

## Об особенностях сбора трехмерной кадастровой информации на урбанизированных территориях

*Н. С. Бегляров<sup>1\*</sup>, Д. А. Шаповалов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Государственный университет по землеустройству, г. Москва,  
Российская Федерация

\* e-mail: begliarovns@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрена актуальная проблема информационного обеспечения 3D-моделями системы учета и регистрации объектов недвижимости и систем «умного города». Авторами рассмотрена методика, позволяющая проводить сплошное моделирование объектов недвижимости на урбанизированных территориях для целей 3D кадастра и эффективного управления в парадигме «умного города». Предлагаемая методика основана на совместном использовании и обработке материалов лазерного сканирования и аэрофотосъемки с БПЛА. Для исследования эффективности предложенной методики был проведен ряд экспериментов на реальных объектах. Полученные плотные облака точек по НЛС/МЛС и БПЛА были объединены в программном продукте открытого кода «CloudCompare». В результате экспериментальных работ определены оптимальные параметры для выполнения НЛС/МЛС и аэрофотосъемки с БПЛА, объединения гетерогенных облаков точек. Результаты экспериментальных работ показали, что предложенная методика позволяет выполнять 3D моделирование ОН с точностью, удовлетворяющей текущим требованиям законодательства и различной детализацией. Получаемые модели объектов недвижимости пригодны для формирования единой трехмерной базы кадастровых данных и могут быть использованы в качестве информационного базиса для развития государственных цифровых сервисов и услуг, а также для повышения эффективности городского управления. Предложенное решение может применяться в качестве одной из методик сбора пространственных данных об объектах недвижимости при переходе РФ на систему 3D кадастра.

**Ключевые слова:** 3D-кадастр, лазерное сканирование, трехмерное моделирование, умный город

## About the features of collecting three-dimensional cadastral information in urban areas

*N. S. Begliarov<sup>1\*</sup>, D. A. Shapovalov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> State University of Land Use Planning, Moscow,  
Russian Federation

\* e-mail: begliarovns@gmail.com

**Abstract.** The article deals with the actual problem of information support with 3D models for the system of accounting and registration of real estate objects and systems of "smart city". The authors considered a methodology that allows for continuous modeling of real estate objects in urban areas for the purposes of 3D cadastre and effective management in the "smart city" paradigm. The proposed technique is based on the joint use and processing of laser scanning and aerial photography from UAVs. To study the effectiveness of the proposed technique, a number of experiments were carried out on real objects. The obtained dense point clouds from TLS/MLS and UAVs were combined in the CloudCompare open source software product. As a result of experimental work, the optimal

parameters for performing TLS/MLS and aerial photography from UAVs, combining heterogeneous point clouds were determined. The results of experimental work have shown that the proposed technique allows performing 3D modeling of real estate with an accuracy that meets the current requirements of the legislation and various levels of details. The resulting models of real estate objects are suitable for the formation of a single three-dimensional database of cadastral data and can be used as an information basis for the development of public digital services and services, as well as to improve the efficiency of urban management. The proposed solution can be used as one of the methods for collecting spatial data on real estate objects during the transition of the Russian Federation to the 3D cadastre system.

**Keywords:** 3D cadastre, laser scanning, 3D modeling, smart city

### ***Введение***

Разворачиваемые все шире национальные программы и отраслевые проекты по цифровизации государственных сервисов и услуг опираются на возрастающий общественный запрос в модернизации и повышении эффективности управления и учета во всех сферах. Особенным значением в данном вопросе обладают территории высокой инфраструктурной и экономической активности, в общем виде – это урбанизированные пространства городов и городских агломераций, которые притягивают большинство людей, капитала и обретают политическую субъектность [1, 2].

Существующий международный опыт цифровизации в области решения указанных задач предполагает переход на трехмерное пространственное представление объектов недвижимости и юридических границ, возникающих в реальном мире, что одновременно поднимает значительный пласт технических, юридических, кадровых и экономических вопросов. Трехмерный подход к представлению урбанизированных территорий рассматривается как фундаментальный базис для развития полномасштабного цифрового государства, решения существующих проблем учета и представления сложных объектов недвижимости (в том числе многоэтажных зданий с пересекающимися конфигурациями, мостов, инженерных коммуникаций, подземных сооружений), пересечений их прав ввиду расположения на разных уровнях (подземный, наземный, надземный), а также вопросов экологического мониторинга и эффективного управления территориями [2-5].

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

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

### ***Методы и материалы***

Авторами было проведено исследование современных геодезических технологий и методов сбора пространственной информации с целью получения данных (трех-мерных моделей урбанизированных территорий) пригодных для пред-

ставления в принятых форматах (IFC и CityGML), удовлетворяющих точностным требованиям ЕГРН и кадастровым уровням детализации LoD 3 и LoD 4. Наиболее современными и при этом доступными геодезическими методами сбора пространственной информации для построения измерительных трехмерных моделей на основе плотных облаков точек является лазерное сканирование (далее ЛС) и аэрофотосъемка (далее АФС) с беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА). Именно эти две геодезические технологии в совокупности могут охватить все возникающие ситуации пространственной организации объектов недвижимости (далее ОН).

Методика расчета оптимальных параметров для АФС заключается в использовании специальных тест объектов – мир с черно-белыми штрихами (рисунок 1), для количественного определения разрешения снимков с БПЛА по формуле (1). Алгоритм подразумевает фотографирование разложенных мир на высоте планируемой аэрофотосъемки, вычисленной по формуле (2) на разных настройках камеры.

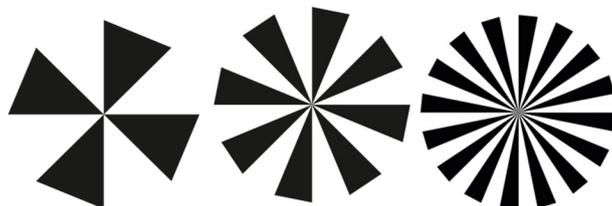


Рис. 1. Пример использованных мир 8 штрихов, 16 штрихов, 32 штриха

Исследуя саму методику выполнения и обработки АФС для задач 3D-кадастра и «умного города», отметим необходимость выбора проекции пикселя на местность (GSD) равной не менее половины наименьшей детали будущей трехмерной модели – это условие также обеспечивает надежность объединения гетерогенных данных лазерного сканирования и АФС. [6, 7]

Высота планируемой аэрофотосъемки вычислена по формуле:

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

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

Определяется наилучшее разрешение снимков по формуле:

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

где  $N$  – количество пар штрихов тест объекта, согласно ГОСТ 13.1.701-95 «Репрография. Микрография. Тест-объекты для контроля качества микроизображения.

Типы. Методы контроля».  $D$  – диаметр кружка нерезкости в миллиметрах.  $\Pi$  - математическая постоянная, равная отношению длины окружности к её диаметру.

Было установлено, что при визуальной оценке можно с достаточной достоверностью определить кружок нерезкости, а значит для непосредственного измерения разрешающей способности будет удобно использовать изображение именно такой миры. В нашем эксперименте (для БПЛА DJI Mavic 2 Pro) это была 16 штриховая мира. Схема алгоритма сводится к формату таблицы №1. Оптимальные параметры АФС, представленные в таблице №2, были выбраны по приведенной методике.

Таблица 1

Результаты

Запись в RAW и JPEG max							
Н съемки = Н эксперимента = м; GSD = см.							
1 этап ISO 100	диафрагма = 8	автофокус	2 этап ISO 100	диафрагма	выдержка	ID фото	
	выдержка	ID фото		4	1/200		
	1/100			5,6	1/100		
	1/160			8	1/50		
	1/240			11	1/25		
	1/400			автофокус			
1/640							
3 этап ISO 200	диафрагма = 8	автофокус	4 этап ISO 200	диафрагма	выдержка	ID фото	
	выдержка	ID фото		4	1/200		
	1/100			5,6	1/100		
	1/160			8	1/50		
	1/240			11	1/25		
	1/400			автофокус			
1/640							

Для осуществления последующего объединения данных предложено использовать связующие опознаки изготовленные на пенокартоне в формате А3 (297×420 мм) толщиной 5 мм, покрытом сатиновой бумагой (рисунок 2).

При планировании маршрутов съемки с заданным продольным и поперечным перекрытием снимков не менее 80 %, скорость полета дрона из опыта не должна превышать 5м/с для предотвращения искажений изображений.

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

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

Описанная методика подбора оптимальных параметров АФС и последовательность технических действий и методических рекомендаций к выполнению и обработке данных для целей 3D-кадастра и 3DLAS была апробирована на трех объектах.

Таблица 2

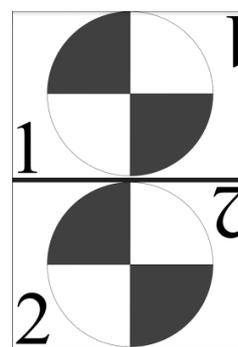
Оптимальные параметры АФС для планируемой съемки

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

Следующей частью разработанной методики являются этап по проведению лазерного сканирования для целей трехмерного моделирования объектов недвижимости. Рекомендации представлены на рисунке 2.



а



б

Рис. 2. Примеры изображений: а) изображение опознаков на снимке с БПЛА при GSD = 1 см; б) изображение опознаков для опорной сети

Затем в рамках проводимых кадастровых работ по моделированию ОН на урбанизированных территориях подразумевается объединение данных АФС и лазерного сканирования. Эта процедура представлена в виде технологической схемы на рисунках 3 и 4. Для объединения облака загружаются в корень рабочего пространства ПО открытого кода CloudCompare. На всех этапах сохраняется геодезическая привязка и облака существуют в глобальной системе координат.

Оценка точности окончательного результата обработки полевых данных по предлагаемой методике моделирования урбанизированных пространств для задач 3D-кадастра и 3DLAS были проведены по классической схеме.



Рис. 3. Схема проведения работ по лазерному сканированию для задач 3D-кадастра

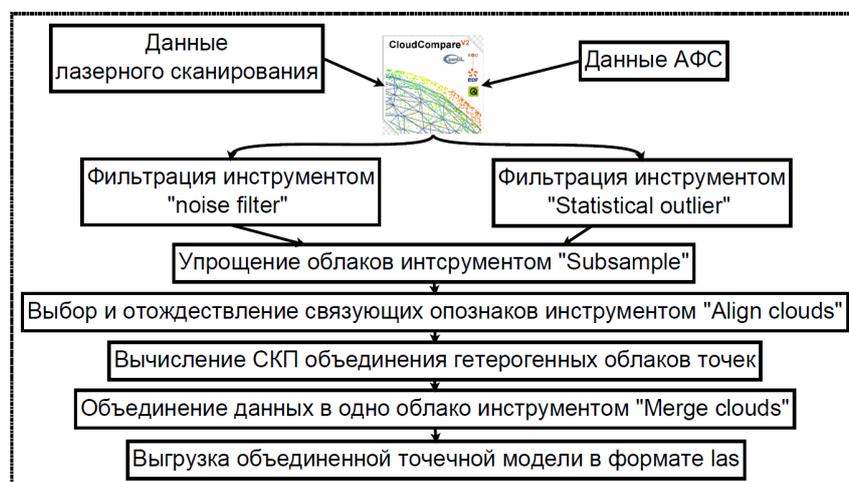


Рис. 4. Пошаговая схема реализации процедуры объединения гетерогенных облаков точек для моделирования ОН

Были выполнены измерения по точечной модели в ПО Rescar PRO и сравнены их с эталонными, сделанными в натуре с использованием лазерной рулетки, а также с данными из выписок из ЕГРН. Для всех объектов апробации СКП положения характерных точек составила допустимое значение.

### Результаты

Собранные пространственные данные с применением методики, описанной в предыдущем подразделе, могут быть использованы разными путями. Учитывая международную практику и принятый в РФ курс на развитие информационного моделирования в строительстве, продемонстрируем несколько вариантов извлечения кадастровых данных для целей 3D-кадастра, 3DLAS и «умного города».

Применение полученной модели (на примере 1 объекта апробации, рисунок 5) в парадигме «умного города» возможно через внедрение в земельно-информацион-

ные системы на основе формата пространственных данных CityGML. Следовательно, все задачи пространственного анализа и проектирования, выполняемые с использованием ГИС-инструментария, могут быть улучшены за счет использования более детального и актуального пространственного базиса в виде трехмерных моделей объектов недвижимости, полученных в результате применения вышеописанной методики.

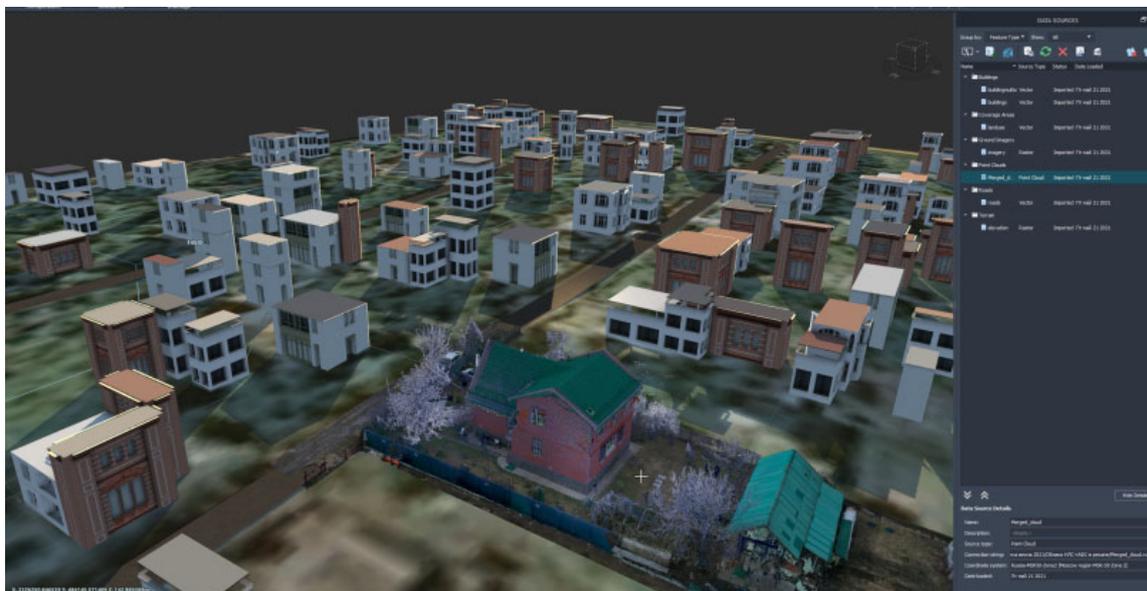


Рис. 5. Отображение первого объекта апробации в среде Infracore, поддерживающей формат CityGML

Объединенная точечная модель второго объекта апробации была обработана в автоматизированном режиме в ПО CloudCompare и получен mesh, представленный на рисунке 6. По описанной ранее методике модель может быть выгружена в ГИС или САПР ПО для дальнейшего пространственного анализа территории ОН.

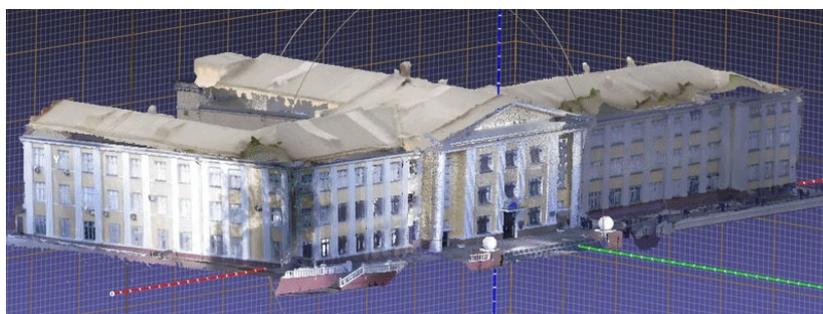


Рис. 6. Mesh главного здания ГУЗ, Москва

Апробация методики на третьем объекте, относящимся к территориям городских насаждений и лесопарковым зонам показало преимущества совместного

использования лазерного сканирования и АФС [7]. Модели деревьев по результатам применения рассматриваемой методики представлены на рисунке 7.

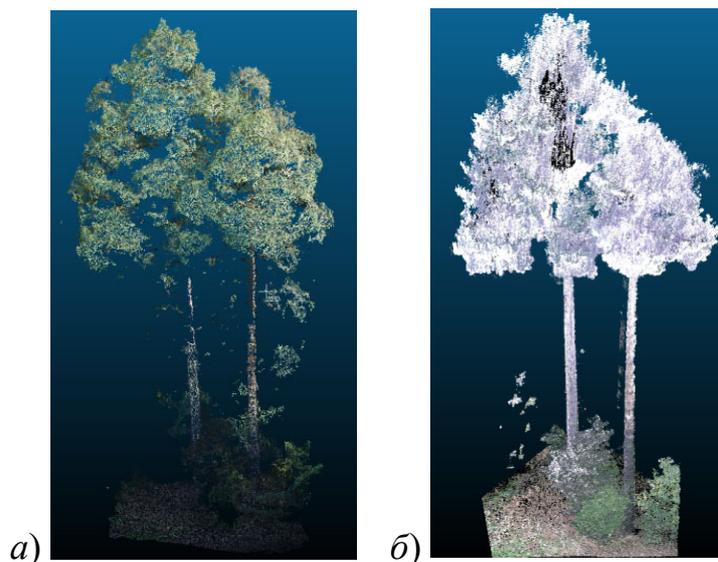


Рис. 7. Модели дерева по данным АФС (а) и по данным АФС и НЛС (б)

### ***Обсуждение***

Рассмотренная геодезическая методика определения оптимальных параметров АФС для задач 3D-кадастра и составленные рекомендации по проведению и обработке данных НЛС и МЛС, а также геодезического обоснования для сбора таких данных на урбанизированных территориях продемонстрировала свою применимость в разных ситуациях. По результатам исследований получены три отдельные модели объектов недвижимости, которые представлены в форматах CityGML, что соответствует международной практике и, как было упомянуто выше, соответствует заданному вектору развития кадастровой системы и системы управления земельными ресурсами в парадигме «умного города» в Российской Федерации. Выполнена оценка точности всех трех моделей, погрешности которых не превысили нормативную точность, что свидетельствует о соответствии предлагаемой методики требованиям существующей кадастровой системы РФ и позволяет провести внедрение с меньшими трудностями.

### ***Заключение***

Однозначное преимущество автоматизированные методы проявляют в отношении объектов не являющихся сложной конструкцией и не содержащих большое количество инженерных сетей. Например, территория СНТ или ИЖС вполне может быть обработана в автоматическом режиме и получена достаточно точная и детальная TIN-модель. На данном этапе развития кадастровой системы и систем управления земельно-имущественными ресурсами в РФ можно считать достаточным использование автоматизированных алгоритмов для получения 3D моделей пространства в силу их быстроты, простоты, дешевизны и удовлетворяющей точности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24 декабря 2018 г. № 16). – URL: <http://government.ru/info/35568/>. – Текст : электронный.

2 Папаскири, Т. В. Разработка Федеральной Целевой Программы «По созданию системы автоматизированного землеустроительного проектирования (САЗПР) и пакета прикладных программ (ППП) на выполнение первоочередных видов землеустроительных и смежных работ на территорию Российской Федерации». Землеустройство, кадастр и мониторинг земель / Т. В. Папаскири. – Текст : непосредственный. – Москва : ИД «Панорама», Издательство «Афина», 2014. – № 4. – С. 14–25.

3 Папаскири, Т. В. О концепции цифрового землеустройства / Т. В. Папаскири. – Текст : непосредственный // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – Москва : ИД «Панорама», Издательство «Афина». – 2018. – № 11. – С. 5–11.

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

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

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

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

© Н. С. Бегляров, Д. А. Шаповалов, 2022