

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

*Максим Александрович Алтынцев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

*Иван Владимирович Щербаков*

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, ведущий инженер научно-исследовательской лаборатории диагностики дорожных одежд и земляного полотна, тел. (913)795-33-33, e-mail: sibdorproect@bk.ru

*Степан Андреевич Третьяков*

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ведущий инженер кафедры инженерной геодезии, тел. (953)-795-82-39, e-mail: tretyakov.stepan91@mail.ru

Исполнительная съемка железных дорог – это одна из перспективных областей применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Результатом обработки данных съемки с помощью БПЛА являются цифровые модели местности (ЦММ), по которым применительно к железным дорогам получают информацию о положении рельсовых путей и междупутном расстоянии, определяют габариты приближения строений, выполняют построение продольных и поперечных профилей. Для того чтобы получить ЦММ с высокой точностью, необходимо использовать опорные и контрольные точки, равномерно распределенные вдоль участка работ. В качестве таких точек могут использоваться точки оси пути, измеряемые в процессе движения аппаратно-программного комплекса (АПК) «Профиль-М». Целью статьи является исследование точности построения ЦММ, внешнее ориентирование которой было выполнено по точкам оси пути, измеренным данным АПК.

**Ключевые слова:** аэрофотосъемка, БПЛА, массив точек, опорные точки, точность, аппаратно-программный комплекс «Профиль-М».

## **APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR THE AS-BUILT SURVEY OF RAILWAYS**

*Maxim A. Altyntsev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

*Ivan V. Shcherbakov*

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Leading Engineer, Research Laboratory for Diagnostic of Road Surfacing and Roadbed, phone: (913)795-33-33, e-mail: sibdorproect@bk.ru

### *Stepan A. Tretyakov*

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Leading Engineer, Department of Engineering Geodesy, phone: (953)-795-82-39, e-mail: tretyakov.stepan91@mail.ru

The as-built survey of railways is one of unmanned aerial vehicle (UAV) application fields. Digital surface models (DSM) are the results of UAV survey data processing. Concerning railways, they are used for receiving information about railway track position and distance between tracks, obstruction clearance, for generating longitudinal and cross profiles. For generating high accuracy DSM, regularly distributed control and check points within a survey area are necessary to be used. As these points rail track axis points, measured during a hardware-software system «Profile-M» movement, can be used. The goal of the article is the accuracy study of DSM generation whose external orientation was carried out with railway track axis points measured with this hardware-software system.

**Key words:** aerial photography, UAV, point cloud, control points, accuracy, hardware-software system «Profile-M».

### *Введение*

БПЛА в настоящее время активно применяются для решения самых различных задач. В число таких задач входят аэрофотосъемка местности, спектрально-зональная съемка, мониторинг лесных ресурсов, мониторинг местности для целей выявления и устранения чрезвычайных ситуаций, для ремонтно-строительных работ, мониторинг для опознания движущихся объектов и другие. С каждым днем область их применения все расширяется. Растущую популярность применения БПЛА можно связать с такими факторами как снижение их стоимости, мощным развитием средств вычислительной техники, разработкой и внедрением специальных алгоритмов обработки данных, появлением специализированных программных комплексов с дружелюбным интерфейсом [1–3].

Современные ПК обработки данных БПЛА способны за относительно небольшое время автоматизированно получать цифровые модели местности (ЦММ) в требуемой системе координат. Одним из таких ПК является PhotoScan. В ПК PhotoScan внедрены различные технологии компьютерного зрения и фотограмметрической обработки данных фотосъемки для того, чтобы выполнять поиск соответствующих точек на фотоснимках. Существенно улучшает результаты поиска наличие информации из EXIF-файл фотографии (координаты, высота центра фотоснимка, углы поворота камеры). Процесс вычисления координат точек в пространстве происходит на основе соответствующих точек, найденных на как минимум трех снимках. Результатом обработки является массив точек наподобие того, который получается в результате лазерного сканирования. Но точность координат массива точек, полученного в результате обработки цифровых фотографий, ниже, чем массива точек лазерных отражений. Для повышения точности результатов обработки фотосъемки применяют большое число опорных и контрольных точек, количество и распределение которых определяется необходимой точностью конечной продукции [4–9].

## *Методы и материалы*

Мониторинг и исполнительная съемка железных дорог – это еще одна из областей применения БПЛА. Железная дорога – это сложное инженерное сооружение, требующее соблюдения различных нормативных документов в процессе своего строительства и эксплуатации. По данным съемки железных дорог с помощью БПЛА возможно оперативно выполнить построение продольных и поперечных профилей, определить геометрические параметры рельсовой колеи, междупутное расстояние, габариты приближения строений [10–14]. Точность определения данных расстояний не должна быть при этом меньше 3 см [15].

Исходя из данного допущения на точность измерений необходимо основательно подходить к вопросу создания съемочного обоснования на участок съемки, выбору модели БПЛА, заданию параметров полета. В зависимости от протяженности объекта съемки используются БПЛА как самолетного, так и вертолетного типа [16–17].

БПЛА самолетного типа способны дольше выполнять съемку и используются для протяженных линейных объектов. Но БПЛА вертолетного типа имеют меньшую стоимость, при этом точность построения ЦММ с их помощью не уступает точности ее построения с помощью БПЛА самолетного [18].

Одним из самых современных и доступных на сегодняшний день профессиональных БПЛА вертолетного типа является DJI Phantom 4 Pro. Данная модель БПЛА была выбрана для исследований точности построения ЦММ в виде массива точек на территорию железной дороги и выполнения по ней измерений. Построение ЦММ осуществлялось в ПК PhotoScan. Для внешнего ориентирования ЦММ применялись координаты оси железнодорожного пути, измеряемые в процессе движения АПК «Профиль-М» [19].

АПК «Профиль-М» применяется для определения координат оси пути, геометрических параметров рельсовых путей, таких как превышение между головками рельса, ширина колеи, положение рельсовых нитей в плане и в вертикальной плоскости. Устройство и принцип работы АПК «Профиль-М» заключается в применении спутниковой аппаратуры позиционирования, имеющей 2 антенны, которые работают в дифференциальных и синхронизированных измерениях пространственного взаимного положения. С помощью двух антенн определяется ориентация осей ходовой тележки и вектора движения в двух плоскостях [19–20].

## *Результаты*

На рис. 1 показан обработанный в ПК PhotoScan участок перегона Тягун-Аламбай, находящийся в Кемеровской области, съемка которого была выполнена в октябре 2018 г. Чтобы достичь наибольшей точности, съемка выполнялась в несколько залетов с высоты 20 м. Для внешнего ориентирования ЦММ выбирались точки оси железнодорожного пути, расположенные напротив характерных объектов: светофоры, пикетные и километровые столбы, изостыки рельсов, опорные сооружения.

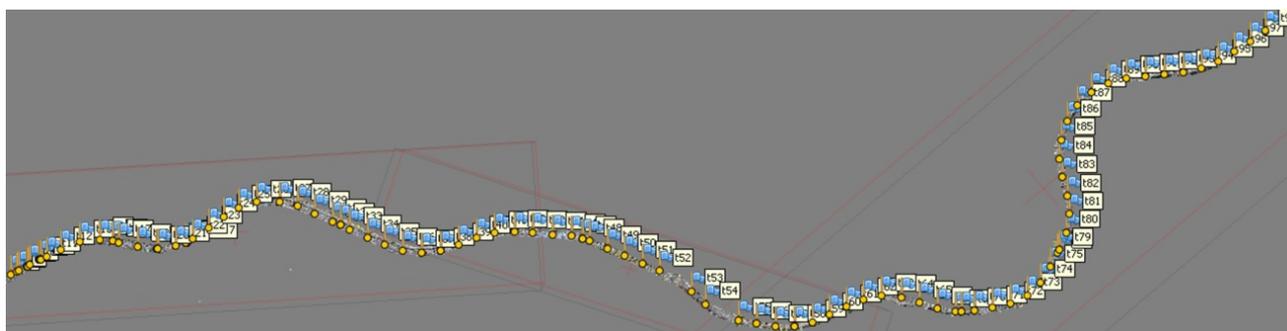


Рис. 1. Обработанный участок съемки перегона Тягун – Аламбай

Расстояние между опорными точками составило в среднем 100 м, в качестве которых были выбраны пикетные и километровые столбы. В качестве контрольных выбирались все остальные точки: светофоры, опорные сооружения, изостыки. На рис. 2 показан фрагмент построенной точечной модели в результате обработки съемки с БПЛА с отображением положения опорной точки № 40, описывающей положение пикетного столба.



Рис. 2. Точечная модель с отображением положения опорной точки № 40

На рис. 3 отображено положение данной опорной точки на фоне построенного ортофотоплана.

По опорным точкам средняя ошибка внешнего ориентирования точечной модели данного участка перегона составила 6,2 см, максимальная – 14,8 см. По контрольным точкам данная ошибка составила 13,2 и 20,5 см соответственно. Размер пикселя созданного ортофотоплана на местности при этом составил 4,5 мм.



Рис. 3. Ортофотоплан с отображением положения опорной точки №40

Относительно большие значения ошибок внешнего ориентирования точечной модели по сравнению с размером пикселя ортофотоплана связаны с тем, что положение характерных опорных и контрольных точек на оси выбирается глазомерным способом как в процессе полевых измерений с помощью АПК «Профиль-М» (точка пересечения перпендикуляра, опущенного от характерного объекта до оси пути), так и по цифровым снимкам в ПК PhotoScan. Но целью построения ЦММ по данным БПЛА являются измерения не абсолютных значений ошибок положения объектов, а относительных. По данным БПЛА выполняется построение поперечных сечений в местах характерных точек, определяются габариты и междупутное расстояние. То есть необходимо дополнительно выполнить оценку точности данных измерений посредством сравнения измерений, выполненных по ЦММ, с измерениями, полученными на местности с помощью рулетки.

С 2017 г. в лаборатории «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» СГУПС ведутся опытные работы по применению БПЛА для исполнительной съемки железных дорог.

Использование ЦММ для исполнительной съемки законченных ремонтных работ железных дорог позволяет получать такие данные как междупутье, габариты опор контактной сети, ширина плеча балластной призмы, ширина обочины земляного полотна, уклоны откосов балластной призмы и земляного полотна, выполнять построение поперечных профилей любой сложности. Применение БПЛА позволило значительно сократить объем полевых работ при исполнительной съемке.

Для оценки точности полученных данных были выполнены контрольные промеры в 72 сечениях с использованием электронного тахеометра FOCUS 4.



На сегодняшний день по заказу ОАО «РЖД» выполнена исполнительная съемка 7 перегонов с использованием БПЛА и построением ЦММ. Полученные материалы переданы в службу заказчика и могут в дальнейшем быть использованы для мониторинга состояния объектов инфраструктуры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журкин И. Г., Хлебникова Т. А. Цифровое моделирование измерительных трехмерных видеосцен : монография. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 246 с.
2. Хлебникова Т. А., Опритова А. О. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 119–131.
3. Themistocleous, K., Ioannides, M. Agapiou, A. Hadjimitsis, D. (2015). The methodology of documenting cultural heritage sites using photogrammetry, UAV, and 3d printing techniques: the case study of Asinou church in Cyprus,” RSCy2015, 953510-1.
4. Алтынцев М. А., Гук А. П. Автоматическая идентификация соответственных точек на аэроснимках лесных массивов // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 4. – С. 68–77.
5. Алтынцев М. А., Иптышева М. А. Совместная обработка данных мобильного лазерного сканирования и цифровой наземной фотосъемки для построения единого массива точек // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 87–95.
6. Хлебникова Т. А., Опритова О. А. Экспериментальные исследования точности построения плотной цифровой модели по материалам беспилотной авиационной системы // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 119–127.
7. Agisoft PhotoScan Professional Edition – Руководство пользователя. Версия 1.4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_4\\_ru.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_ru.pdf).
8. El-Ashmawy, K. L. (2015). A comparison between analytical aerial photogrammetry, laser scanning, total station and global positioning system surveys for generation of digital terrain model. Geocarto International, vol. 30, no. 2, 154–162.
9. Villanueva J. K. S., Blanco A. C. (2018). Optimization of ground control point (GCP) configuration for unmanned aerial vehicle (uav) survey using structure from motion (SfM). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W12, 2019 5th International Conference on Geoinformation Science – GeoAdvances 2018, 10–11 October 2018, Casablanca, Morocco, 167–174. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W12-167-2019>.
10. Wu Y., Qin Y., Wang Z., et al. (2018). A UAV-based visual inspection method for rail surface defects. Applied sciences, vol. 8, 1028. <https://doi.org/10.3390/app8071028>.
11. Хлебникова Т. А., Опритова А. О. Экспериментальные исследования технологии моделирования геопространства по материалам аэрофотосъемки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 16–20.
12. Щербаков И. В., Семиженов А. С. Геометрические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи // Сб. материалов XLI международной научно-практической конференции КазАТК им. М. Тынышпаева на тему: «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика» – Т. 1. – Алматы : КазАТК им. М. Тынышпаева, 2017. – С. 366–370.
13. Flammini F., Pragliola C., Smarra G. (2016). Railway infrastructure monitoring by drones. International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and

Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC). DOI: 10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841398.

14. Kovacevic M. S., Gavin K., Stipanovic Oslakovic I., et al. (2016). A new methodology for assessment of railway infrastructure condition. *Transportation research procedia*, vol. 14, 1930–1939.

15. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013.

16. Altman S., Xiao W., Grayson B. (2017). Evaluation of low-cost terrestrial photogrammetry for 3d reconstruction of complex buildings. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 4. Gruszczynski, W., Matwij, W., Cwiakala, P. (2017). Comparison of low-altitude UAV photogrammetry with terrestrial laser scanning as datasource methods for terrain covered in low vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 126, 168–179.

17. Kaćunić D. J., Librić L., Car M. (2016). Application of unmanned aerial vehicles on transport infrastructure network. *Građevinar*, vol. 4, 287-300. DOI: 10.14256/JCE.1382.2015. DOI: 10.14256/JCE.1382.2015.

18. Mayr A., Rutzinger M., Bremer M., Geitner C. (2016). Mapping eroded areas on mountain grassland with terrestrial photogrammetry and object-based image analysis. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 3, no. 5.

19. Щербаков И. В. Аппаратно-программный комплекс «Профиль-М» для определения пространственных и геометрических параметров рельсовой колеи // *Вестник СГУГиТ*. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 60–71.

20. Земерова А. А. Методика создания электронных проектов по данным натурной съемки АПК «Профиль» // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.)*. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 78–82.

© М. А. Алтынцева, И. В. Щербаков, С. А. Третьяков, 2019