

# Анализ применимости БПЛА при геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых автомобильных дорог

DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.5

Суконников О.Г., ведущий инженер ООО «Индор-Центр» (г. Москва)  
Неретин А.А., к.т.н., заместитель директора ООО «Индор-Центр» (г. Москва)  
Гурьев В.А., старший преподаватель кафедры «Геодезия и геоинформатика»  
МАДПУ (МАДИ) (г. Москва)

*Рассматривается вопрос о применении современных технологий в методах получения геопространственных данных в инженерных изысканиях в дорожном строительстве. Приводятся конкретные результаты применения этих технологий, их анализ и краткие выводы о перспективе их применения.*



## Введение

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят всё более широкое применение в разных сферах хозяйственной деятельности, в том числе и в дорожной отрасли. На сегодняшний день современные технологии позволяют выполнять с помощью БПЛА аэрофотосъёмку, упрощая процесс получения точных геопространственных данных. БПЛА достойно заняли свою нишу при выполнении аэрофотосъёмки небольших территорий до 20 км<sup>2</sup>. Этому способствуют недостатки двух традиционных способов измерений: космической съёмки и съёмки с пилотируемых летательных аппаратов [1]. Данные спутниковой съёмки позволяют получать снимки с максимальным доступным разрешением 0,5 м, что недостаточно для построения крупномасштабных топографических карт и планов. Аэрофотосъёмка, выполняемая с самолётов и вертолётов, требует больших затрат (аренда, стоимость топлива и т.д.). Таким образом, применение БПЛА для съёмки на небольших высотах с целью получения снимков высокого разрешения становится экономически целесообразно.

Оперативность выполнения полевых работ с применением БПЛА позволяет осуществлять мониторинг состояния дорожного покрытия, контроль за выполненными работами по возведению земляного полотна и искусственных сооружений.

Материалы фотосъёмки являются основой создаваемой цифровой модели фактической поверхности, по которой оцениваются объёмы выполненных работ. Построенная цифровая модель может быть использована в дальнейшем в различных программах ГИС и САПР, что облегчает процесс проектирования [2].

Целью проводимых экспериментов компании ООО «Индор-Центр» являлась оценка применения БПЛА для мониторинга дорожно-строительных работ: возведение земляного полотна и укладка различных слоев дорожной одежды.

## Описание технологии и применяемого оборудования

В рамках тестирования методики применения технологии БПЛА в дорожном строительстве для формиро-



Рис. 1. Внешний вид БПЛА DJI Phantom 4 Pro

вания системы оперативного мониторинга и контроля выполненных работ по строительству (реконструкции, модернизации, ремонта) автомобильных дорог компания ООО «Индор-Центр» в конце октября и в середине ноября 2017 г. выполнила две съёмки с БПЛА DJI Phantom 4 Pro (рис. 1). На БПЛА Phantom 4 Pro установлена фотокамера SONY с матрицей с числом эффективных пикселей 20 МП и с углом обзора объектива 84°.

Был выбран опытный участок длиной 600 м на автомобильной дороге первой категории с четырьмя полосами движения в двух направлениях и с разделительной полосой. В одном направлении был уложен верхний слой основания (крупнозернистый асфальтобетон), в обратном направлении был уложен щебёночно-песчаный слой.

Время проведения этих работ выбиралось с учётом погодных условий, которые должны соответствовать требованиям инструкции.

Для планирования маршрута съёмки применялось бесплатное программное обеспечение DJI GS Pro, предоставляемое разработчиком для зарегистрированных пользователей, позволяющее в режиме 3D Map оперативно запрограммировать параметры полёта, наметив на космическом снимке лишь периметр съёмки и задав высоту и степень перекрытия снимков (рис. 2).

Первая аэросъёмка была проведена на высоте 68 м. Количество маршрутов — два. Продольное перекрытие между снимками составило более 80%, а поперечное перекрытие между маршрутами — более 60%.



Рис. 2. Интерфейс программного обеспечения DJI GS Pro



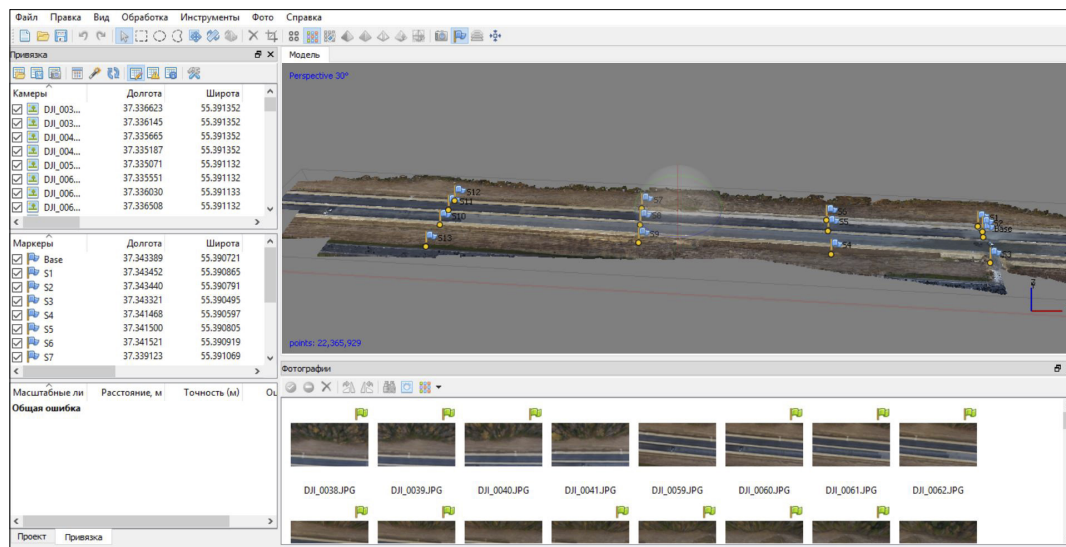


Рис. 3. Обработка снимков в программе PhotoScan

Вторая аэросъёмка проводилась через месяц. За этот период по второму направлению был уложен верхний слой основания (крупнозернистый асфальтобетон). Для выявления оптимальных параметров полёта была назначена высота 45 м, при этом количество маршрутов увеличилось до четырёх.

Помимо этого, осуществлялись GNSS-наблюдения на контрольных (опорных) точках дорожного полотна и точках и точках геодезической разбивочной основы. Параллельно была проведена тахеометрическая съёмка поперечников с шагом порядка 20 м, а также некоторых опорных точек, используемых при воздушной съёмке. Это позволило произвести оценку отклонений измеренных точек от соответствующих точек, полученных на цифровой модели, созданной

фотограмметрическим способом. Для построения модели на основе снимков с БПЛА использовалась программа PhotoScan [3] компании Agisoft, хорошо зарекомендовавшая себя на этом рынке (рис. 3). Обработка данных в PhotoScan достаточно автоматизирована, что позволяет в короткий срок овладеть навыками работы в этой программе и следить лишь за правильностью выставленных параметров обработки.

Окончательным этапом обработки данных в этой программе является экспорт. Это, как правило, плотное облако точек, например, в формате LAS, матрица высот, цифровая модель в формате TIN и ортофотоплан. При значительных объёмах выходных данных предусмотрена возможность получать результат, разбитый на привязанные блоки.



Рис. 4. Вид на объект съёмки с высоты 18 м

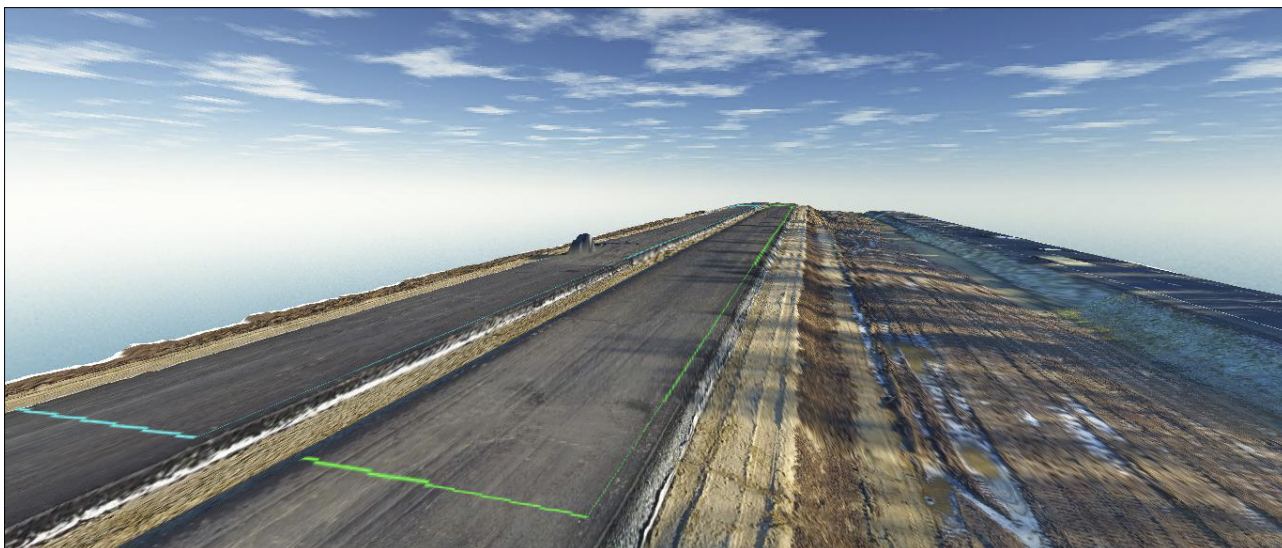


Рис. 5. 3D-вид с векторными рамками в программе Global Mapper

С БПЛА в результате первого выполненного полёта было сделано 79 снимков без отбраковки в результате выравнивания, а в результате второго полёта — 150 снимков (рис. 4).

Протяжённость полосы съёмки в первом случае в длину составила порядка 600 м и порядка 80 м в ширину, а во втором — 330 м и 80 м соответственно.

Разные высоты съёмки выбраны с целью выявления зависимости точности построения модели от высоты полёта, а также фактора «смаза» изображения, возникающего при значительных скоростях перемещения фотокамеры [4].

В качестве опорных точек на земле применялись белые пластмассовые одноразовые тарелки диаметром 165 мм, закреплённые дюбелями, которые уверенно опознаются на снимках и позволяют центрировать на их центрах маркеры в программе обработки снимков с точностью одного пикселя, что в нашем случае соответствует 2–2,5 см.

### Обработка данных, анализ и выводы

В результате обработки полученных фотоснимков были созданы плотные облака точек, карты высот, цифровые модели и ортофотопланы. После этого все результаты были загружены в программу Global Mapper для наглядного отображения и анализа, включая 3D-просмотр (рис. 5).

На рис. 6 представлен раздел из отчёта, сформированного в программе Photoscan, посвящённый опорным точкам, созданный при первой съёмке. Аналогичные результаты получены и при обработке второй съёмки в пределах приведённой величины.

В ходе обработки данных съёмки выполнялось построение плотного облака точек с предварительной ориентацией матрицы на основании на-

---

...ошибка по опорным очкам составила 3,4 см (2,5 см в плане и 2,3 см по высоте), при этом разрешение съёмки составило 2,59 см/пикс. Эти цифры характеризуют точность построения цифровой модели.

---

вигационных координат центров фотографирования, где точность составляет несколько метров. И лишь после импорта в программу подсчитанных координат опорных точек и точной расстановки их с помощью специальных маркеров мы получаем точную пространственную модель снимаемого участка в системе координат WGS 84.

В дальнейшем, загрузив все данные по съёмке, мы можем перейти в интересующую систему координат, используя необходимую проекцию и datum [5]. Эти шаги опять же легко выполнить в программе Global Mapper.

Из отчёта PhotoScan по обработке данных съёмки общая ошибка по опорным точкам составила 3,4 см (2,5 см в плане и 2,3 см по высоте), при этом разрешение съёмки составило 2,59 см/пикс. Эти цифры характеризуют точность построения цифровой модели.

Сравнение координат по опорным точкам в плане показало отклонение модели от данных тахеометрической съёмки по пяти точкам в диапазоне от 7 мм до 4,4 см. Такие же цифры с незначительными отклонениями были получены и по второй съёмке.

Отклонение модели по высоте в 35 точках по поперечным профилям на жёсткой поверхности от тахеометрической съёмки составило в среднем 2,9 см.

Были проведены измерения на обеих полосах строящейся трассы в пределах полотен асфальта, ограниченных созданными векторными рамка-

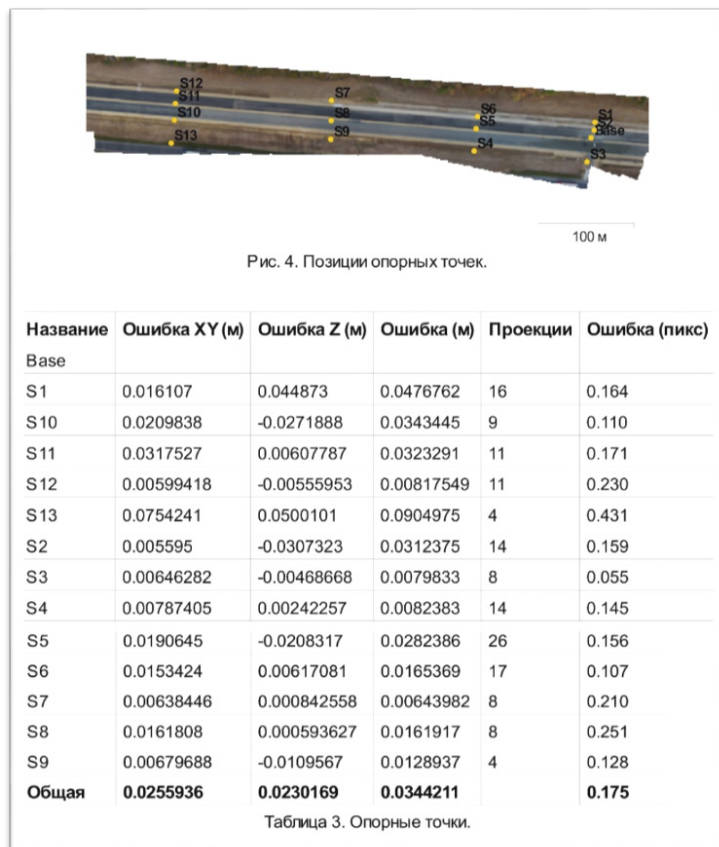


Рис. 6. Раздел отчёта, сформированного в программе Photoscan

ми между пикетами ПК2743 и ПК2745 с целью определения объёма наложенного слоя полотна в промежутке между двумя съёмками (рис. 5). Результаты показали, что точность определения объёма по этой методике составила не грубее 6%.

### Заключение

Проведённый анализ показал, что существует разумный компромисс между высотой съёмки и точностью построения модели местности и создания ортофотоплана. Это предельная высота лежит не ниже 35 м и не выше 70 м от поверхности при заданных параметрах применяемого оборудования. Следует также учитывать то обстоятельство, что при низких полётах значительно возрастает количество снимков, что влияет на время обработки данных в PhotoScan, особенно при достаточно больших площадях снимаемой поверхности. Это также напрямую ограничивает время полёта на одном аккумуляторе.

Учитывается в этом случае и один из самых важных факторов — безопасность полётов, и потому необходимо стремиться максимально избегать рисков столкновения «дрона» с высокими конструкциями и деревьями в зоне съёмки или на её границе. Особенно это актуально для ажурных строений (вышки ЛЭП, провода и ветки деревьев без густой листвы). Более плотные препятствия для DJI Phantom 4 Pro не так опасны, поскольку он достаточно хорошо справляется

с ними благодаря усилиям разработчиков этого БПЛА.

Исходя из полученных результатов и их оценки можно сделать вывод, что подобный метод вполне допустим для проведения оперативного мониторинга и анализа на этапах проектирования, строительства, эксплуатации и технического обслуживания дорог и их инфраструктуры.

Ещё одним способом применения этой технологии может являться оперативное определение с геодезической точностью координат линейных и точечных дефектов дорожного покрытия размером 2 см и крупнее, площадей разрушения, глубины выбоин/трещин, что даёт возможность спрогнозировать состояние дорожного полотна и оценить динамику его разрушения [6].

Полученные в ходе наших испытаний планово-высотные точности (2,5 см в плане и 3 см по высоте) дают перспективы по измерению и оценке колеяности на существующих автомобильных дорогах. ■

### Литература:

- Официальный сайт компании «Ракурс».  
URL: <http://www.racurs.ru/> (дата обращения: 30.11.2017).
- Сарычев Д.С., Скворцов А.В. Автоматизированная технология изысканий в строительном контроле // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1(6). С. 20–23. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.3
- Иноземцев Д.П. Автоматизированная аэрофотосъёмка с помощью программно-аппаратного комплекса «GeoScan-PhotoScan» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 46–51. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.10
- Джарроуш Д. Цифровая камера как практический геодезический инструмент: проблемы и решения // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 52–56. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.11
- Гулин В.Н., Миронов С.А., Неретин А.А. Проблема обеспечения единого координатного пространства для объектов дорожной отрасли // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 75–82. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.10
- Коробов Д.А. Использование беспилотных авиационных систем для мониторинга линейных объектов // Молодежный научный вестник: электронный научно-практический журнал. Май 2017. URL: <http://www.mnvnauka.ru/2017/05/Korobow.pdf> (дата обращения: 30.11.2017).