

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ЦИФРОВАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ

УДК 528:004.94

Е. В. ПОПОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры инженерной графики и информационного моделирования; **К. Т. ХОВАНСКАЯ**, магистрант кафедры инженерной графики и информационного моделирования; **А. В. ЧЕЧИН**, канд. техн. наук, зав. кафедрой геоинформатики, геодезии и кадастра

ИНТЕГРАЦИЯ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В КАДАСТРОВУЮ СИСТЕМУ: РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (910) 144-10-28; эл. почта: popov_evgene@list.ru

Тел.: (927) 824-55-07; эл. почта: kira.hovnsk@gmail.com

Тел.: (920) 253-80-23; эл. почта: chechin@nngasu.ru

Ключевые слова: 3D-моделирование, кадастр, гео-СУБД, цифровой двойник, BIM.

Работа посвящена исследованию применения трёхмерного моделирования в кадастровом учёте недвижимости, с акцентом на преимущества архитектуры и сложности внедрения 3D-кадастра. Проведён анализ моделей (2D, 2.5D, 3D) и технологических ограничений гео-СУБД. Практическая часть включает построение цифровой модели промышленного объекта ООО «Ульяновскхлебпром» с использованием программного обеспечения NapoCAD. Обоснована необходимость нормативной и методологической поддержки для внедрения 3D-кадастра в России с учётом международного опыта и развития BIM-технологий.

Введение

Трёхмерное (3D) моделирование – это сложный технологический процесс, который включает в себя полный цикл работ от первичного сбора данных до создания интерактивной цифровой модели. Вопреки распространённому заблуждению, оно не ограничивается лишь конвертацией облаков точек (полученных с помощью лидаров, фотограмметрии или других методов сканирования) в полигональные сетки или текстурированные поверхности. Напротив, 3D-реконструкция подразумевает:

- предпроектный анализ (определение целей моделирования, выбор методов сбора данных);
- сбор и обработку исходных данных (фотограмметрия, лазерное сканирование, ручной ввод параметров);
- геометрическое моделирование (построение каркаса, топологическая оптимизация);
- текстурирование и визуализацию (наложение материалов, настройка освещения);
- верификацию и постобработку (проверка точности, оптимизация для целевой платформы).



Таким образом, 3D-моделирование – это комплексная дисциплина, объединяющая методы компьютерной графики, геодезии и машинного обучения.

Проблема автоматизации процессов 3D-реконструкции остаётся ключевым вызовом для исследователей в области:

- компьютерного зрения (алгоритмы сегментации, сопоставление);
- фотограмметрии (восстановление геометрии по множеству 2D-изображений);

- искусственного интеллекта (нейросетевые методы генерации 3D-моделей).

Применение цифровых двойников охватывает широкий спектр задач:

- Промышленность и инженерия: контроль качества, *reverse engineering*, цифровые двойники изделий.

- ГИС и картография: создание 3D-карт городов для умной урбанистики.

- Культурное наследие:

- Архивация (прецизионная фиксация памятников архитектуры для реставрации);

- Виртуальные музеи (интерактивные экспозиции с элементами геймификации);

- Образование (3D-реконструкции исторических объектов для *immersive*-обучения).

Требования, предъявляемые ко многим прикладным задачам (включая цифровое архивирование конструкторской документации и картографирование), предусматривают:

1. Высокую геометрическую точность.
2. Фотореалистичность визуализации.
3. Полноту передачи деталей модели.
4. Автоматизацию процесса.
5. Экономическую эффективность.
6. Портативность оборудования.
7. Гибкость методики.

В связи с этим выбор оптимального метода 3D-моделирования, удовлетворяющего всем указанным критериям для конкретного приложения, представляет собой весьма сложную задачу, требующую учёта множества параметров. Рассмотрим особенности внедрения технологий 3D-моделирования на примере области кадастровой регистрации объектов недвижимости.

Модели для систем кадастра

Первоначальной функцией кадастровой регистрации преимущественно являлось обеспечение фискальной политики в сфере земельного налогообложения. В современном контексте кадастровые системы выполняют более широкий спектр задач: они предоставляют релевантные данные для обеспечения земельно-имущественных сделок, способствуя повышению их эффективности и правовой определённости в вопросах владения. Кроме того, кадастровая информация служит основой для административного регулирования и фискального управления на различных уровнях государственного управления.

Сфера применения кадастровой регистрации значительно расширилась и охватывает теперь как частный, так и государственный сектора в области землеустройства, градостроительного и сельского планирования, управления земельными ресурсами и экологического мониторинга, выйдя за рамки исключительно кадастровой съёмки и картографирования.



Возрастающий научно-практический интерес к концепции трёхмерного (3D) кадастра обусловлен комплексом взаимосвязанных факторов:

- существенным увеличением рыночной стоимости объектов недвижимости (включая частные владения);

- значительным ростом числа и сложности пространственно-распределённых имущественных комплексов за последние четыре десятилетия, включая: подземные сооружения (тоннели, паркинги, торговые центры), инженерно-технические коммуникации (трубопроводы водоснабжения, канализации, энергоснабжения; кабельные линии связи, телевидения), а также надземные/надтранспортные конструкции (здания над автомобильными или железными дорогами);

- развитием 3D-подходов в смежных технологических областях (3D-ГИС, 3D-планирование), создающих технико-методологическую базу для реализации 3D-кадастра.

Термин «3D-кадастр» не имеет универсальной трактовки. Семантический спектр варьируется от концепции полноценного пространственного кадастра, оперирующего объёмными (3D) имущественными единицами, до модификации традиционного (2D) кадастра, дополненной ограниченным набором трёхмерных атрибутов.

Анализ международного опыта в области кадастрового учёта и регистрации прав на недвижимость позволяет выделить следующие концептуальные модели кадастровых систем.

1. Двухмерный (2D) кадастр: представляет собой традиционную систему, в которой пространственные характеристики объектов недвижимости фиксируются исключительно на плоскости посредством координат X и Y . Объекты учёта отображаются в виде двухмерных контуров.

2. Двухмерный кадастр с псевдотрёхмерным представлением (2.5D): Данная модель занимает промежуточное положение между классическим 2D-кадастром и полноценными трёхмерными системами. Её сущность заключается в вертикальном стратифицировании объектов недвижимости на блоки с фиксированными высотными параметрами, что позволяет частично учесть третье измерение без перехода к объёмному моделированию.

3. Трёхмерный (3D) кадастр – это цифровая система учёта недвижимости, фиксирующая права на пространственные имущественные объекты, то есть объёмные участки (например, этажи зданий, подземные сооружения или воздушные зоны). В отличие от традиционного кадастра, оперирующего плоскими границами, 3D-версия учитывает сложные архитектурные формы и многоуровневые правоотношения. В мировой практике выделяют следующие подходы к организации 3D-кадастра:

- Гибридная модель:

сочетает 2D-карты с привязанными к ним 3D-объектами (например, этажи на плане здания).

Пример: регистрация прав на отдельные помещения в торговом центре.

- Интегрированная модель:

полностью трёхмерная база данных, где каждый объект имеет геометрические и юридические атрибуты.

Применение: учёт подземных коммуникаций или многоуровневых транспортных развязок.



– Семантическая модель:

добавляет смысловые связи между объектами (например, «парковочное место → владелец → договор аренды»).

Перспективное применение: умные города с автоматизированным управлением ресурсами.

– Полная (нативная) модель:

реализует права на пространственные объекты (объёмные участки), где базовой единицей учёта является трёхмерно ограниченная часть пространства. Права регистрируются непосредственно на эти пространственные единицы, которые могут не совпадать с границами земельной собственности. Это фундаментальное отличие от гибридной модели, где трёхмерная информация всё же привязана к двухмерной регистрации права на земельный участок.

Сравнительный анализ представленных моделей кадастровых систем (2D, 2.5D, гибридный, полный 3D) позволяет выявить их специфические преимущества, ограничения и области применения в контексте задач учёта и регистрации недвижимости. Выбор оптимальной модели определяется комплексом факторов, включая характер объектов учёта, требования к детализации пространственной информации, доступные технологические ресурсы и правовые рамки [1].

Комбинирование гео-СУБД и 3D в трёхмерном кадастре

Современные геоинформационные системы управления базами данных (гео-СУБД) характеризуются отсутствием встроенного инструментария для формирования и обработки трёхмерных геометрических моделей [2]. Данное ограничение порождает две ключевые проблемы:

1. Отсутствие поддержки семантики 3D-объектов: гео-СУБД не обладают средствами для корректного распознавания и моделирования пространственных объектов в трёх измерениях. Это приводит к некорректной работе базовых функций СУБД, включая:

- невозможность валидации целостности и корректности 3D-моделей;
- отсутствие специализированных операций редактирования для трёхмерных сущностей.

Вследствие указанных ограничений интеграция 3D-моделей в гео-СУБД возможна лишь через их проекцию на плоскость, что исключает учёт третьего измерения в пространственных операциях.

2. Неэффективное и семантически некорректное хранение 3D-геометрии: при представлении трёхмерного объекта в виде единого мультиполигонального объекта или неструктурированного набора полигонов:

- теряется топологическая связь между отдельными гранями (2D-полигонами), определяющими объёмную фигуру;
- отсутствует возможность валидации геометрической корректности вставляемых данных;
- возникает избыточность данных: координаты вершин дублируются на смежных гранях, повышая риски пространственных несоответствий и нарушая принцип *DRY* (*Don't Repeat Yourself*);
- утрачивается семантика границ: Система не различает внешние и внутренние границы полиэдра.

Раздельное хранение ограничивающих полигонов в виде множества записей создаёт избыточную сложность администрирования крупных наборов данных.



Эффективное управление требует установления интерактивного соответствия (1:1) между объектами реального мира и их представлением в базе данных.

В силу указанных ограничений гео-СУБД, большинство действующих систем 3D-кадастра при создании и обработке трёхмерных моделей вынуждены опираться на функционал систем автоматизированного проектирования (CAD) или BIM-платформ (*Building Information Modeling*).

Для успешного внедрения трёхмерного кадастра в России разработан ряд мер, включающих правовое закрепление и нормативное регулирование применения 3D-моделей недвижимости в кадастровых процедурах:

1. Внедрение технологий 3D-моделирования: активное использование прогрессивных технологий и специализированного программного обеспечения для генерации трёхмерных кадастровых моделей, что предполагает целевые инвестиции в техническое оснащение и профессиональную подготовку кадров.

2. Разработка специализированных образовательных программ: создание учебных курсов и программ повышения квалификации в области трёхмерного кадастрового моделирования. Полученные компетенции обеспечат междисциплинарное применение знаний в смежных сферах (строительство, архитектура, градостроительство), повышая востребованность выпускников и адаптивность образовательного процесса.

3. Законодательное закрепление правового статуса 3D-моделей: внесение в нормативно-правовую базу Российской Федерации чётких дефиниций понятия «трёхмерная кадастровая модель объекта недвижимости».

4. Разработка стандартизированной методики построения 3D-кадастровых моделей: формализация унифицированных процедур и требований к созданию трёхмерных моделей для целей государственной регистрации прав на недвижимость.

5. Использование мирового опыта: комплексный анализ и адаптация передовых зарубежных методик ведения 3D-кадастра, включая реализацию совместных инициатив по модели российско-нидерландского сотрудничества, позволившего задействовать технологические и экспертные ресурсы Нидерландов.

Интеграция с технологиями информационного моделирования (BIM): В России активно развивается внедрение методологии информационного моделирования зданий (BIM) в сфере капитального строительства [3]. Этот подход открывает новые возможности для цифровизации отрасли, в частности:

- создание цифровых двойников объектов – точных виртуальных копий, включающих не только геометрические параметры, но и все необходимые технические, эксплуатационные и экономические данные;

- сквозная оптимизация процессов – от проектирования до строительства и дальнейшей эксплуатации, что позволяет повысить эффективность управления объектом на всех этапах его жизненного цикла;

- контроль изменений в режиме реального времени – оперативное внесение корректировок и отслеживание модификаций, снижающее вероятность ошибок;

- автоматизированное выявление коллизий – благодаря высокой детализации и интерактивности BIM-моделей, конфликты в проектных решениях обнаруживаются на ранних стадиях, что сокращает риски дорогостоящих исправлений во время строительства.



Пример практического применения элементов 3D кадастра

Рассмотрим практическое применение технологий трёхмерного кадастра на примере ООО «Ульяновскхлебпром»

1. Характеристика объекта исследования

В качестве объекта для апробации технологий трёхмерного кадастра было выбрано предприятие ООО «Ульяновскхлебпром», расположенное по адресу: г. Ульяновск, Заволжский район, ул. Солнечная, д. 2 (кадастровый номер: 73:24:020703:1) [4]. Данный объект представляет собой типичный пример промышленной застройки, требующей точного кадастрового учёта с применением трёхмерных параметров.

2. Исходные геопространственные данные

Основой для создания цифровой кадастровой модели послужил инженерно-топографический план территории предприятия (рис. 1). Этот план содержал:

- координатную привязку всех зданий и сооружений;
- высотные отметки рельефа;
- информацию о подземных коммуникациях.

Отсутствие облака точек (формат *.las*) потребовало применения специализированных методов обработки данных.

3. Методика геометрического моделирования

Построение трёхмерной кадастровой модели выполнялось в программной среде *NanoCAD*, которая предоставляет специализированные инструменты для:

- создания *TIN*-поверхностей на основе топографических данных;
- трёхмерного моделирования зданий и сооружений;
- учёта кадастровых границ в трёхмерном пространстве.

Процесс включал поэтапное преобразование *2D*-данных в *3D*-модель с соблюдением нормативных требований к кадастровому учёту.

4. Практическая значимость

Разработанная модель позволяет:

- визуализировать пространственные характеристики объекта недвижимости;
- повысить точность кадастрового учёта за счёт объемных параметров;
- использовать данные для целей территориального планирования и управления.



Рис. 1. Топографический план ООО «Ульяновскхлебпром»

Алгоритм создания 3D-модели на основе 2D-эскиза:

1. Подготовка чертежа:

- Выбрать: Меню «3D» → «2D-эскиз» → «Добавить плоский чертёж».
- Указать рабочую плоскость "XY" (вид сверху), соответствующую расположению:

- инженерных коммуникаций;
- архитектурных объектов;
- технических сооружений.

2. Формирование 3D-объектов:

- Перейти: Меню «3D» → «3D-Элементы» → «3D-Выдавливание».
- Выделить области 2D-эскиза для преобразования.
- В параметрах выдавливания задать:
 - высоту зданий/сооружений;
 - глубину защитных конструкций;
 - сечение трубопроводов.
- Фиксация модели: В окне «История 3D-построений»:
 - кликнуть ПКМ на созданный объект;
 - выбрать «Создать деталь»;
 - применить опцию «Фиксация» для защиты от случайных изменений.
- Результат: Полученная 3D-модель производственного комплекса ООО «Ульяновскхлебпром» визуализирована на рис. 2.

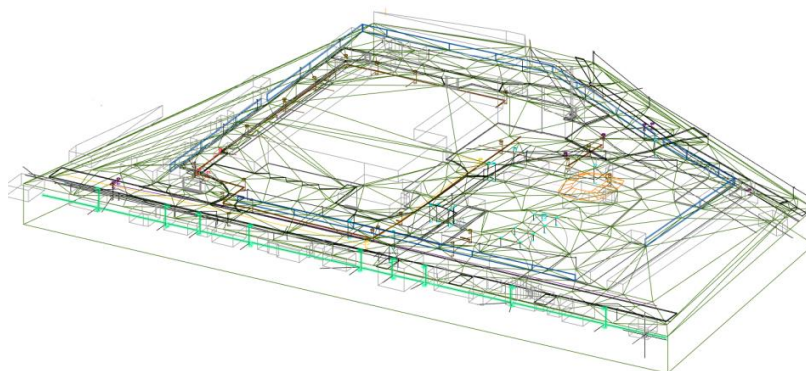


Рис. 2. Результат построения ООО «Ульяновскхлебпром»

Алгоритм построения цифровой модели рельефа и трёхмерной визуализации в среде *NanoCAD*:

1. Построение триангуляционной модели рельефа

Цифровая модель рельефа (ЦМР) была построена методом триангуляции нерегулярной сети (*Triangulated Irregular Network, TIN*) с использованием модуля «Топоплан» программного комплекса *NanoCAD*. Входными данными послужил инженерно-топографический план в векторном формате. Отсутствие данных лидарной съёмки (файлы формата *.las*) обусловило применение алгоритма триангуляции на основе дискретных высотных отметок.

Процедура генерации *TIN*-модели выполнялась с использованием инструментария «Создание *TIN*» → «Создание *TIN* по точкам» и включала следующие этапы:

- селекция данных: выделение всех высотных отметок графическим методом (рамкой);
- параметризация: задание характеристик триангуляции (допуски, критерии оптимизации);
- генерация поверхности: автоматическое построение сети смежных треугольников, аппроксимирующей топографическую поверхность.

Результатом моделирования стала нерегулярная триангуляционная сеть, топологически корректно отражающая морфометрические особенности исследуемого участка. Погрешность аппроксимации определялась плотностью исходных высотных точек и выбранными параметрами триангуляции.

2. Визуализация и цветовое оформление модели

Для улучшения восприятия трёхмерной модели каждому объекту было назначено индивидуальное цветовое решение через панель «Свойства». После переключения режима отображения с «2D-каркас» на «Реалистичный» удалось достичь наглядного представления пространственной структуры объекта исследования – территории ООО «Ульяновскхлебзавод».

3. Настройка параметров рендеринга

Завершающим этапом работы стала подготовка модели к визуализации с применением инструментов рендеринга. В разделе «Вид» был активирован источник света типа «Сетка», параметры которого настроены следующим образом:

- коэффициент интенсивности – 1,2;

– положение источника – оптимизировано для равномерного освещения модели (рис. 3).

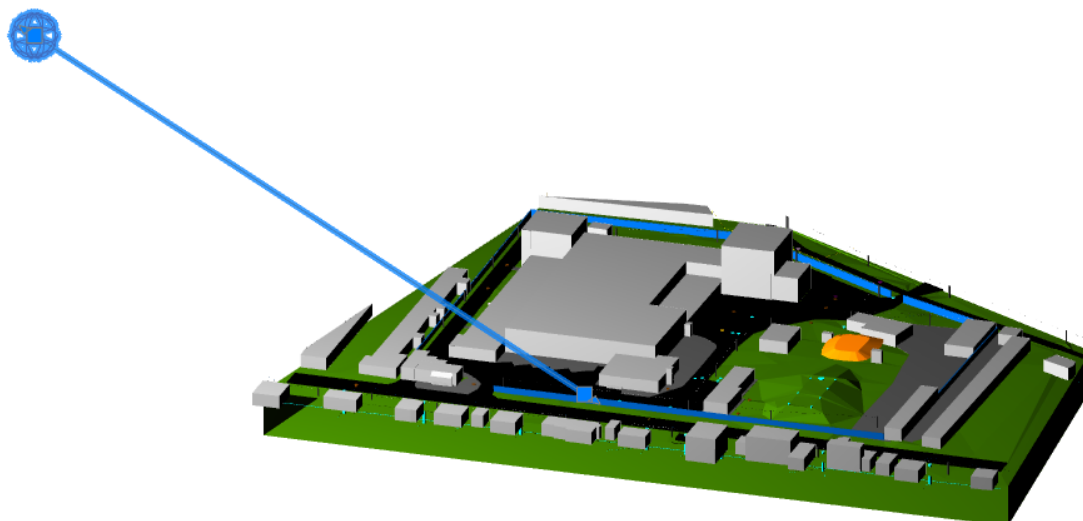


Рис. 3. Результат рендеринга

Далее используем алгоритм преобразования 3D-модели в чертёж:

1. Создание 2D-проекции:

- Открыть меню «3D» → «2D-виды»;
- Выбрать опцию «2D-вид» и указать модель для преобразования;
- Определить лист чертежа, на котором будет размещена проекция.

2. Сохранение и печать:

- Экспортировать чертёж в нужном формате;
- Отправить файл на печать, предварительно проверив масштаб и разметку.

Результат:

Полученная двумерная проекция готова к использованию в технической документации.

Заключение

Таким образом, проведённое исследование позволяет констатировать, что развитие трёхмерного кадастра представляет собой объективную необходимость в контексте усложнения пространственной организации застроенных территорий и цифровой трансформации управления земельными ресурсами. Трёхмерный кадастр обеспечивает принципиально более точное представление объектов недвижимости с учётом их пространственной конфигурации (объёма и высотных характеристик), что приобретает критическое значение при наличии многоуровневых (подземных и надземных) имущественных комплексов и инженерных сооружений.

Сравнительный анализ традиционных (2D) и трёхмерных кадастровых моделей, а также существующих архитектур кадастровых систем, выявил значимые преимущества 3D-подхода в следующих аспектах:

- повышение пространственной точности и детализации данных;
- обеспечение правовой определённости в отношении сложных пространственных объектов;
- оптимизация процессов управления объектами недвижимости.



Практическая апробация методологии на примере моделирования территории ООО «Ульяновскхлебпром» в среде ПО "NanoCAD" подтверждает техническую реализуемость и практическую значимость трёхмерного кадастрового учёта.

Успешное внедрение 3D-кадастра в Российской Федерации требует реализации комплекса взаимосвязанных мер:

- нормативно-правовая модернизация (закрепление статуса 3D-моделей).
- развитие технологической инфраструктуры (внедрение BIM, ГИС-платформ нового поколения).
- формирование кадрового потенциала (адаптация образовательных программ, подготовка специалистов).

Системное внедрение методологии формирования трёхмерных кадастровых моделей создаст методологическую основу для существенного повышения эффективности государственного кадастрового учёта и управления объектами недвижимости в перспективе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляев, В. Л. Опыт и перспективы применения 3D кадастра при управлении градостроительным развитием подземного пространства / В. Л. Беляев. – URL: <https://masters.donntu.ru/2017/igg/gnucheva/library/opit%20i-20perspektivy%203d.pdf> (дата обращения: 22.04.2025). – Текст : электронный.
2. Jantine Esther Stoter. 3D Cadastre (2004). – URL: http://www.itc.nl/library/Papers_2004/phd/stoter.pdf. – Текст : электронный.
3. Моделирование 3D кадастровых данных в России // STUDENTOPEDIA.RU : сайт. – URL: <https://studentopedia.ru/pravo/modelirovanie-3d-kadastrovih-dannih-v-rossii-metodologiya-vedeniya-kadastra-zemel-zanyatih.html> (дата обращения: 22.04.2025). – Текст : электронный.
4. Топографическая карта Ульяновск. – Текст : электронный // Topografic-map.com : сайт. – URL: <https://ru-ru.topographic-map.com/map-b6hz4/Ульяновск> (дата обращения: 22.04.2025).

POPOV Evgeniy Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of engineering graphics and information modeling; KHOVANSKAYA Kira Timurovna, master degree student of the chair of engineering graphics and information modeling; CHECHIN Andrey Vyacheslavovich, candidate of technical sciences, holder of the chair of geoinformatics, geodesy and cadastre

INTEGRATION OF 3D MODELING INTO THE CADASTRAL SYSTEM: SOLUTIONS AND PROSPECTS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (910) 144-10-28; e-mail: popov_evgene@list.ru

Tel.: (927) 824-55-07; e-mail: kira.hovnsk@gmail.com

Tel.: (920) 253-80-23; e-mail: chechin@nngasu.ru

Key words: 3D modeling, cadastre, geo-DBMS, digital twin, BIM.



The paper is devoted to the study of three-dimensional modeling in the cadastral accounting of real estate, with an emphasis on the advantages, architecture and complexity of the 3D cadastre implementation. The analysis of models (2D, 2.5D, 3D) and technological limitations of GEOSUBMS is carried out. The practical part includes the digital model development for the industrial facility of LLC "Ulianovskkhlebprom" using the NanoCAD software. The necessity of regulatory and methodological support for 3D cadastre implementation in Russia is substantiated, taking into account international experience and the development of BIM technologies.

REFERENCES

1. Belyaev V. L. Opyt i perspektivy primeneniya 3D kadastra pri upravlenii gradostroitelnyim razvitiem podzemnogo prostranstva [Experience and prospects of using 3D cadastre in managing the urban development of underground space]. – URL: <https://masters.donntu.ru/2017/igg/gnucheva/library/opit%20i-20perspektivy%203d.pdf> (accessed: 22.04.2025).
2. Jantine Esther Stoter. 3D Cadastre (2004). – URL: http://www.itc.nl/library/Papers_2004/phd/stoter.pdf.
3. Modelirovanie 3D kadastrykh dannykh v Rossii [Modeling 3D cadastral data in Russia]. STUDENTOPEDIA.RU. – URL: <https://studentopedia.ru/pravo/modelirovanie-3d-kadastrykh-dannykh-v-rossii-metodologiya-vedeniya-kadastra-zemel-zanyatih.html> (accessed: 22.04.2025).
4. Topograficheskaya karta Ulyanovsk [Topographic map Ulyanovsk]. Topografic-map.com. – URL: <https://ru-ru.topographic-map.com/map-b6hz4/Ульяновск> (accessed: 22.04.2025).

© Е. В. Попов, К. Т. Хованская, А. В. Чечин, 2025

Получено: 25.06.2025 г.