

*В. В. Дедкова<sup>1\*</sup>, М. М. Шляхова<sup>2</sup>*

## **Использование материалов аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна для трехмерного моделирования территорий**

<sup>1,2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: dedkova.val@yandex.ru

**Аннотация.** В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по использованию материалов аэрофотосъемки с беспилотных воздушных судов в целях трехмерного моделирования территорий. Выявлено, что применение беспилотных воздушных судов в качестве носителя съемочного оборудования для проведения аэрофотосъемочных работ позволило трехмерному моделированию стать одним из актуальных и востребованных направлений в современной фотограмметрии, поскольку материалы, полученные в процессе аэрофотосъемки с БВС, обладают характеристиками достаточными для получения высокодетализированных трехмерных моделей. Подобные трехмерные модели используются для решения широкого круга задач. Проведены три фотограмметрические обработки снимков, полученных в результате аэрофотосъемки с БВС, в первом случае маршруты аэрофотосъемки располагались перекрестно (АБ), во втором и третьем случаях в одном направлении А и Б соответственно. Установлено, что наиболее наглядными и визуально достоверными являются трехмерные модели, построенные по материалам аэрофотосъемки, проводимой по взаимно перпендикулярным маршрутам.

**Ключевые слова:** беспилотное воздушное судно, фотограмметрическая обработка, снимок, трехмерные модели, трехмерное моделирование, цифровой двойник

*V. V. Dedkova<sup>1\*</sup>, M. M. Shlyahova<sup>2</sup>*

## **Use of UAV-survey materials for 3D-modeling of territories**

<sup>1,2</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: dedkova.val@yandex.ru

**Abstract.** Article presents the results of theoretical and experimental research of the use of aerial survey materials from unmanned aerial vehicles for 3D-modeling of territories. It is revealed that the use of unmanned aerial vehicles as a carrier of survey equipment for airborne survey allowed 3D-modeling to become one of the relevant and demanded directions in modern photogrammetry, because the materials obtained during aerial photography from UAVs have characteristics sufficient to obtain highly detailed 3D-models. Such 3D-models are used to solve a wide range of tasks. Three photogrammetric processing of images was carried out. In the first case the routes of aerial survey were located crosswise (AB), in the second and third cases in one direction A and B, respectively. It was found that the most visually reliable are 3D-models, built on the materials of aerial photography, carried out by mutually perpendicular routes.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, photogrammetric processing, image, 3D-models, 3D-modeling, digital twin

### ***Введение***

Целью исследования являлись анализ опыта использования материалов аэрофотосъемки с беспилотных воздушных судов (БВС) в целях трехмерного

моделирования территорий и построения трехмерной модели городской территории. Для достижения поставленной цели были решены следующие теоретические и практические задачи:

- выполнен анализ опыта применения БВС в целях проведения аэрофотосъемки, а также сфер использования получаемых материалов, представленных в публикациях отечественных и зарубежных профильных специалистов;
- выполнен сбор и обработка исходных данных;
- построена трехмерная модель части г. Новосибирска по материалам аэрофотосъемки с БВС.

Использование беспилотных воздушных судов в аэрофотосъемке позволило расширить возможности трехмерного моделирования, так как аэрофотосъемка с БВС позволяет получать аэрофотоснимки с разрешением, достаточным для высокодетализированного моделирования.

Беспилотные воздушные судна самолетного типа предназначены для проведения аэрофотосъемочных работ на больших площадях, например, населенных пунктов, с плановой точностью до 10 см, что позволяет получать изображения, являющиеся основой для построения трехмерных моделей населенных пунктов (рис. 1), получения ортофотопланов местности, цифровых моделей местности и фотопанорам города [1–3].

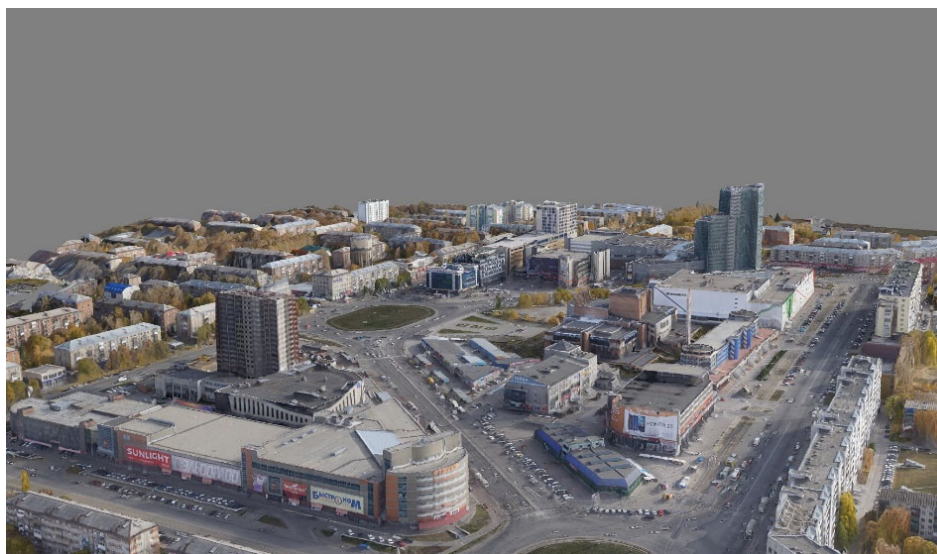


Рис. 1. Трехмерная модель городской территории

Для вертикальной съемки объектов применяются мультироторные БВС, позволяющие снимать труднодоступные участки объектов с близкого расстояния, что увеличивает детальность получаемых изображений.

Трехмерные модели по материалам аэрофотосъемки с БВС используются для проведения работ по реконструкции, реставрации и учету археологических памятников, исторически значимых архитектурных сооружений и иных объектов культурного и археологического наследия.

Применительно к решению подобных задач съемка с БВС в комплексе с неметрическими цифровыми камерами выступает доступной альтернативой более дорогим методам измерения и моделирования, таким как лазерное сканирование и традиционные геодезические съемки. Снимки, полученные в видимом диапазоне электромагнитного спектра, применяются для решения задач реставрации поверхностей объектов и зданий, например, восстановления деталей фасадов, элементов декора, внутренних интерьеров. Для выявления разрушительных процессов внутри конструкции на ранних стадиях и при необходимости неинвазивного исследования объектов изучения прибегают к проведению лазерного сканирования или тепловизионной съемки, что позволяет своевременно спланировать и провести восстановительные работы, точнее рассчитать объем финансовых затрат и иных необходимых ресурсов [4, 5].

Трехмерное моделирование промышленных объектов и территорий играет важную роль в разработке мероприятий по предупреждению возникновения чрезвычайных ситуаций, оценке рисков и уровня потенциального ущерба для экономики, окружающей среды и жизни населения [6–8].

При интеграции трехмерных моделей с другими наборами данных, например, архивной информацией об объекте, строительными характеристиками и т. п., возможен переход от простой трехмерной модели к BIM-модели, что является совершенно новой формой реализации технологий современной фотограмметрии и дистанционного зондирования.

Цифровая трансформация экономики подразумевает переход к цифровым формам ведения производственной деятельности. Одним из инструментов цифровизации является внедрение цифровых двойников. Согласно [9], впервые концепция модели цифрового двойника была введена в 2002 г., ее сущность представляет собой динамическую цифровую копию физического объекта, процесса или системы, обеспечивающую мониторинг состояния и производительности в режиме реального времени с целью принятия управленческих решений, планирования и прогнозирования [10].

Отличительная особенность цифровых двойников геопространства от BIM-объектов или цифровых двойников промышленности заключается в том, что последние создаются методами виртуального моделирования, а основой цифровых двойников геопространства выступает информация, полученная средствами фотограмметрии, дистанционного зондирования и геодезии, то есть использованием трехмерных моделей объектов и территорий [11].

Распространение технологий BIM, и, как следствие, цифровых двойников отдельных объектов городской среды, привело к созданию концепции цифрового двойника города, позволяющего реализовать систему цифрового городского управления. Цифровой двойник города, в свою очередь, выступает основой для развития концепции «умных городов» [12, 13].

Важным отличием цифрового двойника геопространства от трехмерных моделей и ГИС является присутствие динамической информации о состоянии города, обновляемой в режиме реального времени.

## *Методы и материалы*

Для проведения эксперимента была проведена аэрофотосъемка на территорию жилого квартала в г. Новосибирске в двух перекрестных направлениях А и Б (рис. 2).

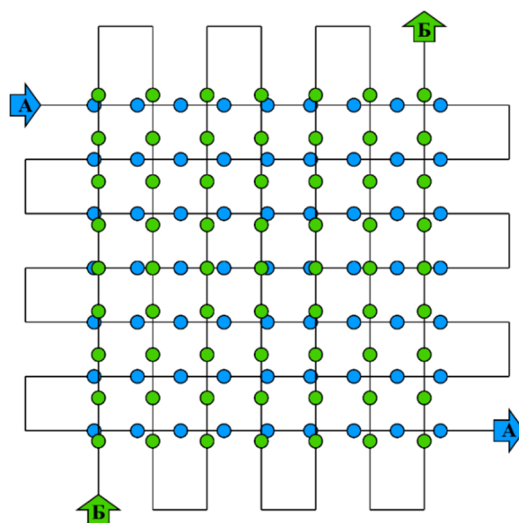


Рис. 2. Схема выполнения аэрофотосъемки

В качестве съемочного оборудования использовалась неметрическая камера со шторно-щелевым затвором Sony Alpha 6000, размещенная на борту БВС самолетного типа Supercam S350. Продольное и поперечное перекрытие снимков в маршрутах составило 80 и 60 % соответственно. Аэрофотосъемка проводилась в ясную погоду, скорость ветра менялась от 6 до 8 м/с в южном направлении. Фотограмметрическая обработка проводилась в ПО Agisoft Metashape.

## *Результаты*

В ходе проведения эксперимента были выполнены три фотограмметрические обработки, в которых поочередно проводилось построение трехмерных моделей по снимкам двух маршрутов А и Б, маршрутов в направлении А и маршрутов в направлении Б.

Последовательность каждой фотограмметрической обработки включала в себя:

– создание и настройку проекта – загрузку снимков, элементов внешнего ориентирования в системе координат WGS-84, координат и высот опорных и контрольных точек в системе координат WGS-84 / UTM зона 44N.

– «выравнивание» снимков с «высокой точностью» и «оптимизацию»;

– построение плотного массива точек с «высокой точностью»;

– построение трехмерной модели;

– построение цифровой модели местности.

На рис. 3 представлен результат моделирования части жилого квартала, полученный в ходе фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки с маршрутами в направлениях А и Б совместно.



Рис. 3. Трехмерная текстурированная модель части жилого квартала

На рис. 4–5 показаны трехмерные модели, полученные в ходе фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки с маршрутами, расположенными в направлениях А и Б соответственно.



Рис. 4. Трехмерная модель территории, построенная в ходе обработки материалов аэрофотосъемки с маршрутами в направлении А



Рис. 5. Трехмерная модель территории, построенная в ходе обработки материалов аэрофотосъемки с маршрутами в направлении Б

На рисунках 4 и 5 явно заметны дефекты в текстурах трехмерных моделей объектов, в отличие от модели, представленной на рис. 3. Это связано с недостатком информации для генерации текстур при фотограмметрической обработке. Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что для обеспечения детальности и равномерности текстурирования трехмерных моделей, необходимо проводить аэрофотосъемку в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Выполнение аэрофотосъемки подобным образом приводит к увеличению количества исходных снимков, однако значительно повышает детальность получаемой трехмерной продукции.

### *Заключение*

В ходе выполнения теоретических и экспериментальных исследований, поставленные цель и задачи решены, сделаны следующие выводы:

- проведение аэрофотосъемки с беспилотных воздушных судов является актуальным методом сбора исходных данных для трехмерного моделирования;
- трехмерные модели по материалам аэрофотосъемки с БВС находят применение в решении широкого круга задач, а также выступают геопространственной основой в проведении мероприятий по переходу к цифровому управлению городскими территориями;
- качество построения трехмерных моделей прежде всего зависит от качества исходных снимков, повышение детальности и наглядности трехмерных моделей может быть осуществлено за счет проведения аэрофотосъемки в двух перекрестных направлениях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Гук, А. П. Разработка методик создания 3D моделей по аэрокосмическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения и другим данным дистанционного зондирования / А. П. Гук, М. М. Лазерко // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 2. – С. 32–34.
- 2 Кадничанский, С. А. О возможности обеспечения материалами АФС с БВС, пригодными для проведения кадастровых работ на землях населенных пунктов / С. А. Кадничанский // Геопрофи. – № 6. – 2020. – С. 35–40.
- 3 Опыт ГК «Геоскан». Создание высокоточной трехмерной модели Тульской области / Ф. В. Солощенко, Е. В. Гринько, М. В. Курков, Н. Р. Суздальцев // Геопрофи. – № 2. – 2018. – С. 10–14.
- 4 Наземное лазерное сканирование : монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.
- 5 Wang, Y. Building 3D Realistic Modeling Based on Air-ground Multi-source Data Fusion / Y. Wang, T. Zhang, J. Wang. – China. – URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021303025>.
- 6 3D Numerical Modelling of Tailings Dam Breach Run Out Flow over Complex Terrain: A Multidisciplinary Procedure / K. Wang, P. Yang, G. Yu, C. Yang, L. Zhu. – China. – URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2538>.
- 7 Yu, D. Three-dimensional numerical simulation of mud flow from a tailing dam failure across complex terrain / D. Yu. – China. – URL: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-727-2020>.
- 8 Integration of UAV Photogrammetry and SPH Modelling of Fluids to Study Runoff on Real Terrains / A. Barreiro, J. M. Domínguez, A. J. C. Crespo, H. González-Jorge, D. Roca, M. Gómez-Gesteira. – USA. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111031>.

9 Grieves, M. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems / M. Grieves, J. Vickers. – USA. – URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4).

10 WGIC POLICY REPORT: 2022-01 // Spatial Digital Twins: Global Status, Opportunities, and the Way Forward. – 2022. – URL: <https://wgicouncil.org/publication/reports/download-the-wgic-spatial-digital-twins-report/>.

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

12 Об утверждении Концепции проекта цифровизации городского хозяйства «Умный город» : приказ Минстроя от 25.12.2020 № 866/пр. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/81884/>.

13 Bacher, U. Hybrid Aerial Sensor Data as Basis for a Geospatial Digital Twin / U. Bacher. – France. – URL: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIII-B4-2022/653/2022/>.

© В. В. Дедкова, М. М. Шляхова, 2023