

УДК [528.721.221.6:528.8]+[629.783:625.7]
DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-3-20-27

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ СЪЕМКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Михаил Ярославович Брын

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии, тел. (812)457-85-38, e-mail: bryn@pgups.ru

Динара Ринатовна Баширова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, аспирант кафедры инженерной геодезии, тел. (812)457-85-38, e-mail: bashirovadinara97@gmail.com

Рассмотрено применение мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов для съемки автомобильных дорог. Целью исследований стало сравнение результатов съемки с использованием систем мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для установления предпочтительного варианта выполнения съемки автомобильной дороги. Экспериментальная часть исследований проведена при помощи следующего оборудования: сканирование выполнялось с использованием системы Topcon IP – S2 Compact, аэрофотосъемочные работы осуществлялись с беспилотного летательного аппарата Геоскан 201. На основании выполненных сопоставительных испытаний на участке автомобильной дороги А-121 «Сортавала» проведен сравнительный анализ полученных данных по различным показателям: скорость проведения этапов съемки, стоимость комплекта оборудования, стоимость выполнения съемки, а также выполнена оценка точности результатов. Даны практические рекомендации для применения рассматриваемых методов, указаны их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, БПЛА, ортофотоплан, топографический план, мобильное лазерное сканирование, мобильный лазерный сканер, экспериментальный участок автомобильной дороги

Введение

Как известно, одной из важнейших проблем страны является состояние дорожного полотна автомобильных дорог [1–5]. Съемка автодорог для решения различных задач, в том числе проведения паспортизации и диагностики, проводится, как правило, ручными методами: фотофиксация обочин в сочетании с одомером, распознавание оператором дефектов по видеоряду [2, 6, 7]. Поэтому в настоящее время идет поиск путей, способствующих автоматизации съемки автодорог [6–8]. В связи с этим, на сегодняшний день для съемки автомобильных дорог при решении этих задач получают распространение мобильное лазерное сканирование (МЛС) [2, 5, 3, 9–13] и аэрофотосъемка

(АФС) с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1, 14–18].

Методы исследования

Принцип технологии сканирования заключается в измерении расстояний от сканирующего устройства до исследуемого объекта, а также горизонтальных и вертикальных углов [6, 19]. Такой набор информации позволяет получить трехмерные координаты точки в системе координат сканера, начало которой расположено в центре блока развертки [19, 20]. Результатом сканирования являются точки лазерных отражений, которые обладают определенной информацией: интенсивностью отраженного сигнала, принадлежности к классу, данными о реальном цвете объекта.

Суть технологии МЛС заключается в том, что на вращающейся основе, закрепленной на телескопических направляющих транспортного средства, расположен высокоскоростной лазерный дальномер и отклоняющее его зеркало. При обороте дальномера получается «разрез» в плоскости. Так как систему сканирования устанавливают на шасси, в движении получается большое количество таких разрезов [6].

Существует множество способов закрепления систем мобильного лазерного сканирования, например, МЛС может осуществляться с транспортного средства, при этом система сканирования жестко закреплена на телескопических направляющих [6, 8, 13]. Система МЛС устанавливается также на водное транспортное средство, на путеизмерительную тележку [16], автономную сканирующую платформу. Отметим, что в настоящее время используются модели в виде рюкзака, которые закрепляются за спиной оператора. Применительно к автодорожной сфере наибольшее распространение получила интеграция систем МЛС и автомобиля [6].

МЛС позволяет получить огромный массив информации и, благодаря высокой плотности точек, оценивать состояние всего дорожного полотна, а не только судить о его характеристиках по измерениям на конкретных точках [6], а также создавать трехмерные модели [5, 6, 8, 10, 13, 21].

Преимуществами МЛС являются: высокая скорость сбора информации, точность (оценивается в 2,5–3 см) [6], безопасность проведения полевого этапа [5], отсутствие необходимости в перекрытии дорожного движения. Собранные данные позволяют решить не только текущие задачи (проведение паспортизации, диагностики, плановых ремонтов), но и в дальнейшем могут быть использованы при геодезическом мониторинге объекта [5, 6, 11, 22, 23].

Подробнее рассмотрим применение АФС. АФС может выполняться как с пилотируемых, так и с беспилотных летательных аппаратов.

Выделим следующие отличительные черты съемки с помощью БПЛА.

1. Невысокая стоимость комплекта оборудования [1, 17, 24, 25].

2. Высота полета ниже, чем при применении пилотируемых аппаратов [17, 25].

3. Быстрое обучение оператора [15].

4. Небольшое влияние облачности на проведение съемки [25].

5. Оперативность съемочных работ [17].

6. Возможность съемки на опасных объектах без вреда для человека [17, 25].

Существует несколько разновидностей БПЛА: самолетного типа и мультикоптеры (квадрокоптеры, гексакоптеры, октокоптеры) [9]. Использование первого типа оборудования предполагает длительную съемку протяженных объектов, а с помощью мультикоптеров возможно оставаться в одной точке, что позволяет увеличить число снимков, например, для составления панорамного фотоизображения [26].

По результатам аэрофотосъемки с БПЛА также можно получить большой массив информации, обеспечить высокую точность, скорость проведения съемки [4, 17, 25].

Однако оба метода, обладая своими преимуществами, имеют и недостатки. Обратим внимание на то, что высокая древесная растительность может стать препятствием при выполнении аэрофотосъемочных работ, так как закрывает часть дорожного полотна и искажает изображение на этапе создания ортофотоплана. При этом увеличение высоты полета приводит к ухудшению пространственного разрешения.

При выполнении же МЛС происходит сканирование непосредственно дорожного полотна, поэтому наличие высокой растительности не влияет на качество выполнения съемки, однако на нем могут сказаться различные препятствия, которые создают ограничение видимости: например, наличие ограждений.

Отметим, что несмотря на стремительное развитие обоих методов, отсутствуют нормативные документы, которые бы определяли применение указанных выше методов для решения дорожных задач как в отдельности, так и при комплексном их использовании, что требует проведения сопоставительных испытаний.

Результаты исследований

Выполним сравнительный анализ результатов, полученных при выполнении МЛС и аэрофотосъемки с БПЛА участка автомобильной дороги А-121 «Сортавала» 131+200 – 153+800 км.

Сканирование объекта выполнялось с использованием оборудования Topcon IP-S2 Compact, установленного на автомобиль Renault Duster (дальность действия системы сканирования – 30 м, точность определения положения точки составляет ± 45 мм).

При аэрофотосъемке участка автомобильной дороги использовался БПЛА Геоскан 201 (тип планера – «летающее крыло», минимальная высота полета – 100 м, максимальная высота полета – 4 000 м, скорость полета – 64–130 км/ч).

Рассмотрим процессы обработки результатов измерений. Для обработки данных сканирования применялось программное обеспечение (ПО) Geoclean Workstation, Spatial Factory.

При обработке аэрофотосъемки было задействовано ПО Magnet Tools, Agisoft Photoscan. Отметим, что пространственное разрешение ортофотоплана составило 2,46 см/пкс, а результата построения карты высот – 9,83 см/пкс.

Растр по результатам МЛС был получен с помощью программного обеспечения CREDO 3D SCAN 1.4. Основные возможности программного продукта описаны в [27]. Ввиду небольшой дальности действия сканера, обочины отображались с наличием шумов. Пространственное разрешение ортофотоплана, полученного по точкам лазерных отражений – 9 см/пкс, что в 3,5 раза ниже аналогичного при аэрофотосъемке. Далее было выполнено наложение изображений в ПО QGIS Desktop 3.12.2, результат совмещения составил 10 см.

По полученным данным можно сделать вывод о корректном выполнении двух методов съемки.

Обсуждение

Важным фактором при выполнении съемочных работ становится время, затраченное на их проведение. На этапах выполнения работ для рассматриваемых методов проводилось сравнение затрат времени. Отметим, что выделялись следующие стадии: создание планово-высотного обоснования (ПВО), проведение съемочных работ, окончательная обработка полученных данных, включая работу по оцифровке ортофотоплана.

Так как съемка проводилась на одном объекте, то созданное ПВО было использовано для двух различных методов съемки, при этом на осуществление этапа было затрачено 8 ч.

При учете времени на проведение съемочных работ принималась во внимание передислокация бригад с места базирования до места проведения съемки. Так, на сканирование было затрачено 2 ч, а на аэрофотосъемку с БПЛА – 4 ч, при этом время на передислокацию бригад (2 ч) считалось одинаковым.

На этапе обработки данных МЛС были выделены следующие стадии: первичная обработка результатов съемки (2 ч), уравнивание (1 ч), создание растра (4 ч), чистка облаков точек (2 ч), в том числе ниже рельефа (1 ч).

При рассмотрении аналогичного этапа при аэрофотосъемке с БПЛА выделено следующее: выравнивание фотографий (определение положения и ориентации камеры для каждого кадра, построение разреженного облака точек) (2 ч), построение плотного облака точек (4 ч), построение карты высот (1 ч), создание ортофотоплана, включая выделение границ (5 ч), создание пирамидных слоев (4 ч).

На рис. 1 представлено распределение времени, затраченного на основные этапы. Цифрами обозначено: 1 – первый этап (создание ПВО), 2 – второй этап (съемка исследуемого объекта), 3 – третий этап (обработка полученных материалов и оцифровка).

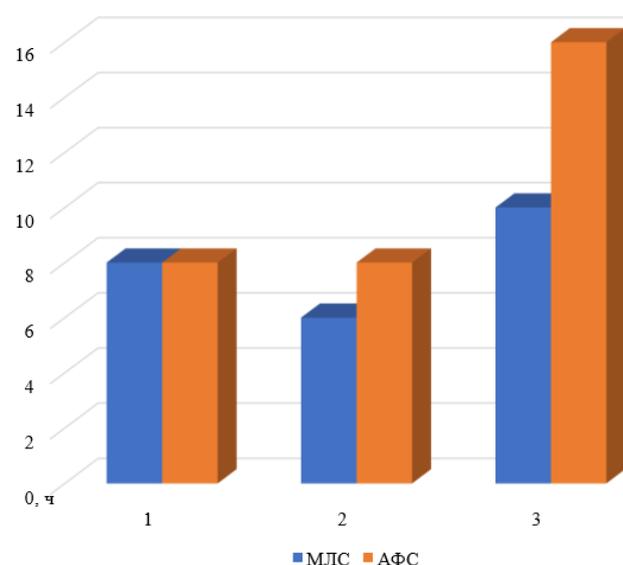


Рис. 1. Временные затраты при выполнении МЛС и АФС с БПЛА

Как показывает анализ, при аэрофото-съемке с БПЛА временные затраты оказались больше на 20 %, чем при сканировании экспериментального участка, однако при исключении стадии создания пирамидных слоев, необходимой в дальнейшем для работы в ГИС,

потребуется одинаковое время на выполнение основных операций.

В ходе исследования также выполнено сравнение методов как по стоимости комплекта оборудования, так и по стоимости съемки (рис. 2).

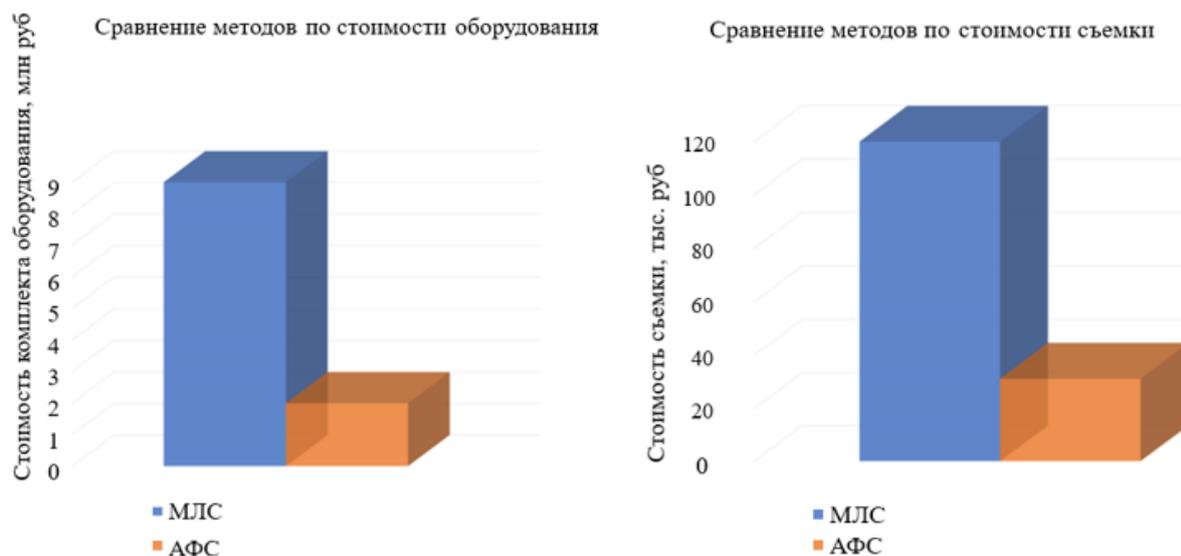


Рис. 2. Сравнение методов по стоимости съемки и комплекта оборудования

Как показывает анализ, стоимость комплекта оборудования для выполнения МЛС в 4 раза больше стоимости оборудования, необходимого для АФС с БПЛА, а стоимость проведения МЛС выше осуществления аэрофотосъемочных работ с БПЛА в 6 раз.

Также был выполнен анализ точности методов МЛС и АФС с БПЛА, для чего использовались контрольные точки. Проводились установка или окрашивание, а также координирование 40 контрольных точек. Координирование точек проводилось с использованием спутниковых приемников методом реокупации. Для облегчения дешифрирования контрольных точек на аэрофотоснимках и по облаку точек они сопровождалась абрисами, также проводилась фотофиксация. Точность определения плановых координат и высот согласно [28] соответствовала точности плана масштаба 1 : 500.

Заключение

Проведенный анализ показал, что временные затраты на проведение МЛС меньше

аналогичных при АФС с БПЛА на 20 %, но при исключении этапа создания пирамидных слоев время на выполнение основных этапов оказалось одинаковым. Анализируя стоимость комплекта оборудования и стоимость выполнения съемки, получены следующие результаты: стоимость оборудования для проведения МЛС выше в 4 раза необходимого комплекта для осуществления АФС, а стоимость съемки методом МЛС в 6 раз выше стоимости выполнения аэрофотосъемочных работ с БПЛА. При проведении МЛС выполняется сканирование непосредственно дорожного полотна, поэтому высокая древесная растительность не влияет на качество конечной продукции. Однако при АФС с БПЛА древесная растительность может закрывать часть дороги, что повлечет за собой искажения на ортофотоплане. Исключить влияние этого фактора можно путем увеличения высоты полета, что негативно скажется на пространственном разрешении. По точности оба метода соответствуют требованиям, предъявляемым к планам масштаба 1 : 500. Если рассматривать методы

в отдельности, то проведенный анализ показал, что метод АФС с БПЛА на сегодняшний день оказывается предпочтительнее. В заключение стоит отметить, что оба метода

в отдельности не решают всех задач, возникающих при съемке дорог, что требует разработки методики комплексного использования методов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтынцев М. Н., Щербаков И. В., Третьяков С. А. Применение беспилотных летательных аппаратов для исполнительной съемки железных дорог // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 2 : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 111–118.
2. Вальков В. А., Виноградов К. П. Методика автоматического моделирования дефектов покрытия автодорог по данным мобильного лазерного сканирования // Сб. материалов III Всероссийской науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 6-8 ноября 2019 г.). – 2019. – С. 209–214.
3. Кузнецов А. О. Современные системы мобильного лазерного сканирования и особенности их применения на автомобильных дорогах // Дороги и мосты. – 2020. – № 42. – С. 56–76.
4. Серeda П. О. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги по информации, полученной с использованием беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_15_Sereda_N.pdf_29e677c575.pdf (дата обращения: 11.10.2020).
5. Середович В. А., Егоров А. К. Обоснование возможности использования лазерного сканирования для решения проблем в транспортной сфере // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 144–148.
6. Сарычев Д. С. Мобильное лазерное сканирование // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2013. – № 1. – С. 36–41.
7. Уставич Г. А., Иванов А. В., Романескул Н. Б. Особенности применения цифрового оборудования при геодезической съемке линейно-протяженных объектов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 212–216.
8. Отчет по сопоставительным испытаниям систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий. Участок автомобильной дороги А-146 Краснодар-Верхнебаканский км 109 + 500 – 113 + 100 (первый этап). – М., 2019. – 106 с.
9. Опритова О. А. Разработка требований к сбору и обработке данных аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов для моделирования геопространства : дис. ... кан. техн. наук. – Новосибирск, 2018. – 125 с.
10. Алтынцев М. А., Анцифиров Е. С. Исследование точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 90–95.
11. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Особенности применения данных различных видов лазерного сканирования при мониторинге природных и промышленных комплексов // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – С. 141–144.
12. Gong J., Zhou H., Gordon C., Jalayer M. Mobile Terrestrial Laser Scanning for Highway Inventory Data Collection // Computing in Civil Engineering. – 2012. – P. 545–552.
13. Yang B., Liu Y., Liang F., Dong Z. Using mobile laser scanning data for features extraction of high accuracy driving maps // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – Vol. XLI-B3. – 2016. – P. 433–439.
14. Зинченко О. Н. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.racurs.ru/?page=681> (дата обращения: 11.10.2020).
15. Косоногов П. В., Филатова А. В. Применение беспилотных летательных аппаратов для решения картографических задач в г. Самара // Вестник научных конференций. – 2017. – № 10-4 (26). – С. 47–49.

16. Мобильная сканирующая система Leica Sitrack: One [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ngc.com.ua/p/739-http_leica-geosystems_com-sitrackone.html (дата обращения: 10.09.2020).
17. Суконников О. Г., Гулин В. Н., Чиркина Н. И. Аэрофотосъемка с БПЛА для моделирования искусственных сооружений на автомобильных дорогах // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2019. – № 1 (12). – С. 40–44.
18. Pavelka K., Reznicek J., Faltynova M., Pikhartova L. Combining of aerial laser scanning data, terrestrial mobile scanned data and digital orthophoto [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.academia.edu/2536005/Combining_of_aerial_laser_scanning_data_terrestrial_mobile_scanned_data_and_digital_orthophoto (дата обращения: 30.10.2020).
19. Середович В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование : монография. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
20. Зацепина В. И., Бортников С. О. Использование различных методов сканирования при проектировании электроэнергетических объектов // Современные исследования. – 2018. – № 12 (16). – С. 197–201.
21. Медведев В. И., Сарычев Д. С., Скворцов А. В. Предварительная обработка данных мобильного лазерного сканирования в системе IndorCloud // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2(3). – С. 67–74.
22. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Выбор методики уравнивания данных мобильного лазерного сканирования в зависимости от качества полученных данных и снимаемой территории // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 142–149.
23. Середович В. А., Алтынцев М. А., Егоров А. К. Определение индекса ровности дорожного покрытия по данным мобильного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 33–44.
24. Маньлов И. В. Оценка эффективности аэрофотосъемочного оборудования в реализации задач мониторинга сельскохозяйственных земель // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 2. – С. 13–17.
25. Суконников О. Г., Неретин А. А., Гурьев В. А. Анализ применимости БПЛА при геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2017. – № 2 (9). – С. 44–48.
26. Информационный сайт компании Совзонд [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sovzond.ru/services/aerophotography/aerofoto_bpла/ (дата обращения: 20.10.2020).
27. Кукаренко И. С., Грохольский Д. В. CREDO 3D СКАН – новое решение для обработки данных лазерного сканирования // Геопрофи. – 2016. – Вып. 1. – С. 41–43.
28. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85 (с Изменением № 1). – М. : Стандартинформ, 2013. – 73 с.

Получено 26.01.2021

© М. Я. Брын, Д. Р. Баширова, 2021

COMPARATIVE EVALUATION EFFICIENCY OF MOBILE LASER SCANNING AND AERIAL SURVEYING FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR ROAD SURVEY

Mikhail Y. Bryn

Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, 9, Moskovsky Prospect St., St. Petersburg, 190031, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy, phone: (812)457-85-38, e-mail: bryn@pgups.ru

Dinara R. Bashirova

Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, 9, Moskovsky Prospect St., St. Petersburg, 190031, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy, phone: (812)457-85-38, e-mail: bashirovadinara97@gmail.com

The application of mobile laser scanning and aerial photography from unmanned aerial vehicles for shooting highways is considered. The aim of the research was to compare the results of shooting using mobile laser scanning systems and aerial photography from an unmanned aerial vehicle to determine the preferred option for shooting a highway. The experimental part of the research was carried out using the following equipment: scanning was performed using the Topcon IP - S2 Compact system, aerial photography was carried out from the GEOSCAN 201 unmanned aerial vehicle. Based on the comparative tests performed on the section of the A - 121 "Sortavala" highway, a comparative analysis of the data obtained for various indicators was carried out: the speed of the shooting stages, the cost of a set of equipment, the cost of shooting, and the accuracy of the results was evaluated. Practical recommendations for the application of these methods are given, their advantages and disadvantages are indicated.

Keywords: aerial photography, UAV, orthophotoplan, topographic plan, mobile laser scanning, mobile laser scanner, experimental section of the highway

REFERENCES

1. Altyntsev, M. N., Shcherbakov, I. V., & Tretyakov, S. A. (2019). Application of unmanned aerial vehicles for Executive survey of Railways. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir-2019: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1, no. 1. Nedropolzovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. Ekonomika. Geoekologiya* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: International Scientific Conference: Vol. 1, No. 1. Subsoil Use. Mining. Directions and Technologies of Prospecting, Exploration and Development of Mineral Deposits. Economy. Geoecology] (pp. 111–118). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
2. Valkov, V. A., & Vinogradov, K. P. (2019). Method of automatic modeling of road surface defects based on mobile laser scanning data. In *Sbornik materialov III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proceedings of Materials of the III all-Russian Scientific and Practical Conference] (pp. 209–214). Saint Petersburg [in Russian].
3. Kuznetsov, A. O. (2020). Modern systems of mobile laser scanning and their application on highways. *Dorogi i mosty* [Roads and Bridges], 42, 56–76 [in Russian].
4. Sereda, P. O. (2018). Assessment of the transport and operational condition of the highway based on information obtained using an unmanned aerial vehicle. (n. d.). Retrieved from http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_15_Sereda_N.pdf_29e677c575.pdf [in Russian].
5. Seredovich, V. A., & Egorov, A. K. (2015). A feasibility study of the use of laser scanning to solve problems in the transport sector. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying] (pp. 144–148). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
6. Sarychev, D. S. (2013). Mobile laser scanning. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog* [CAD & GIS for Roads], 1, 36–41 [in Russian].
7. Ustavich, G. A., Ivanov, A. V., & Romaneskul, N. B. (2019). Features of using digital equipment for geodetic survey of linear-extended objects. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir-2019: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1, no. 1. Nedropolzovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. Ekonomika. Geoekologiya* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: International Scientific Conference: Vol. 1, No. 1. Subsoil Use. Mining. Directions and Technologies of Prospecting, Exploration and Development of Mineral Deposits. Economy. Geoecology] (pp. 212–216). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
8. Report on comparative tests of mobile laser scanning systems and mobile road laboratories (2019). Section of highway a-146 Krasno-Dar-Verkhnebakansky km 109 + 500 – 113 + 100 (first stage). Moscow, 106 p. [in Russian].
9. Opritova, O. A. (2018). Development of requirements for the collection and processing of aerial photography data from unmanned aerial vehicles for geospatial modeling. *Candidate's thesis*. Novosibirsk, 125 p. [in Russian].
10. Altyntsev, M. A., & Antsifirov, E. S. (2013). Investigation of the accuracy of equalization of mobile laser scanning data. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya* [Proceedings of Interexpo GEO-

Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 3. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Surveying] (pp. 90–95). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

11. Seredovich, V. A., Altyntsev, M. A., & Popov, R. A. (2013). Features of using data of various types of laser scanning in monitoring natural and industrial complexes. *Kompyuternye tekhnologii [Computing Technologies]*, 18, 141–144 [in Russian].

12. Gong, J., Zhou, H., Gordon, C., & Jalayer, M. (2012). Mobile Terrestrial Laser Scanning for Highway Inventory Data Collection. *Computing in Civil Engineering*, 545–552.

13. Yang, B., Liu, Y., Liang, F., & Dong, Z. (2016). Using mobile laser scanning data for features extraction of high accuracy driving maps. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B3*, 433–439.

14. Zinchenko, O. N. (2020). Unmanned aerial vehicle: application for aerial photography for mapping. (n. d.). Retrieved from <http://www.racurs.ru/?page=681> [in Russian].

15. Kosonogov, P. V., & Filatova, A. V. (2017). Application of unmanned aerial vehicles for solving cartographic problems in Samara. *Vestnik nauchnykh konferentsiy [Bulletin of Scientific Conferences]*, 10–4(26), 47–49 [in Russian].

16. Mobile scanning system Leica Sitrack: One. (2020). Retrieved from https://ngc.com.ua/p/739-http_leica-geosystems_com-sitrackone.html [in Russian].

17. Sukonnikov, O. G., Gulin, V. N., & Chirkina, N. I. (2019). Aerial photography from a UAV for the simulation of artificial structures on the roads. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog [CAD & GIS for Roads]*, 1(12), 40–44 [in Russian].

18. Pavelka, K., Reznicek, J., Faltynova, M., & Pikhartova, L. (2009). Combining of aerial laser scanning data, terrestrial mobile scanned data and digital orthophoto. Retrieved from https://www.academia.edu/2536005/Combining_of_aerial_laser_scanning_data_terrestrial_mobile_scanned_data_and_digital_orthophoto.

19. Seredovich, V. A., Komissarov, A. V., Komissarov, D. V., & Shirokova, T. A. (2009). *Nazemnoe lazernoe skanirovanie [Ground-based laser scanning]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 261 p. [in Russian].

20. Zatsepina, V. I., & Bortnikov, S. O. (2018). Use of various scanning methods in the design of electric power facilities. *Sovremennye issledovaniya [Modern Research]*, 12(16), 197–201 [in Russian].

21. Medvedev, V. I., Sarychev, D. S., & Skvortsov, A. V. (2014). Preprocessing of mobile laser scanning data in the IndorCloud system. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog [CAD & GIS for Roads]*, 2(3), 67–74 [in Russian].

22. Seredovich, V. A., Altyntsev, M. A., & Popov, R. A. (2014). Selection of a method for equalizing mobile laser scanning data depending on the quality of the data obtained and the territory being photographed. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Surveying]* (pp. 142–149). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

23. Seredovich, V. A., Altyntsev, M. A., & Egorov, A. K. (2017). Determination of the evenness index of the road surface based on mobile laser scanning data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(3), 33–44 [in Russian].

24. Manylov, I. V. (2012). Evaluation of the effectiveness of aerial photography equipment in the implementation of tasks for monitoring agricultural land. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy [Information and Control Systems]*, 2, 13–17 [in Russian].

25. Sukonnikov, O. G., Neretin, A. A., & Guryev, V. A. (2017). Analysis of the applicability of UAVs for geodetic control of roads under construction and operated. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog [CAD & GIS for Roads]*, 2(9), 44–48 [in Russian].

26. Information site of Sovzond company. (2020). Retrieved from https://sovzond.ru/services/aerophotography/aerofoto_bpla/ [in Russian].

27. Kukarenko, I. S., & Groholsky, D. V. (2016). CREDO 3D SCAN – a new solution for processing laser scanning data. *Geoprofi*, 1, 41–43 [in Russian].

28. Code of Practice. (2013). SP 78.13330.2012. Highways. Updated version of SNiP 3.06.03-85 (with Change N 1). Moscow: Standartinform Publ., 73 p. [in Russian].

Received 26.01.2021

© M. Y. Bryn, D. R. Bashirova, 2021