

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ  
ЦИФРОВЫХ ИНЖЕНЕРНО-ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ СЪЕМКИ  
БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ**

*Татьяна Александровна Хлебникова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

*Александр Сергеевич Горилько*

Новосибирский техникум геодезии и картографии, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Крылов, 9, преподаватель, тел. (913)750-78-06, e-mail: a.s.gorilko@sgugit.ru

*Андрей Михайлович Астапов*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ассистент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: kaf.igmd@ssga.ru

В настоящее время сложившиеся подходы к геодезическому обеспечению проектирования, изысканий, строительства и реконструкции зданий и сооружений не в полной мере удовлетворяют потребностям строительного производства. Цифровые топографические планы крупных масштабов не отображают в полной мере ситуацию на строительной площадке. В этой связи предлагается дополнять цифровые инженерно-топографических планы информацией, получаемой с использованием материалов съемки беспилотных авиационных систем (БАС). В статье рассматриваются возможности получения и обработки материалов съемки с БАС на малых высотах на примере объекта строительства новой станции метро в г. Новосибирске. В качестве БАС применялся квадрокоптер DJI Phantom 4 PRO. Точность полученного ортофотоплана в достаточной мере подходит для создания цифрового инженерно-топографического плана исследуемого объекта.

**Ключевые слова:** ЦИТП, БАС, крупномасштабный топографический план, ортофотоплан, визуализация

**DEVELOPMENT OF METHODS FOR CREATING DIGITAL  
ENGINEERING-TOPOGRAPHIC-TOPOGRAPHICAL PLANS  
USING MATERIALS OF UNMANNED AERIAL PHOTOGRAPHY  
SYSTEMS AT LOW ALTITUDES**

*Tatyana A. Khlebnikova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383) 343-29-55, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

*Aleksandr S. Goril'ko*

Novosibirsk Technical School of Geodesy and Cartography, 9, Krylova St., Novosibirsk, 630091, Russia, Lecturer, phone: (913)750-78-06, e-mail: a.s.gorilko@sgugit.ru

*Andrej M. Astapov*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Assistant, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: kaf.igmd@ssga.ru

Currently, the existing approaches to geodetic support for the design, survey, construction and reconstruction of buildings and structures do not fully meet the needs of the construction industry. Digital large scale topographic plans do not fully reflect the situation on the construction site. In this regard, to supplement digital engineering and topographic plans with information obtained using the survey materials of unmanned aircraft systems (UAS) is proposed. The article discusses the possibilities of obtaining and processing the materials of surveying with UAS at low altitudes, using the example of the construction of a new metro station in Novosibirsk. The DJI Phantom 4 PRO quadcopter was used as a UAS. The accuracy of the obtained orthophotoplan is sufficiently suitable as explanatory information for the digital engineering and topographic plan of the object under study.

**Keywords:** TSITP, UAS, large-scale topographic plan, orthophotoplan, visualization

### *Введение*

В связи со значительным объемами строительства инженерных сооружений и проведением работ по их реконструкции в настоящее время актуален вопрос о соответствующем геодезическом обеспечении на всех этапах эксплуатации сооружений: проектирования, изысканий, строительства и эксплуатации. К таким инженерным сооружениям относятся подземные и надземные коммуникации, здания и сооружения различного назначения.

В настоящее время информация о рельефе и ситуации местности представляется в виде крупномасштабных топографических планов масштабов 1:500 и 1:200, созданных различными способами [1, 2]. Сложившиеся в настоящее время подходы к геодезическому обеспечению проектирования, изысканий, строительства и реконструкции не полностью удовлетворяют потребностям строительного производства. Получаемая информация в виде топографических планов масштаба 1:500 и 1:200 не отображает в полной мере ситуацию на строительной площадке с учетом особенностей её детального строения и расположения различных коммуникаций. Более полную информацию возможно получить путем отображения всех форм рельефа и коммуникаций, а также элементов зданий и сооружений необходимого участка местности в масштабе 1:500 или 1:200 с дополнительной информацией в виде цифровых моделей и фотографий различных объектов [3].

В связи с этим была поставлена цель выполнения экспериментальных исследований для разработки методики создания цифровых инженерно-топографических планов с использованием материалов съемки беспилотной авиационной системы на малых высотах.

### *Методы и материалы*

В статье рассмотрены элементы предлагаемой методики создания цифровых инженерно-топографических планов на примере пешеходной галереи станции метро Спортивная.

Согласно нормативному документу [4] результаты инженерных изысканий должны удовлетворять следующим требованиям:

- быть достоверными и достаточными для обоснования конструктивных и объемно-планировочных решений;
- позволять устанавливать проектные значения и характеристики зданий или сооружений;
- устанавливать мероприятия инженерной защиты и мероприятия по охране окружающей среды.

Расчетные данные в составе результатов инженерных изысканий должны быть обоснованы исполнителем и содержать прогноз их изменений в процессе строительства и последующей эксплуатации зданий и сооружений [5].

Кроме этого, согласно нормативному документу [4], «в случае выявления в процессе инженерных изысканий непредвиденных сложных или опасных природных и техногенных условий, которые могут оказать неблагоприятное влияние на строительство и эксплуатацию сооружений и среду обитания, исполнитель инженерных изысканий должен поставить застройщика или технического заказчика в известность о необходимости дополнительного изучения и внесения изменений и дополнений в программу инженерных изысканий, а также в договор в части изменения объемов, видов и методов работ, увеличения продолжительности и (или) стоимости инженерных изысканий» [6].

Требования нормативного документа [6] обязывают получить достаточно полную информативность результатов изысканий, что минимизирует возможность ошибочного принятия проектных решений. Однако, для некоторых требований и задач сложно достоверно отобразить ситуацию и местность в масштабе 1:500 и 1:200. Поэтому для таких участков предлагается создавать топографические планы с элементами визуализации данных [7, 8].

Под элементами визуализации данных будем понимать цифровые снимки местности, цифровые модели местности и 3D-модели, на основании которых предполагается производить принятие проектных решений. Запуск БАС рекомендуется производить с точек стояния, обеспечивающих обзор рабочей площадки, с учетом расположения инженерных сооружений. Кроме того, следует располагать дополнительные опознаки на объектах, не имеющих четких границ, на однотонных и блестящих поверхностях объектов.

Плановые координаты и высоты опознаков определялись с помощью спутникового приемника. На пешеходной галерее выполнено координирование девяти опознаков средствами ГНСС приемника STONEX (рис. 1) с точностью от 5 до 7 мм



Рис. 1. ГНСС приемник STONEX

в режиме RTK [9–11]. Измерения выполнялись от постоянно-действующей базовой станции NVSB от компании EFT в пределах 5 км. В качестве опознаков использовались пластиковые диски, закрепленные на поверхности строительной площадки.

В составе БАС использован квадрокоптер DJI Phantom 4 PRO (рис. 2). Технические характеристики приведены в табл. 1, характеристики цифровой камеры приведены в табл. 2. Обработка данных выполнялось в программном комплексе Agisoft Metashape Professional, разработанном группой компаний Геоскан [12].

Таблица 1

Технические характеристики квадрокоптера DJI Phantom 4 PRO

Характеристика	Значение
Масса	1375 гр (с аккумулятором и пропеллерами)
Макс. скорость	Режим S: 72 км/ч; Режим A: 58 км/ч; Режим P: 50 км/ч
Макс. угол наклона	Режим S: 42°; Режим A: 35°; Режим P: 25°
Макс. высота полета	6000 м
Макс. скорость ветра	10 м/с
Макс. время полета	Около 30 минут
Точность зависания	Вертикальная: +/-0.1 м (вкл. Vision Positioning) или +/-0.5 м (только GPS), горизонтальная: +/-0.3 м (вкл. VisionPositioning) или +/-1.5 м (только GPS)

Таблица 2

Технические характеристики цифровой камеры квадрокоптера DJI Phantom 4 PRO

Характеристика	Значение
Число эффективных пикселей	20 Мп
Объектив	Угол обзора 84°, 24 мм (эквивалент формата 35 мм), f/2.8 - f/11, автофокус 1 м - ∞
Выдержка	8 - 1/2000 с (механический затвор); 8 - 1/8000 с (электронный затвор)
ISO	Видео: 100 - 3200 (режим авто), 100 - 6400 (ручной режим); Фото: 100 - 3200 (режим авто), 100- 12800 (ручной режим)
Размер изображения	Соотношение сторон 3:2 5472 × 3648; Соотношение сторон 4:3 4864 × 3648; Соотношение сторон 16:9 5472 × 3078
Режимы фотосъемки	Покадровая, Серийная съемка RAW: 3/5/7/10/14/ кадров, Автоматическая экспокоррекция (АЕВ): 0.7EV с шагом 3/5 ступени, Интервальная: 2/3/5/7/10/15/30/60 с
Рабочая температура	0 ~ 40



Рис. 2. Квадрокоптер DJI Phantom 4 PRO

Программа Agisoft Metashape в значительной степени ориентирована на автоматизацию процесса обработки данных, что имеет существенное значение для оперативного получения цифровой топографической информации, а также ведет к удешевлению рабочего процесса.

Agisoft Metashape применяется как построения моделей предметов и объектов разных масштабов – от миниатюрных археологических артефактов до крупных строений и сооружений.

Всего было получено 26 снимков на высоте от 40 до 80 м. На первом этапе обработки выполнялось выравнивание снимков и построение облака точек (рис. 3).

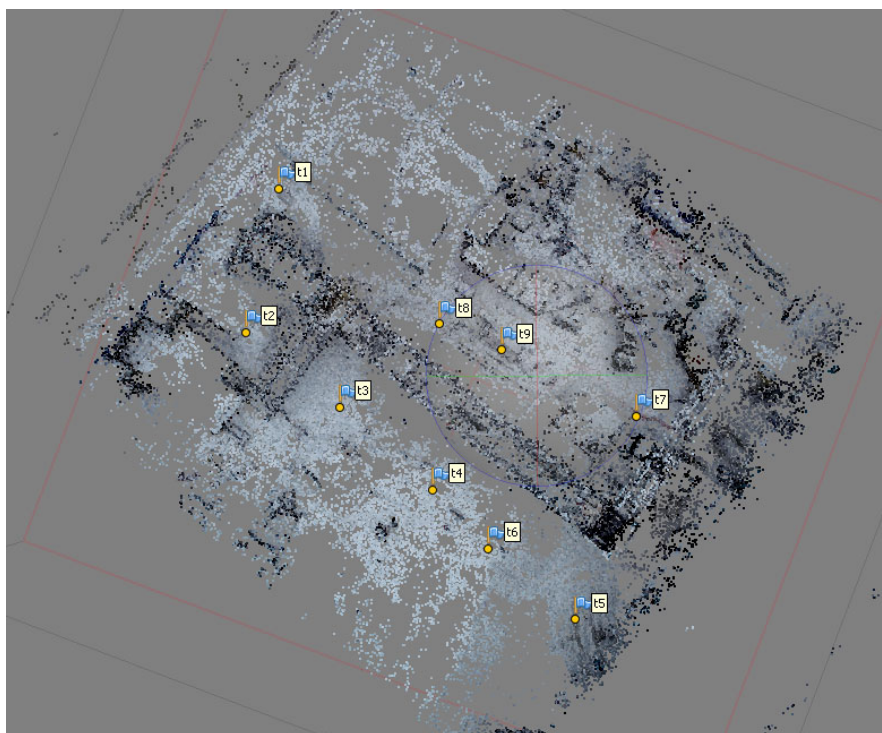


Рис. 3. Изображение облака точек

Далее выполнялся импорт каталога координат и высот опорных точек в системе координат WGS 84, определение координат высот опорных и контрольных точек на всех снимках, используемых в построении цифровой модели местности [9–11, 13]. В приведенном варианте использованы 4 точки в качестве опорных и 5 в качестве контрольных. Протокол обработки, генерируемый программой Agisoft Metashape, выдает значение так называемой «общей ошибки», которая соответствует значению ошибке по трем осям.

На рис. 4 приведен протокол результатов уравнивания. Далее выполнялись этапы построения плотного облака точек, ортофотоплана (рис. 5), ЦММ, используемых в качестве элементов визуализации [14].

Маркеры	Ошибка, восточное (м)	Ошибка, северное (м)	Ошибка, высота	Точность (м)	Ошибка (м)	Проекция
<input checked="" type="checkbox"/> t1	-0.001669	0.049027	0.024610	0.005000	0.054882	13
<input checked="" type="checkbox"/> t2	0.003555	-0.052347	-0.015679	0.005000	0.054760	17
<input type="checkbox"/> t3	-0.004311	-0.063883	0.020101	0.005000	0.067110	23
<input type="checkbox"/> t4	0.055114	-0.040933	-0.015687	0.005000	0.070421	24
<input checked="" type="checkbox"/> t5	0.068927	-0.110272	0.017516	0.005000	0.131216	19
<input type="checkbox"/> t6	-0.020753	0.035247	0.012419	0.005000	0.042746	23
<input checked="" type="checkbox"/> t7	-0.015343	-0.015617	-0.027797	0.005000	0.035383	23
<input type="checkbox"/> t8	0.018416	-0.027940	-0.024335	0.005000	0.041377	18
<input type="checkbox"/> t9	0.014607	0.115375	-0.031865	0.005000	0.120583	24
<b>Общая ошибка</b>						
Опорные то...	0.035362	0.066234	0.021972		0.078231	
Контрольны...	0.028423	0.064948	0.021964		0.074219	

Рис. 4. Изображение протокола уравнивания

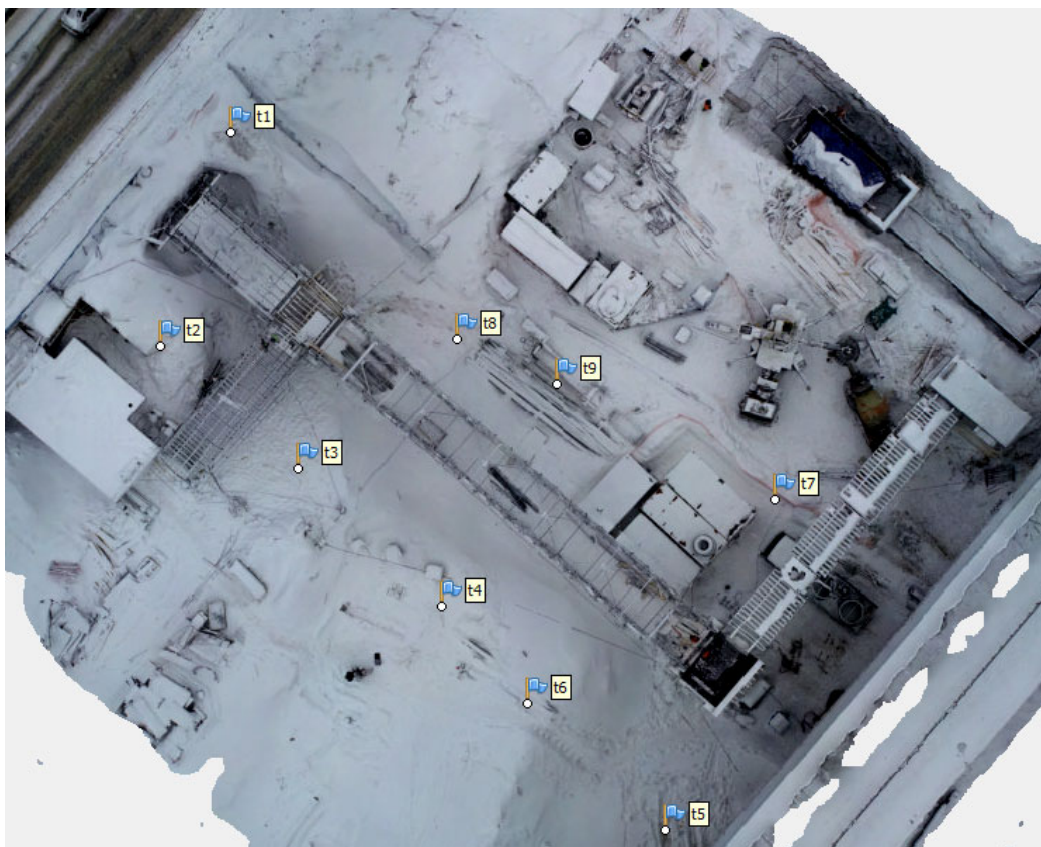


Рис. 5. Изображение ортофотоплана

## Заключение

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

– БАС позволяет выполнять съемку на малых высотах, получать цифровые снимки, при обработке которых возможно получать цифровые геоинформационные продукты в крупных масштабах 1 : 500 и 1 : 200 [15, 16];

– полученный ортофотоплан соответствует по точности топографическому плану масштаба 1:500 и может использоваться в качестве элемента визуализации при помощи гиперссылки.

Планируется продолжить исследования с учетом следующих условий:

– выполнить несколько съемок на высотах от 20 до 40 м, увеличить количество снимков, процент продольного и поперечного перекрытий с целью повышения детализации цифровой модели;

– увеличить число контрольных точек для повышения достоверности результатов уравнивания измерений соответственных точек;

– подобрать решение привязки элементов визуализации, обеспечивающее оптимальное использование его в наиболее известных отечественных и зарубежных ГИС.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уставич Г.А. Геодезия Книга 1 : учебник. – Новосибирск, 2012. – 351.
2. Уставич Г.А. Геодезия Книга 2 : учебник. – Новосибирск, 2014. – 534.
3. Хлебников Т.А., Архипова О. Б. Комбинированный способ создания цифровых топографических планов для инженерно-геодезических изысканий инженерных сооружений// Геодезия и картография. – 2014. – № 5. – С. 15–19.
4. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция. СНиП 11-02-96, М., 2012.
5. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства, Геострой России, М., 1997.
6. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96, М., 2016.
7. Чахлова А. П. Совершенствование методики инженерно-геодезических работ для проектирования и строительства сооружений в горной местности : дисс. ... канд. техн. наук. – 2017. – 156 с.
8. Хлебникова Т.А., Оприцова О.А., Экспериментальные исследования точности построения плотной цифровой модели по материалам беспилотной авиационной системы // Вестник СГУГиТ. – 2018, Т. 23 – № 2. – С. 119 – 129.
9. РТМ 68-14-01. Спутниковая технология геодезических работ.
10. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS, М., ЦНИИГАиК, 2003.
11. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS, М., ЦНИИГА и К, 2002.
12. Agisoft Metashape Professional – программный комплекс[Электронный ресурс]. – Режим доступа:[https://www.geoscan.aero/ru/software/agisoft/metashape\\_pro](https://www.geoscan.aero/ru/software/agisoft/metashape_pro) (дата обращения 20.04.2021).

13. ГКИНП (ГНТА) 01-014-02. Инструкция по составлению и изданию каталогов геодезических пунктов.
14. Автоматизация инженерно-геодезических измерений : метод.указ. / НИИГАиК ; В. М. Украинко, Г. А. Уставич, О. П. Сучков, С. И. Созыкин. - Новосибирск : 1985. – 34 с.
15. ГКИНП (ГНТА)-02-033-82. Инструкция по топографической съемке масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, Недра, 1989 г.
16. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Недра, 1989 г.

© Т. А. Хлебникова, А. С. Горилько, А. М. Астапов, 2021