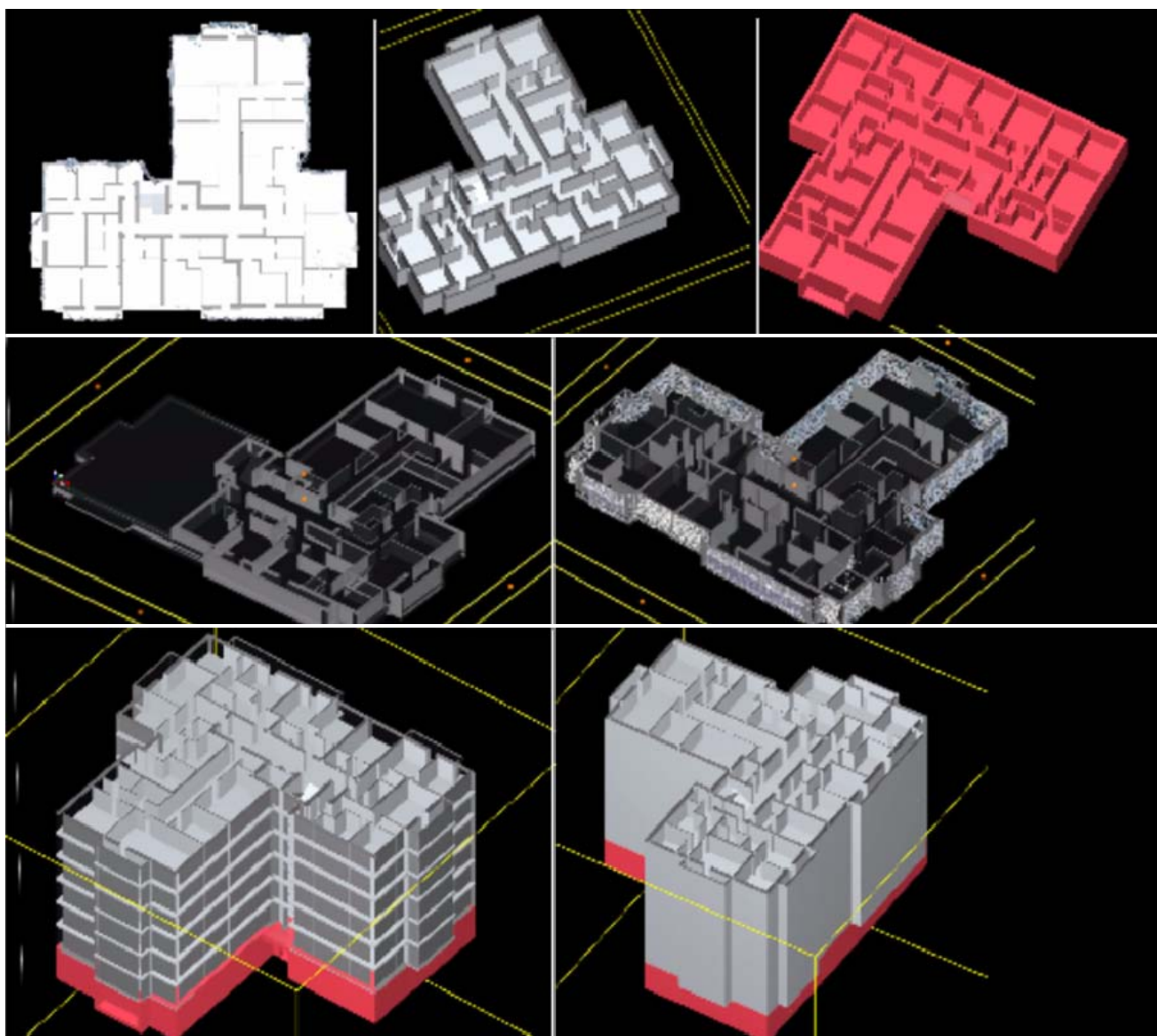


Рисунок 50 – Результаты этапов наполнения внешней модели внутренним содержанием

Основные выводы по разделу 4

В результате выполнения теоретических и экспериментальных исследований получены следующие научные результаты:

- разработано теоретическое обоснование структуры пространственной 3D-модели объектов недвижимости для условий России;
- предложен укрупненный алгоритм оценки пространственной точности формируемой 3D-модели объектов недвижимости;

- разработана технология наполнения внешней 3D-модели объектов недвижимости внутренним содержанием;
- предложено дополнение разработанной классификации вариантов формирования 3D-модели объектов недвижимости с учетом модели, предлагаемой для условий РФ;
- разработана методика формирования 3D-модели объектов недвижимости, предлагаемой для условий РФ, представленная в виде укрупненной технологической схемы;
- проведена апробация предложенной методики на примере объекта недвижимости, представляющего собой многоэтажное здание сложной конфигурации с большим количеством выступающих конструктивных элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования достигнута поставленная цель – разработана методика формирования трехмерного кадастра объектов недвижимости для повышения эффективности государственного кадастрового учета, планирования и управления территориальными образованиями.

Итоги диссертационного исследования заключаются в следующем:

– выполнен аналитический обзор современного состояния вопроса формирования и учета трехмерных моделей объектов недвижимости в кадастрах различных стран (включая Россию), на основании которого определено содержание исследований и разработок в направлении перехода к 3D-кадастру на территории РФ;

– выполнено теоретическое обоснование структуры и содержания 3D-моделей объектов недвижимости с помощью метода теоретико-множественной формализации и выявлены компоненты моделей, зависящие от мерности кадастра: кадастровый номер, пространственная и правовая (юридическая) модели объектов недвижимости;

– выполнен сравнительный анализ процессов формирования пространственных 3D-моделей объектов недвижимости на основании предложенного в работе набора характеристик, влияющих на выбор метода трехмерного моделирования, сделан вывод о целесообразности использования совокупности БАС и тахеометрической съемки (не исключая возможности применения других методов) для 3D-моделирования многоэтажных зданий со сложной конфигурацией и индивидуальных жилых домов;

– разработана система критериев и критериальных показателей, на основании которой предложена классификация вариантов формирования 3D-моделей объектов недвижимости;

– предложен вариант формирования 3D-моделей объектов недвижимости, отвечающий требованиям ЕГРН и не требующий серьезной реорганизации дейст-

вующих XML-схем, применяемых при подготовке технических планов, в состав которых включаются 3D-модели объектов недвижимости;

– разработана методика формирования 3D-моделей объектов недвижимости, включающая «пустые пространства» для повышения качества государственного кадастрового учета и управленческих решений по организации городских территорий;

– осуществлена апробация разработанной методики трехмерного кадастра на примере объекта недвижимости со сложной конфигурацией (многоэтажное здание различной этажности с большим количеством выступающих конструктивных элементов).

Результаты диссертационного исследования могут быть успешно использованы кадастровыми инженерами при выполнении кадастровых работ по формированию 3D-моделей объектов недвижимости 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 интеграцию внутреннего наполнения моделей (помещения, инженерные коммуникации) в формируемые 3D-модели, адаптацию строительных BIM-моделей для целей кадастра и учет подземных коммуникаций для обеспечения эффективного пространственного развития и управления территориями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аврунев, Е. И. Геодезическое обеспечение государственного кадастра недвижимости [Текст] : монография / Е. И. Аврунев. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 144 с.
- 2 Алтынов, А. Е. Точность моделирования объектов недвижимости в 3D кадастре [Текст] / А. Е. Алтынов, И. И. Снежко // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2014. – № 1. – С. 44–48.
- 3 Алябьев, А. А. Фотограмметрический метод в кадастровых работах: цифровые стереомодели и ортофотопланы [Текст] / А. А. Алябьев, К. А. Литвинцев, Е. А. Кобзева // Геопрофи. – 2018. – № 2. – С. 4–8.
- 4 Басова, И. А. К вопросу правового регулирования землепользования при строительстве, реконструкции и эксплуатации протяженных линейных объектов [Текст] // Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов : 5-я Всерос. научно-техн. интернет-конф. / под ред. И. Басовой. – 2015. – С. 55–58.
- 5 Бойков, В. Н. Приоритетные направления развития государственного кадастра недвижимости [Электронный ресурс] / В. Н. Бойков, В. К. Попов, Н. И. Калачева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25323272>. – Загл. с экрана.
- 6 Варламов, А. А. Государственный кадастр недвижимости [Текст] / А. А. Варламов, С. А. Гальченко ; под ред. А. А. Варламова. – М. : КолосС, 2012. – 679 с.
- 7 Варламов, А. А. Зарубежные земельно-кадастровые системы [Текст] / А. А. Варламов // Имущественные отношения в РФ. – 2007. – № 7 (70). – С. 60–68 ; № 8 (71). – С. 74–79.
- 8 Варламов, А. А., Кадастровая деятельность [Текст] : учебник / А. А. Варламов, С. А. Гальченко, Е. И. Аврунев ; под общ. ред. А. А. Варламова. – 2-е изд., доп. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. – 280 с.

9 Волков, С. Н. Землеустройство [Текст] : учебник / С. Н. Волков. – М. : ГУЗ, 2013. – 992 с.

10 Волков, С. Н. Как достичь эффективного управления земельными ресурсами в России? [Текст] / С. Н. Волков, Н. В. Комов, В. Н. Хлыстун // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2015. – № 3. – С. 3–7.

11 Гаврюшина, Н. В. Некоторые вопросы государственного кадастрового учета подземных сооружений [Текст] / Н. В. Гаврюшина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014 : X Междунар. науч. конгр., 8–18 апр. 2014 г. ; Междунар. науч. конф. «Эконом. развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГГА, 2014. – Т. 2. – С. 61–69.

12 Гоголев, Д. В. Применение BIM-технологий при создании трехмерных моделей планировки территории. Интеллектуальный потенциал Сибири [Текст] / Д. В. Гоголев, А. В. Чернов, А. А. Ким // 26 Региональная науч. студ. конф. : сб. науч. тр. в 2 ч. – 2018. – Ч. 2. – С. 410–412.

13 Горобцов, С. Р. Применение 3D технологий для корректного учета объектов недвижимости [Текст] / С. Р. Горобцов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015 : XI Междунар. науч. конгр. ; Междунар. науч. конф. «Эконом. развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 4 т., 13-25 апр. 2015 г. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 3.– С. 127–134.

14 Горобцов, С. Р. Современные технологические решения для развития государственного кадастра недвижимости [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.26 : защищена 20.12.2016 / Горобцов Сергей Романович. – Новосибирск, 2016. – 120 с.

15 Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 29.12.2017) (с изм. и доп., вступ. в силу с 08.08.2018) (18 янв. 2018 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173884/. – Загл. с экрана.

16 Гражданский кодекс Российской Федерации (ГК РФ) от 30.11.1994 № 51-ФЗ (принят ГД ФС РФ 21.10.1994) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/gkrf1/>. – Загл. с экрана.

17 Гук, А. П. Некоторые проблемы построения реалистических измерительных 3D-моделей по данным дистанционного зондирования [Текст] / А. П. Гук, М. М. Шляхова // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 51–60.

18 Гурский, Р. А. Алгоритмы и методы обработки информации, полученной не метрическими камерами [Текст] / Р. А. Гурский // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – Вып. 1 (13). – С. 129–135.

19 Дубровский, А. В. Методическое и технологическое обеспечение рационального землепользования при добыче углеводородов с учетом региональных особенностей крайнего севера [Текст] / А. В. Дубровский, И. Н. Кустышева // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3 (35). – С. 128–138.

20 Жилищный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 188-ФЗ (ред. от 29.07.2018) (19 янв. 2018 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51057/. – Загл. с экрана.

21 Земельный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. От 03.08.2018) (25 авг. 2018 г.). – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173579/. – Загл. с экрана.

22 Исследование возможностей применения квадрокоптера для съемки береговой линии обводненного карьера с целью государственного кадастрового учета [Текст] / И. М. Ламков, А. Ю. Чермошенцев, С. А. Арбузов, А. П. Гук // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 200–209.

23 Карпик, А. П. Анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий [Текст] / А. П. Карпик // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 3–7.

24 Карпик, А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий [Текст] : монография / А. П. Карпик. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с.

25 Карпик, А. П. Совершенствование модели ведения государственного кадастра недвижимости в России [Текст] / А. П. Карпик, Д. Н. Ветошкин, О. П. Архипенко // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 53–59.

26 Карпик, А. П. Сущность геоинформационного пространства территорий как единой основы развития государственного кадастра недвижимости [Текст] / А. П. Карпик, В. С. Хорошилов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 134–136.

27 Карпик, А. П. Управление территорией в геоинформационном дискурсе [Текст] : монография / А. П. Карпик, А. Г. Осипов, П. П. Мурзинцев. – Новосибирск : СГГА, 2010. – С. 280.

28 Карпик, А. П. Электронное геопространство – сущность и концептуальные основы [Текст] / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 41–44.

29 Комиссаров, А. В. Автоматизированные технологии сбора и обработки пространственных данных [Текст] : учебник / А. В. Комиссаров, Е. Н. Кулик. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 306 с.

30 Коняева, А. Г. Значение качества кадастровой информации и ее развитие в современной России [Текст] / А. Г. Коняева, А. П. Сизов // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2011. – № 3. – С. 21–24.

31 Кроненброк, Д. Новые перспективы и проблемы 3D ГИС. От автоматического построения здания до виртуальных городов. Способна ли n-пространственная ГИС представлять пространство пользователя? [Текст] / Д. Кроненброк, М. М. Лазерко // ГЕО-Сибирь-2010 : VI Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов, 19–29 апр. 2010 г. – Новосибирск : СГГА, 2010. – С. 33–47.

32 Куприянов, А. О. Цифровое моделирование при подземных геодезических работах [Текст] / А. О. Куприянов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 4 (12). – С. 57–65.

33 Куприяновский, В. П. Умные города как «столицы» цифровой экономики [Электронный ресурс] / В. П. Куприяновский, С. А. Буланча, В. В. Кононов //

International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4, № 2. – Режим доступа: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/269/214>. – Загл. с экрана.

34 Кустышева, И. Н. Разработка технологических решений по охране и защите земель нефтегазового комплекса в условиях многолетней мерзлоты [Текст] / И. Н. Кустышева // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 192–202.

35 Лисицкий, Д. В. Теоретические основы трехмерного кадастра объектов недвижимости [Текст] / Д. В. Лисицкий, А. В. Чернов // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – 2018 – С. 153–170.

36 Лисицкий, Д. В. Трехмерная компьютерная картография [Текст] : монография / Д. В. Лисицкий, П. Ю. Бугаков, Нгуен Ань Тай. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. –179 с.

37 Лисицкий, Д. В. Формирование трехмерных картографических изображений зданий [Текст] / Д. В. Лисицкий, Нгуен Ань Тай // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С. 127–131.

38 Малыгина, О. И. Трехмерный кадастр – основа развития современного мегаполиса [Текст] / О. И. Малыгина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012 : VIII Междунар. науч. конгр. ; Междунар. науч. конф. «Эконом. развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 4 т., 10-12 апр. 2012 г. – Новосибирск : СГГА, 2012. – Т. 1. – С. 129–133.

39 Медведев, Е. М. Лазерная локация земли и леса [Текст] : учеб. пособие / Е. М. Медведев, И. М. Данилин, С. Р. Мельников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Геолидар, Геоскосмос ; Красноярск : Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.

40 Международный рейтинг стран Doing Business [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://russian.doingbusiness.org/rankings>. – Загл. с экрана.

41 Митрофанова, Н. О. Возможности использования BIM – технологий [Текст] / Н. О. Митрофанова, А. В. Чернов, Е. В. Березина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016 : XII Междунар. науч. конгр., 18–22 апр. 2016 г. ; Междунар.

науч. конф. «Эконом. развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сб. материалов в 3 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – Т. 2. – С. 177–183.

42 Моделирование при геодезическом обеспечении кадастра [Текст] / С. Господинов, В. Я. Цветков, В. В. Ознамец, Н. Н. Сельманова // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 1 (5). – С. 40–47.

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

44 Национальная технологическая инициатива: программа мер по формированию принципиально новых рынков и созданию условий для глобального технологического лидерства России к 2035 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asi.ru/nti/>. – Загл. с экрана.

45 Никитин, В. Н. Опыт построения ортофотоплана по данным крупномасштабной аэрофотосъемки, выполненной с использованием неметрической цифровой камеры [Текст] / В. Н. Никитин, А. В. Семенцов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013 : IX Междунар. науч. конгр., 15–26 апр. 2013 г. ; Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГГА, 2013. – Т. 1. – С. 12–17.

46 О государственной регистрации недвижимости [Электронный ресурс] : федер. закон от 13.07.2015 № 218-ФЗ // СПС «КонсультантПлюс».

47 О кадастровой деятельности [Электронный ресурс] : федер. закон от 24.07.2007 № 221-ФЗ // СПС «КонсультантПлюс».

48 О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-р (ред. от 10.02.2017) // СПС «КонсультантПлюс».

49 О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 13.12.2017), (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2018) (18 янв. 2018 г.). – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_75048/. – Загл. с экрана.

50 О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы [Электронный ресурс] : Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 // СПС «КонсультантПлюс».

51 Об искусственных земельных участках, созданных на водных объектах, находящихся в федеральной собственности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 19.07.2011 № 246-ФЗ (ред. от 29.12.2017) (19 янв. 2018 г.). – Режим доступа : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116987/. – Загл. с экрана.

52 Об утверждении Концепции федеральной целевой программы «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости (2014 – 2019 годы)» [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 28.06.2013 № 1101-р // СПС «КонсультантПлюс».

53 Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») «Повышение качества государственных услуг в сфере государственного кадастрового учета недвижимого имущества и государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним» [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 01.12.2012 № 2236-р (ред. От 11.02.2017) // СПС «КонсультантПлюс».

54 Об утверждении порядка кадастрового деления территории Российской Федерации, порядка присвоения объектам недвижимости кадастровых номеров, номеров регистрации, реестровых номеров границ [Электронный ресурс] : приказ Минэкономразвития России от 24.11.2015 № 877 // СПС «КонсультантПлюс».

55 Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р // СПС «КонсультантПлюс».

56 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 и помещения [Электронный ресурс] : приказ Минэкономразвития России от 01.03.2016 № 90 // СПС «КонсультантПлюс».

57 Об утверждении формы технического плана и требований к его подготовке, состава содержащихся в нем сведений, а также формы декларации об объекте недвижимости, требований к ее подготовке, состава содержащихся в ней сведений [Электронный ресурс] : приказ Минэкономразвития России от 18.12.2015 № 953 // СПС «КонсультантПлюс».

58 ОК 013-2014 (СНС 2008). Общероссийский классификатор основных фондов [Электронный ресурс] : принят и введен в действие приказом Росстандарта от 12.12.2014 № 2018-ст (ред. от 04.07.2017) (21 янв. 2018 г.) – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_184368/. – Загл. с экрана.

59 Оценка точности 3D-моделей, построенных с использованием беспилотных авиационных систем [Текст] / Е. И. Аврунев, Х. К. Ямбаев, О. А. Оприцова, А. В. Чернов, Д. В. Гоголев // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 211–228.

60 Павлов, А. И. Цифровое моделирование пространственных объектов [Текст] / А. И. Павлов // Славянский форум. – 2015. – № 4 (10). – С. 275–282.

61 Пархоменко, Д. В. Лазерное сканирование в государственном кадастре недвижимости: технологические и правовые аспекты [Текст] / Д. В. Пархоменко, И. В. Пархоменко // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33). 2016. – С. 114–124.

62 Петров, М. П. Переход на BIM-технологии в проектировании на примере Autodesk Revit [Текст] / М. П. Петров // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе : материалы конференции. – Пермь : Пермский национал. исследовател. политехн. ун-т, 2015. – Вып. 1. – С. 44–449.

63 Рубанов И. Н. Устойчивое развитие регионов России: интегральная оценка [Текст] / И. Н. Рубанов, В. С. Тикунов // Географический вестник. – 2009. – № 3. – С. 69–76.

64 Рыльский, И. А. Перспективы использования комплексов воздушного лазерного сканирования для картографирования лесов [Текст] / И. А. Рыльский, В. С. Тикунов // Известия Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2016. – Т. 15. – С. 104–113.

65 Середович, В. А. Применение данных мобильного лазерного сканирования для создания топографических планов [Текст] / В. А. Середович, М. А. Алтынцев // ГЕО-Сибирь-2013 : сб. материалов VII Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2013», 15–26 апр. 2013 г. – Новосибирск : СГГА, 2013. – Т. 3. – С. 96–100.

66 Сизов, А. П. Практическая сущность изменений в законодательстве по кадастровым работам [Текст] / А. П. Сизов, Д. А. Шолудько // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА, КАДАСТРА И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ : материалы Междунар. научно-практ. конф., посвящ. 95-летию фак. землеустройства и кадастров ВГАУ. – Воронеж, 2016. – С. 238–241.

67 Снежко, И. И. Методика расчета точности построения моделей объектов недвижимости в 3D кадастре [Текст] : дис. ...канд. техн. наук : 25.00.26 : защищена 19.06.2014 / Снежко Ирина Игоревна. – М., 2014. – 140 с.

68 Современные автоматизированные технологии в кадастре недвижимости [Текст] / И. А. Басова, Е. О. Липская, Е. А. Устинова, В. В. Чекулаев // НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В XXI ВЕКЕ : сб. науч. тр. по материалам Междунар. научно-практ. конф. в 17 ч. – 2014. – С. 20–22.

69 Создание модели трехмерного кадастра недвижимости в России [Электронный ресурс] : заключительный отчет. – Режим доступа: <http://portal.rosreestr.ru>. – Загл. с экрана.

70 Талапов, В. В. Внедрение BIM: впечатляющий опыт Сингапура [Электронный ресурс] / В. В. Талапов. – 2015. – Режим доступа: <https://ardexpert.ru/article/5160>. – Загл. с экрана.

- 71 Талапов, В. В. О некоторых принципах, лежащих в основе BIM [Текст] / В. В. Талапов // Известия вузов. Строительство. – 2016. – № 4 (688). – С. 108–114.
- 72 Талапов, В. В. Об общей схеме информационной модели объекта строительства [Текст] / В. В. Талапов // Известия вузов. Строительство. – 2017. – № 1 (689). – С. 91–97.
- 73 Талапов, В. В. Технология BIM: суть и основы внедрения информационного моделирования зданий [Текст] / В. В. Талапов. – М. : ДМК-пресс, 2015. – 410 с.
- 74 Талапов, В. В. BentleySystems в Сингапуре: отель Марина БэйСэндс [Электронный ресурс] / В. В. Талапов. – 2017. – Режим доступа: <https://ardexpert.ru/article/11095>. – Загл. с экрана.
- 75 Талапов, В. В. BIM: что под этим обычно понимают [Текст] / В. В. Талапов // CADmaster. – 2011. – № 2 (57). – С.10–16.
- 76 Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс] : федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) (21 янв. 2018 г.). – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/. – Загл. с экрана.
- 77 Технологические аспекты построения 3D-модели инженерных сооружений в городах арктического региона РФ [Текст] / Е. И. Аврунев, А. В. Чернов, А. В. Дубровский, А. В. Комиссаров, Е. Ю. Пасечник // Известия Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 7. – С.131–137.
- 78 Управление земельными ресурсами [Текст] / Д. А. Шаповалов, А. А. Варламов, С. А. Гальченко и др. – М. : ГУЗ, 2014. – 261 с.
- 79 Цветков, В. Я. Автоматизированные фотограмметрические методы восстановления архитектурных объектов [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.24.02 : защищена 18.11.1994 / Цветков Владимир Яковлевич. – М., 1994. – 323 с.
- 80 Чернов, А. В. Анализ преимуществ применения технологии информационного моделирования объектов недвижимости при ведении ЕГРН [Текст] / А. В. Чернов, Д. В. Гоголев, А. А. Ким // Интерэкспо ГЕО-Сибирь : XIV Между-

нар. науч. конгр., 23-27 апр. 2018 г. ; Междунар. науч.-технолог. конф. студентов и молодых ученых "Молодежь. Наука. Технологии" : сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – Т. 1. – С. 43–50.

81 Чернов, А. В. Вычисление площадей земельных участков для трехмерного кадастра недвижимости [Текст] / А. В. Чернов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015 ; XI Междунар. науч. конгр. ; Междунар. науч. конф. «Эконом. развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 4 т., 13-25 апр. 2015 г. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 3. – С. 223–229.

82 Чернов, А. В. Исследование вариантов построения 3D-модели объектов недвижимости для целей кадастра [Текст] / А. В. Чернов // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3 – С. 192–210.

83 Чернов, А. В. Моделирование пространственных объектов недвижимости в 3D кадастре [Текст] / А. В. Чернов // Современные вопросы землеустройства, кадастра и мониторинга земель : материалы региональной научно – практ. конф., 26 нояб. 2016 г. / отв. ред. А. М. Олейник. – Тюмень : ТИУ, 2016. – С. 190–199.

84 Чернов, А. В. Основные этапы становления и развития 3D кадастра в странах-членах FIG [Текст] / А. В. Чернов, М. И. Окунева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь ; XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апр. 2018 г. ; Междунар. науч.-технолог. конф. студентов и молодых ученых «Молодежь. Наука. Технологии» : сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – Т. 1. – С. 35–43.

85 Чернов, А. В. Применение BIM-технологий для моделирования объектов недвижимости при ведении ЕГРН [Текст] / А. В. Чернов, А. А. Ким, Д. В. Гоголев // Интеллектуальный потенциал Сибири : 26 Регионал. науч. студ. конф. : сб. науч. тр. в 2 ч. – 2018. – Ч. 2. – С. 424–426.

86 Чернов, А. В. Развитие системы геопространственных данных с использованием технологии Blockchain [Текст] / А. В. Чернов, А. А. Ким // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения :

сб. материалов Национальной научно-практ. конф. 14-15 дек. 2017 г. В 2 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – Ч. 2. – С. 191–198.

87 Чернов, А. В. Современные технологические решения при ведении кадастра в различных странах [Текст] / А. В. Чернов // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сб. материалов Национальной научно-практ. конф., 14–15 дек. 2017 г. В 2 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – Ч. 2. – С. 2–8.

88 Чернов, А. В. Трехмерная визуализация проекта планировки территории на примере объекта «Салаир Олимпик» [Текст] / А. В. Чернов, Д. В. Гоголев // Инженерная графика и трехмерное моделирование : Молодежная научно-практ. конф., 20 дек. 2017 г. : сб. науч. докл. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 27–31.

89 Чернов, А. В. Трехмерный кадастр – основной вектор развития успешной кадастровой системы [Текст] / А. В. Чернов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016 ; XII Междунар. науч. конгр., 18-22 апр. 2016 г. ; Междунар. науч. конф. «Эконом. развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сб. материалов в 3 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – Т. 2. – С. 81–87.

90 Черных, А. BIM-технология и его продукты на его основе в России [Текст] / А. Черных, М. Н. Якушев // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2014. – № 1 (61). – С. 119–121.

91 Шаповалов, Д. А. Современные проблемы землепользования [Текст] : учеб. пособие / Д. А. Шаповалов, А. А. Варламов, П. В. Ключин. – М. : ГУЗ, 2013. – 221 с.

92 Шахраманьян, А. М. Опыт применения технологий информационного моделирования зданий при строительстве олимпийских объектов Сочи-2014 и стадионов чемпионата мира по футболу 2018 [Текст] / А. М. Шахраманьян, А. В. Яременко, Ю. М. Блохин // Строительство: наука и образование. – 2016. – Т. 8, № 2. – С. 10.

93 A Taxonomy of Spatial Units in a Mixed 2D and 3D Cadastral Database [Электронный ресурс] / R. Thompson, P. Oosterom, S. Karki, B. Cowie // FIG Working Week. – Sofia, Bulgaria, 2015. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2015_20.pdf. – Загл. с экрана.

94 Accuracy of 3D Building Models Created Using Terrestrial and Airborne Laser Scanning Data [Электронный ресурс] / A. Borkowski, G. Jozkow, M. Ziaja, K. Beczek // FIG Congress 2014. Engaging the Challenges – Enhancing the Relevance. – Kuala Lumpur, Malaysia, 2014. – Режим доступа: http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2014/papers/ts08k/TS08K_borkowski_jozkow_et_al_7003_abs.pdf. – Загл. с экрана.

95 Araujo, A. L. Overlapping Characterization of Spatial Parcels in Brazil: Case in Florianopolis [Электронный ресурс] / A. L. Araujo, F. H. Oliveira // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_32.pdf/. – Загл. с экрана.

96 Astrand, L. Experiences of 3D Cadastre in Åre, Sweden [Электронный ресурс] / L. Astrand // Implementing a New Tool for the Property Market. FIG Working Week 2008, Stockholm. – P. 17. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2008_02.pdf. – Загл. с экрана.

97 Autodesk (2018). Autodesk Navisworks [Программный продукт].

98 BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. USA [Электронный ресурс] / C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. – 2011. – Режим доступа: <https://leseprobe.buch.de/images-adb/fa/27/fa270d6f-63c2-46d6-958c-b886414737af.pdf>. – Загл. с экрана.

99 Bydlosz, J. Developing the Polish Cadastral Model towards a 3D Cadastre [Электронный ресурс] / J. Bydlosz // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_38.pdf. – Загл. с экрана.

100 Can Data from BIMs be Used as Input for a 3D Cadastre? [Электронный ресурс] / J. Oldfield, P. Oosterom, W. Quak, J. Veen, J. Beetz // The 5th International

FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_21.pdf. – Загл. с экрана.

101 Chandrasekar, K. S. A comparative analysis of smart city initiatives by China and India - Lessons for India [Текст] / K. S. Chandrasekar, B. Vajracharya, D. O'Hare // Bond University, Gold Coast, 2016. – P. 20.

102 Conceptual Modelling of 3D Cadastre and LADM [Электронный ресурс] / N. Zulkifli, A. Rahman, M. Hassan, T. Choon // World Cadastre Summit, Conference and Exhibition. – 2015, Istanbul. – P. 18. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2015_04.pdf. – Загл. с экрана.

103 Construction Geometric Model and Topology for 3d Cadastre – case Study in Taizhou, Jiangsu [Электронный ресурс] / Y. Ding, C. Wu, N. Jiang, B. Ma, X. Zhou // FIG Working Week. – New Zealand, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_06.pdf. – Загл. с экрана.

104 3D Cadastral Data Model Based on Conformal Geometry Algebra [Электронный ресурс] / J. Zhang, P. Yin, G. Li, H. Gu, H. Zhao, J. Fu // ISPRSInt. J. Geo-Inf. 2016, 5, 20. – Режим доступа: doi:10.3390/ijgi5020020. – Загл. с экрана.

105 3D Real Property Legal Concepts and Cadastre: A Comparative Study of Selected Countries to Propose a Way Forward (Overview Report) [Электронный ресурс] / D. Kitsakis, J. Paasch, J. Paulsson, G. Navratil, N. Vucic, M. Karabin, A. Carneiro, M. El-Mekawy // 5th International Workshop on 3D Cadastres, 2016, Athens, pp. 1–24. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_11.pdf. – Загл. с экрана.

106 Döner, F. Conformity of LADM for Modeling 3D/4D Cadastre Situations in Turkey [Текст] / F. Döner, C. Biyik // 5th Land Administration Domain Model Workshop, 2013. – 24–25 Sept., Kuala Lumpur, Malaysia. – P. 433–446.

107 El-Mekawy, M. The Integration of 3D Cadastre, 3D property formation and BIM in Sweden [Текст] / M. El-Mekawy, J. M. Paasch, J. Paulsson // Proceedings 4th International FIG 3D Cadastre Workshop, Dubai, United Arab Emirates, 9-11 November. – 2014. – PP. 17–34.

108 Geographic Information – Land Administration Domain Model (LADM) от 12.2012 ISO 19152:2012 [Электронный ресурс] // International Organization for Standardization. – Загл. с экрана.

109 Gulliver, T. A 3D Digital Cadastre for New Zealand by 2021: Leveraging the Current System and Modern Technology [Электронный ресурс] / T. Gulliver, A. Haanen, M. Goodin // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_36.pdf. – Загл. с экрана.

110 Harnessing BIM for 3D Digital Management of Stratified Ownership Rights in Buildings [Электронный ресурс] / B. Atazadeh, M. Kalantari, A. Rajabifard, T. Champion, S. Ho // FIG Working Week. – New Zealand, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_03.pdf. – Загл. с экрана.

111 Higgins, M. Latest trends in positioning & their impact for Cadastre 2034 [Электронный ресурс] / M. Higgins. – Режим доступа: <http://s3-ap-southeast-2.amazonaws.com/ap-southeast-2.accounts.ivvy.com/account653/events/49155/files/5510e38dab020.pdf>. – Загл. с экрана.

112 Ho, S. Invisible constraints on 3D innovation in land administration: A case study on the city of Melbourne [Электронный ресурс] / S. Ho, A. Rajabifard, M. Kalantari // Land Use Policy 42, pp. 412-425, 2015. – Режим доступа: doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.08.017

113 Initial Analysis of the Second FIG 3D Cadastres Questionnaire: Status in 2014 and Expectations for 2018 [Электронный ресурс] / P. Oosterom, J. Stoter, H. Ploeger, C. Lemmen, R. Thompson, S. Karki // The 4-th International Workshop on 3D Cadastres. – Dubai, United Arab Emirates, 2014. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2014_14.pdf. – Загл. с экрана.

114 Initial Registration of 3D Parcels [Электронный ресурс] / E. Dimopoulou, S. Karki, R. Miodrag, J. P. Almeida, C. Griffith-Charles, R. Thompson, S. Ying, P. Oosterom // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. –

Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_16.pdf. – Загл. с экрана.

115 ISO (2013). ISO 16739, Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries (IFC) [Текст] ISO, Geneva, Switzerland.

116 Jaljolie, R. Systematic Analysis of Functionalities for the Israeli 3D Cadastre [Электронный ресурс] / R. Jaljolie, P. Oosterom, S. Dalyot // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_35.pdf. – Загл. с экрана.

117 Janecka, K. Country Profile for the Cadastre of the Czech Republic Based on LADM [Электронный ресурс] / K. Janecka, P. Soucek // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_24.pdf. – Загл. с экрана.

118 Kalantari, M. Cadastral Data Modelling-A Tool for e-Land Administration [Электронный ресурс] / M. Kalantari // The University of Melbourne. – Victoria, Australia, 2008. – Режим доступа: http://www.csdila.unimelb.edu.au/publication/theses/Mohsen_Kalantari_PhD_Thesis.pdf. – Загл. с экрана.

119 Karki, S. An Overview of 3D Cadastre from a Physical Land Parcel and a Legal Property Object Perspective XXIV [Электронный ресурс] / S. Karki, K. McDougall, R. Thompson // International FIG Congress, 2010, Sydney, 13 p. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2010_07.pdf. – Загл. с экрана.

120 Kaufmann, J. Cadastre 2014 [Электронный ресурс] / J. Kaufmann, D. Steudler // International Federation of Surveyors (FIG). – Copenhagen, Denmark, 1998. – Режим доступа: http://www.eurocadastre.org/pdf/cadastre_2014.pdf. – Загл. с экрана.

121 Khoo, V. Towards «Smart Cadastre» that Supports 3D Parcels. [Текст] / V. Khoo // 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices. Shenzhen (China). – 2012. – 25–26 October.

122 Kostov, G. Application of 3D Terrestrial Laser Scanning in the Process of Update or Correction of Errors in the Cadastral Map [Электронный ресурс] / G. Kostov // FIG Working Week 2017. Surveying the world of tomorrow – From digitalisation to augmented reality. – Helsinki, Finland, 2017. – Режим доступа: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2017/papers/ts01h/TS01_H_kostov_8802.pdf. – Загл. с экрана.

123 Kumar, P. Automated Extraction of Buildings from Aerial LiDAR Point Cloud and Digital Imaging Datasets for 3D Cadastre [Электронный ресурс] / P. Kumar, A-A. Rahman, G. Buyuksalih // Pre-liminary Results WCS-CE // The World Cadastre Summit, Congress. Istanbul, Turkey, 20–25 April 2015. Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2015_09.pdf. – Загл. с экрана.

124 Oosterom, P. Best Practices 3D Cadastres. Extended version [Электронный ресурс] / P. Oosterom // Delft, Netherlands, 2018. – Режим доступа: <http://www.gdmc.nl/3DCadastres/>. – Загл. с экрана.

125 Open Geospatial Consortium: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard [Текст]. Version 2.0.0, 2012. – 2012.

126 Overview of Legal and Institutional Aspects of Croatian Cadastre and Possibilities for its Upgrading to 3D [Электронный ресурс] / N. Vucic, M. Roic, M. Mader // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_14.pdf. – Загл. с экрана.

127 Pouliot, J. Subsurface Utility Network Registration and the Publication of Real Rights: Pending for a Full 3D Cadastre [Электронный ресурс] / J. Pouliot, P. Girard // FIG Working Week. – New Zealand, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_01.pdf. – Загл. с экрана.

128 Resch, B. Web-based 4D visualization of Marine Geo-Data using WebGL [Текст] / B. Resch, W. Spitzer, C. Wosniok // Cartography and Geographic Information Science. – 2014. – 41 (3). – P. 235–247.

129 Russian-Dutch Project «3D Cadastre Modelling in Russia» [Электронный ресурс] / G. Elizarova, S. Sapelnikov, N. Vandysheva, S. Pakhomov, P. Oosterom, M. Vries, J. Stoter, H. Ploeger, B. Spiering, R. Wouters, A. Hoogeveen, V. Penkov // 3rd International Workshop on 3D Cadastres, 2012, Shenzhen. – PP. – 87–102. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2012_36.pdf. – Загл. с экрана.

130 Seddiki, M. Case study on the 3D Cadastre in Algeria: First Application of the FIG Recommendations [Электронный ресурс] / M. Seddiki // 5th International Workshop on 3D Cadastres, 2016, Athens. – PP. 389–404. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_31.pdf. – Загл. с экрана.

131 Seifert, M. Multidimensional Cadastral System in Germany [Электронный ресурс] / M. Seifert // FIG Working Week. – New Zealand, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_07.pdf. – Загл. с экрана.

132 Shen Ying. Application of 3D GIS to 3D Cadastre in Urban Environment [Текст] / Shen Ying, Renzhong Guo, Lin Li // 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices, 2012 – Shenzhen, China. – PP. 253–272.

133 Sisman, A. Registration Needs in the Third-Dimension Cadastre [Электронный ресурс] / A. Sisman, R. Yildirim // World Cadastre Summit, Conference and Exhibition, 2015, Istanbul/ – PP. 7. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2015_12.pdf. – Загл. с экрана.

134 Solutions for 4D cadastre - with a case study on utility networks [Текст] / F. Döner, R. Thompson, J. Stoter, C. Lemmen, H. Ploeger, P. van Oosterom, S. Zlatanova // International Journal of Geographical Information Science. – 2011. – 25(7). – PP. 1173–1189.

135 Soon, K. H. Initial Design to Develop a Cadastral System that Supports Digital Cadastre, 3D and Provenance for Singapore [Электронный ресурс] / K. H. Soon, D. Tan, V. Khoo // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_33.pdf. – Загл. с экрана.

136 Steudler, D. CADASTRE 2014 and Beyond [Электронный ресурс] / D. Steudler. – Режим доступа: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub61/Figpub61.pdf>. – Загл. с экрана.

137 Stoter, J. First 3D Cadastral Registration of Multi-level Ownerships Rights in the Netherlands [Электронный ресурс] / J. Stoter, H. Ploeger, R. Roes // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_37.pdf. – Загл. с экрана.

138 Thompson, R. Mixed 2D and 3D Survey Plans with Topological Encoding [Электронный ресурс] / R. Thompson, P. Oosterom, K. H. Soon, // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_17.pdf. – Загл. с экрана.

139 United Nations Department of Economic and Social Affairs. World Urbanization Prospects [Электронный ресурс] // Werbegrafik Bruno Teucher, CH-8055. – Rüdlingen, Switzerland, 2014. – Режим доступа: http://www.unic.ru/sites/default/files/World%20Urbanization%20Prospects%20WUP2014-Highlights%20%281%29_0.pdf. – Загл. с экрана.

140 Utilizing 3D Building and 3D Cadastre Geometries for Better Valuation of Existing Real Estate [Текст] / U. Isikdag, M. Horhammer, S. Zlatanova, R. Kathmann, P. van Oosterom // Proceedings of the FIG Working Week 'From the wisdom of ages to the challenges of modern world, 2015.– PP. 1–18.

141 Valstad, T. 3D Cadastres in Europe [Электронный ресурс] / T. Valstad // Cadastral Infrastructure, Bogota. – 2005. – P. 11. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2005_01.pdf. – Загл. с экрана.

142 Vucic, N. Topographic Signs - Important Context for a 3D Cadastre [Электронный ресурс] / N. Vucic, P. Oosterom, D. Markovinovic // The 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. – Athens, Greece, 2016. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_30.pdf. – Загл. с экрана.

143 Xu, S. Detection and classification of changes in buildings from airborne laser scanning data [Текст] / S. Xu, G. Vosselman, S. J. Oude Elberink // ISPRS Annals

Volume II-5/W2 : ISPRS Workshop laser scanning, 11-13 November 2013, Antalya, Turkey/edited by M. Scaioni et al, Antalya: ISPRS, 2013. – PP. 343–348.

144 Zulkifli, N. A. 3D Strata Objects Registration for Malaysia within the LADM Framework [Электронный ресурс] / N. A. Zulkifli, A. Rahman, P. Oosterom // The 4-th International Workshop on 3D Cadastres. – Dubai, United Arab Emirates, 2014. – Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2014_36.pdf. – Загл. с экрана.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

ПЕРЕЧЕНЬ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ, ПОДЛЕЖАЩИХ ГОСУДАРСТВЕННОМУ КАДАСТРОВОМУ УЧЕТУ



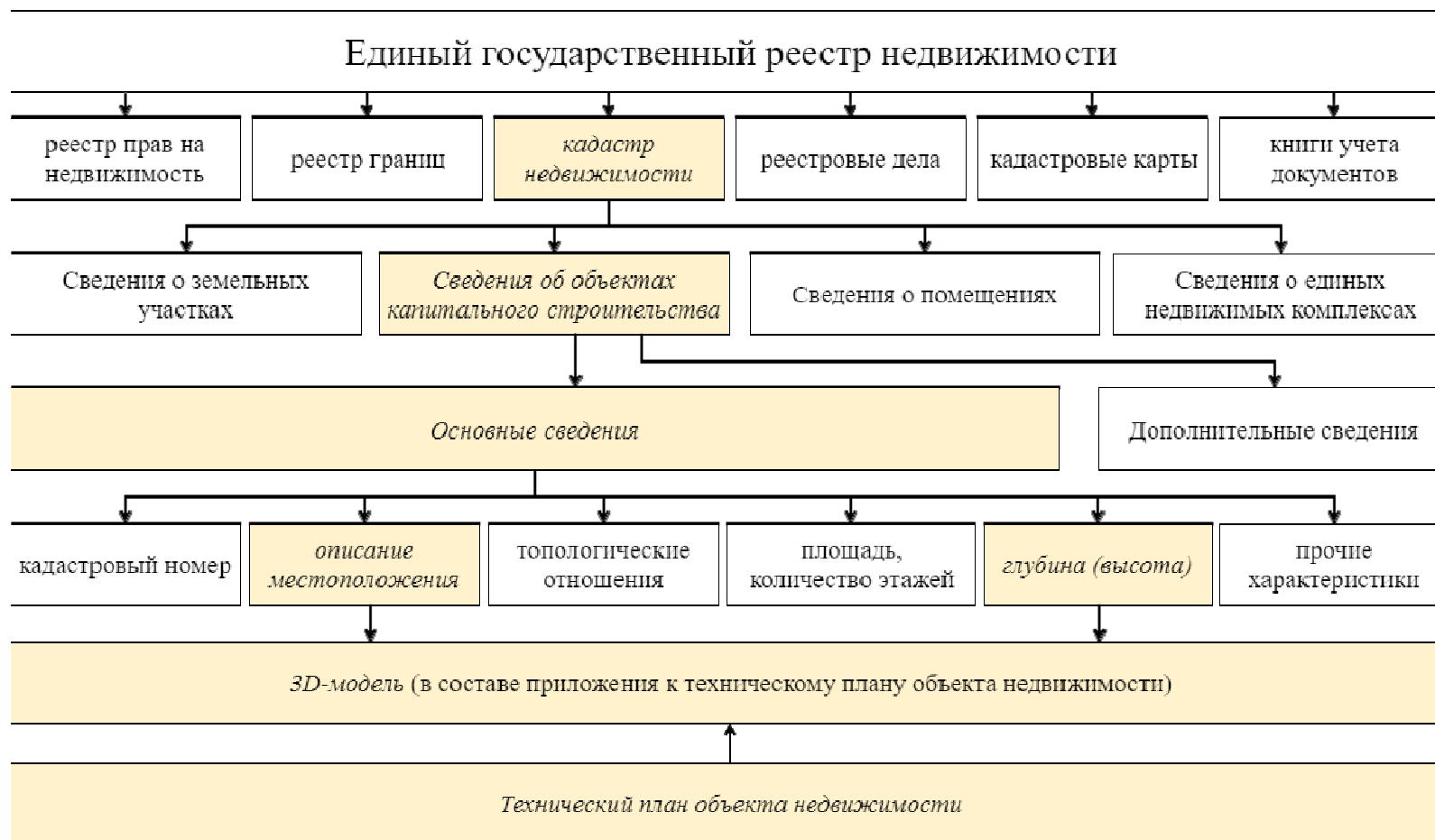
→ стрелка обозначает тип связи объектов - «включение»;

* полный перечень объектов представлен в «ОК013-2014 (СНС 2008). Общероссийский классификатор основных фондов».

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

МЕСТО 3D-МОДЕЛИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ ЕГРН



ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)
ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ В ЕГРН

