



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.7:623.746.4-519

DOI: 10.52957/27821919_2022_4_28

Применение беспилотных летательных аппаратов для обследования объектов транспортной инфраструктуры

А.В. Кочетков¹, Н.С. Семенова², А.Ф. Иванов², И.А. Чижиков³

Андрей Викторович Кочетков

¹Федеральное автономное учреждение «Российский дорожный научно-исследовательский институт», Москва, Российская Федерация
soni.81@mail.ru

Наталья Сергеевна Семенова

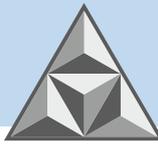
²Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, Саратов, Российская Федерация
n-semenova@yandex.ru

Александр Федорович Иванов

²Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, Саратов, Российская Федерация
alexandr.ivanov.sgtu@rambler.ru

Илья Александрович Чижиков

³Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
ilya2@mail.ru



На базе анализа комплексного использования возможностей малых беспилотных летательных аппаратов и бортового оборудования в сочетании со специализированным программным обеспечением получены данные, позволяющие рекомендовать использование новой методики для проведения судебной экспертизы качества строительства объектов транспортной инфраструктуры. Экспериментально установлено, что проведение замеров геометрических параметров улиц и дорог с применением таких аппаратов значительно повышает объективность исследований и гарантирует необходимую производительность работ при строительстве автомобильных дорог.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, асфальтобетонные покрытия, цифровая модель местности, дефекты, паспортизация и инвентаризация автомобильных дорог

Для цитирования:

Кочетков А.В., Семенова Н.С., Иванов А.Ф., Чижиков И.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для обследования объектов транспортной инфраструктуры // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 4. С. 28-38. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N4_2022.

DOI: 10.52957/27821919_2022_4_28



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2022_4_28

Unmanned Aerial Vehicles Use for the Inspection of Transport Infrastructure Facilities

A.V. Kochetkov¹, N.S. Semenova², A.F. Ivanov², I.A. Chizhikov³

Andrey V. Kochetkov

¹Federal Autonomous Institution "Russian Road Research Institute", Moscow, Russia
soni.81@mail.ru

Natalia S. Semenova

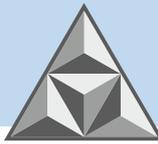
²Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia
n-semenova@yandex.ru

Alexander F. Ivanov

²Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia
alexandr.ivanov.sgtu@rambler.ru

Ilya A. Chizhikov

³National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
ilya2@mail.ru



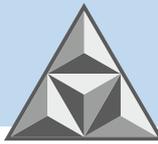
This study contains new data based on the analysis of the integrated use of the small unmanned aerial vehicles capabilities and on-board equipment in combination with specialized software. The methodology developed can be recommend for forensic examination of transport infrastructure facilities construction quality. We obtained experimentally that measuring the geometric parameters of streets and roads using such devices significantly increases the objectivity of research and guarantees the necessary productivity of work during the construction of highways.

Key words: Unmanned aerial vehicles, asphalt concrete pavement, digital terrain model, defects, certification and inventory of highways

For citation:

Kochetkov, A.V., Semenova, N.S., Ivanov, A.F. & Chizhikov, I.A. (2022) Unmanned Aerial Vehicles Use for the Inspection of Transport Infrastructure Facilities, *Smart Composite in Construction*, 3(4), pp. 28-38 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N4_2022 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2022_4_28



ВВЕДЕНИЕ

При обследовании объектов транспортной инфраструктуры выполняется большой объем работ по определению размеров различных элементов. Авторы настоящего исследования за время многолетней работы в области паспортизации и инвентаризации дорог, надзора процесса строительства, операционного и приемочного контроля качества, судебной экспертизы пришли к выводу о целесообразности дополнения, а в перспективе – замены традиционного метода измерения расстояний рулеткой новыми методами.

В последнее десятилетие наблюдается повышенный интерес специалистов различных отраслей, деятельность которых связана с определением размерности объектов, к применению беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1-7]. В частности, признано целесообразным и эффективным применение БПЛА с целью построения цифровых моделей местности для развития дорожной отрасли [8]. Решение вопросов, связанных с применением беспилотных летательных аппаратов для оценки качества объектов дорожной инфраструктуры [9-12], является весьма актуальным. Однако применение БПЛА в дорожном строительстве к настоящему времени еще не является массовым.

На основе выполненных исследований авторами подготовлены методические рекомендации по производству аэрофототопографических работ с применением БПЛА при изысканиях для строительства и реконструкции автомобильных дорог [13].

Анализ комплексного использования возможностей малых БПЛА и бортового оборудования в сочетании с современным специализированным программным обеспечением предоставил возможность апробировать новую методику при судебной экспертизе качества строительства объектов транспортной инфраструктуры. Применение такой методики позволяет значительно повысить производительность работ, уменьшить вероятность случайного и сознательного искажения результатов измерений. В любой момент с использованием офисной аппаратуры можно «вернуться» за сотни и тысячи километров к месту производства работ для уточнения и разрешения спорных вопросов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Новую методику измерений применяли при обследовании объекта: *Подъезд от автомобильной дороги «Михайловка (29.4 км) – Даниловка – Котово» к хут. Попов*. В процессе производства работ, наряду с традиционными методами измерений с помощью рулетки, использовали фото- и видеоаппаратуру, а также средства визуализации беспилотного летательного аппарата.

По результатам пролета примененного при экспертизе БПЛА получены фотографии объекта экспертизы (вид сверху). Путем наложения их друг на друга составлен ортофотоплан (рис. 1) с привязкой к характерным опорным точкам, сформированным на объекте экспертизы.

Общую длину участков тротуара с дефектами определяли в следующем порядке:

- сгенерированный ортофотоплан в формате JPEG загружали на компьютере в программу AUTOCAD;
- изображение масштабировали (увеличивали) до величины, позволяющей зрительно различать трещины, выбоины, разрушения кромок, просадки и другие разрушения;
- по известному размеру реперного элемента (канализационный люк диаметром 600 мм) на рассматриваемом участке определяли масштаб изображения (рис. 2).



Рис. 1. Ортофотоплан дороги с привязкой к характерным опорным точкам
Fig. 1. Orthophotoplane of the road with reference to characteristic reference points



Рис. 2. Фрагмент плана с реперным элементом
Fig. 2. Plan fragment with a reference element

Принятый масштаб изображения плана анализируемого объекта, стандартизированный размер выбранного опорного реперного элемента и возможности использованного программного продукта (AUTOCAD) позволяют определить размеры выбранного фрагмента плана объекта с точностью до сантиметров (погрешность не превышает 10 см). Для решения поставленной задачи (определение длины участков тротуара с дефектами, образованными на стадии строительства объекта, накопленными деформациями и разрушениями при эксплуатации в течение 3 лет) этого достаточно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При выполнении работ по обследованию объектов транспортной инфраструктуры установлено, что для повышения точности измерений размеров различных элементов перед запуском БПЛА на поверхность покрытия целесообразно укладывать нивелирную рейку. Нивелирная рейка (рис. 3), проградуированная в сантиметрах или дюймах, изначально предназначена для измерения разности в уровнях с помощью нивелира или другого геодезического оборудования.

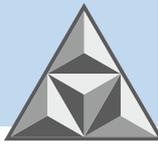


Рис. 3. Нивелирная рейка

Fig. 3. Leveling rail

Изображение чисел на рейке может быть как нормальное, так и перевернутое (в старых нивелирах). Авторы предлагают применять нивелирную рейку по новому назначению – для получения размеров объектов транспортной инфраструктуры при камеральной обработке результатов съемки, полученных с помощью БПЛА, оснащенного специальным бортовым оборудованием.

Участок тротуара с разрушениями оконтуривался линиями, параллельными и перпендикулярными оси тротуара, и нумеровался (рис. 4).



Рис. 4. Фрагмент плана тротуара с выделенными разрушенными участками

Fig. 4. Sidewalk plan fragment with selected destroyed sections

Затем в программе AUTOCAD определяли длину участка, для отчетности делали его копию, которую в формате PDF помещали в соответствующее Приложение. Результаты измерения длины дефектного участка заносили в табл. 1.

Изображение тротуара перемещали по экрану монитора до появления следующего дефектного участка, после чего повторяли процессы оконтуривания, нумерации, определения длины и внесения табличных данных – и так до конца тротуара.

**Таблица 1.** Результаты измерения длины дефектного участка**Table 1.** Results of measuring the length of the defective section

Номер участка	Вид деформаций и разрушений (трещины, выбоины, просадки, разрушение кромки покрытия)	Длина участка, м
1	2	3
1	Люк с просадкой	4.0
2	Трещины	5.3
3	Трещины	8.4
4	Люк с просадкой	4.0
5	Трещины	4.0
6	Трещины	6.0
7	Трещины	7.2
8	Трещины	2.8
9	Трещины	2.7
10	Трещины	5.3
11	Люк с просадкой	4.0
12	Трещины	4.8
13	Трещины	0.6
14	Трещины	1.2
15	Трещины	2.9
16	Трещины	5.8
17	Трещины	1.2
18	Трещины	4.4
19	Люк с просадкой	4.0
20	Трещины	2.3
21	Трещины	0.6
22	Трещины	3.2
23	Трещины	1.0
24	Трещины	1.5

Описанный процесс повторялся до конца тротуара.

Результаты, содержащиеся в столбце 3 (см. табл. 1), суммировали. При этом полученная сумма представляет собой общую длину тротуара, подлежащую перестройке.

Так, общая длина тротуара составила приблизительно 480.0 м.

Общая длина участков с недопустимыми дефектами равна 87.2 м.

Так как участки с недопустимыми разрушениями распределены по всей длине тротуара, фрагментарный ремонт («клочками») является неподходящим решением. Действительно, он не может обеспечить ровность и однородность объекта в целом.

Многие смотровые канализационные колодцы просели на несколько десятков сантиметров относительно проектного положения (рис. 5)

**Рис. 5.** Пример деформации**Fig. 5.** Example of deformation



Эти деформации привели к нарушению проектного положения трубопровода в продольном профиле и его разрушению. Таким образом, трубопровод прекратил нормально функционировать. Содержимое трубопровода поступает в основание дорожной конструкции и провоцирует разрушение строительного объекта.

Наличие на поверхности асфальтобетонного покрытия тротуара большого количества стеблей и остатков растений свидетельствует о том, что тротуар, в связи с риском получения пешеходами травм, по прямому назначению не используется.

Выявленные разрушения позволяют сделать вывод о необходимости полной перестройки тротуара.

ВЫВОДЫ

Показано, что новая методика измерений геометрических параметров улиц и дорог с применением беспилотных летательных аппаратов обеспечивает получение точных данных о состоянии строительного объекта и повышение производительности дорожных работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Костюк А.С.** Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА // *Гео-Сибирь*. 2010. Т. 4, № 1. С. 83–87.
2. **Ильинов Е.В., Агеев А.М.** Анализ и прогноз развития производства комплексов с БПЛА ведущих зарубежных стран // *Вестник Академии военных наук*. 2014. № 1. С. 153–156
3. **Бауэре П.** Летательные аппараты нетрадиционных схем. М.: Мир, 2016. 320 с.
4. **Карпович М.А., Герштейн Л.М., Паневин Н.В., Карпович А.М.** Применение БПЛА при проведении топографо-геодезических изысканий // *Транспортная стратегия – XXI век*. 2013. № 22. С. 66–68.
5. Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях // *Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 22–23 мая 2018 г.* Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. 135 с.
6. **Кумаритова Д.Л., Киричек Р.В.** Обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN сетей // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2016. Т. 4, № 4. С. 33–48.
7. **Беленков А.И.** Опыт и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в точном земледелии // *Агротехнический журнал «Нивы России»*. 2016. № 5(138). С. 62–65.
8. **Писарев А.В.** Возможности применения БПЛА для построения высокоточной цифровой модели рельефа местности малых рек // *Проблемы теории и практики современной науки. Материалы V Международной научно-практической конференции. Таганрог, 18 января 2016 года*. Таганрог: Издательство «Перо», 2016. С. 95–98.
9. **Манухина В.П., Манухина Л.А., Дехтярь Е.В., Садакова В.В.** Беспилотные летательные аппараты с целью проверки состояния мостов // *Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки. Материалы XI международной научно-практической конференции «Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки North Charleston, 27–28 марта 2017 г.* Изд-во CreateSpace, 2017. С. 146–148.
10. **Филиппов Д.В., Великжанина К.Ю., Грядун Д.А.** Состояние автомобильных дорог изучает БПЛА // *Дороги. Инновации в строительстве*. 2012. № 20. С. 74–78.
11. **Наконечный В.Н., Середа П.О., Лебедева И.В., Цаль А.Ю.** К вопросу использования



беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и диагностики автомобильных дорог // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции "Транспорт: наука, образование, производство. Технические науки". Т. 2. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2017. С. 305-308.

12. **Бургутдинов А.М., Гарифзянов Р.Д., Окунева А.Г., Стецюк К.С.** Анализ дистанционных и визуальных методов оценки состояния дорожного покрытия // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2015. № 2(18). С. 74-84.
13. ОДМ 218.9.017-2019 "Методические рекомендации по производству аэрофототопографических работ с применением беспилотных летательных аппаратов при изысканиях в целях строительства и реконструкции автомобильных дорог". М.: Росавтодор, 2019.

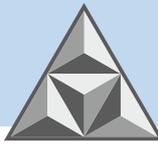
Поступила в редакцию 24.10.2022

Одобрена после рецензирования 23.11.2022

Принята к опубликованию 29.11.2022

REFERENCES

1. **Kostyuk, A.S.** (2010) Calculation of parameters and evaluation of the quality of aerial photography from UAVs, *Geo-Sibir*, 4(1), pp. 83-87 (in Russian).
2. **Ilyinov, E.V. & Ageev, A.M.** (2014) Analysis and forecast of the development of the production of complexes with UAVs of leading foreign countries, *Vestnik Akademii voyennykh nauk*, (1), pp. 153-156 (in Russian).
3. **Bauer, P.** (2016) *Aircraft of unconventional schemes*. M.: Mir (in Russian).
4. **Karpovich M.A., Gerstein, L.M., Panevin, N.V. & Karpovich, A.M.** (2013) The use of UAVs during topographic and geodetic surveys, *Transportnaya strategiya – XXI vek*, (22), pp. 66-68 (in Russian).
5. The use of unmanned aerial vehicles in geographical research (2018) *Sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Irkutsk. 22–23 maya 2018 g.* Irkutsk: Izdatelstvo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN (in Russian).
6. **Kumaritova, D.L. & Kirichek, R.V.** (2016) Review and comparative analysis of LPWAN network technologies, *Informatsionnyye tekhnologii i telekommunikatsii*, 4(4), pp. 33-48 (in Russian).
7. **Belenkov, A.I.** (2016) Experience and prospects of the use of unmanned aerial vehicles in precision agriculture, *Agrosnabzhencheskiy zhurnal «Nivy Rossii»*, 5(138), pp. 62-65 (in Russian).
8. **Pisarev, A.V.** (2016) The possibilities of using UAVs to build a high-precision digital terrain model of small rivers, *Problemy teorii i praktiki sovremennoy nauki. Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Taganrog. 18 yanvarya 2016 goda.* Taganrog: Izdatelstvo «Pero», pp. 95-98 (in Russian).
9. **Manukhina, V.P., Manukhina, L.A., Dekhtyar, E.V. & Sadakova, V.V.** (2017) Unmanned aerial vehicles for the purpose of checking the condition of bridges, *Fundamentalnaya nauka i tekhnologii – perspektivnyye razrabotki. Materialy XI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Fundamental Science and Technology - Promising Developments North Charleston, March 27-28, 2017.* Izd-vo «CreateSpace», pp. 146-148 (in Russian).



10. **Filippov, D.V., Velikzhanina, K.Yu. & Grydunov, D.A.** (2012) The state of highways studies UAVs, *Dorogi. Innovatsii v stroitelstve*, (20), pp. 74-78 (in Russian).
11. **Nakonechny, V.N., Sereda, P.O., Lebedeva, I.V. & Tsal, A.Yu.** (2017) On the use of unmanned aerial vehicles for monitoring and diagnostics of highways, *Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskaya konferentsii "Transport: nauka. obrazovaniye. proizvodstvo. Tekhnicheskiye nauki"*. Т. 2. Rostov-na-Donu: RGUPS, pp. 305-308 (in Russian).
12. **Burgonutdinov, A.M., Garifzyanov, R.D., Okuneva, A.G. & Stetsyuk, K.S.** (2015) Analysis of remote and visual methods for assessing the condition of the road surface, *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, 2(18), pp. 74-84 (in Russian).
13. ODM 218.9.017-2019 "Methodological recommendations for the production of aerial photography works using unmanned aerial vehicles during surveys for the construction and reconstruction of highways" (2019). М.: Rosavtodor (in Russian).

Received 24.10.2022

Approved after reviewing 23.11.2022

Accepted 29.11.2022