

ПРИМЕНЕНИЕ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УКЛАДКИ АСФАЛЬТОВОГО ПОКРЫТИЯ

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

Марина Анатольевна Алтынцева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, инженер кафедры картографии и геоинформационных систем, тел. (383)361-06-35, e-mail: als.mm@yandex.ru

Для того чтобы оценить качество дорожных работ применяются разнообразные технические средства. Наиболее современной технологией оценки состояния дорожного покрытия является лазерное сканирование. Эта технология позволяет оперативно выявить все дефекты дорожного полотна, определить его ровность. В зависимости от площади дорожного покрытия и от требуемой точности оценки качества ремонта дорог выбирают один из двух видов лазерного сканирования: мобильное или наземное. Плотность данных наземного лазерного сканирования в среднем выше, чем мобильного, а значит, способна предоставить информацию о состоянии дорожного покрытия с наибольшей степенью детализации. Точность его данных также в несколько раз выше и достигает первых значений миллиметров. Преимуществом мобильного лазерного сканирования является большая оперативность.

Вне зависимости от применяемого вида лазерного сканирования, для получения высокоточных данных о дорожном покрытии необходимо придерживаться существующих правил съемки и методик предварительной обработки данных. В статье рассматривается методики съемки и обработки данных с помощью технологии наземного лазерного сканирования для оценки качества укладки асфальтового покрытия. В результате выполненных работ определена ровность асфальтового покрытия, выполнена оценка точности полученных результатов.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, цифровая модель поверхности, предварительная обработка, асфальтовое покрытие

APPLICATION OF TERRESTRIAL LASER SCANNING FOR ASSESSMENT OF ASPHALT PAVEMENT LAYING QUALITY

Maxim A. Altyntsev

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

Marina A. Altyntseva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo, Novosibirsk, 630108, Russia, Engineer, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383)361-06-35, e-mail: als.mm@yandex.ru

Various technical equipment are used for surveying the condition of the road surface. One of the most modern methods for assessing the state of roads is mobile laser scanning (MLS), which

allows obtaining a point model of road surface with high density accuracy and in a short period of time. After generating a digital surface model (DSM) from an array of laser points, we can identify various defects of the roadway and evaluate its flatness. A prerequisite for obtaining reliable survey results is increased accuracy of the pre-processed point cloud. During pre-processing 2D scanners and digital cameras are calibrated, point clouds are adjusted and filtered. The necessity for increased accuracy of pre-processing results for the purpose of generating the DSM imposes certain requirements on data processing techniques. For this purpose, additional study of the MLS data accuracy should often be carried out. The results of preliminary processed MLS data in order to generate high-accuracy DSM of road pavement are discussed.

Keywords: terrestrial laser scanning, digital surface model, preliminary processing, asphalt pavement

Введение

Лазерное сканирование в настоящее время является наиболее точным методом сплошного контроля качества строительства, ремонта и эксплуатации различных объектов. В дорожной отрасли лазерное сканирование применяют для определения поперечных и продольных уклонов автомобильных дорог, их ширины, определения ровности дорожного покрытия, выявления его дефектов. Обследование состояния покрытия дорог с помощью этого метода позволяет вычислить все нарушения, возникшие в ходе строительства или ремонта [1–3].

Лазерное сканирование делится на 3 вида: наземное, воздушное и мобильное. Каждый из этих видов применяется в дорожной отрасли для решения определенной задачи. Выбор метода лазерного сканирования в каждой конкретной ситуации будет зависеть от площади объекта съемки, требуемой плотности и точности данных. Результатом лазерного сканирования является единый массив точек лазерных отражений (ТЛО) [4].

Мобильное лазерное сканирование (МЛС) наиболее часто применяется в качестве специальных дорожных лабораторий. Системы МЛС включают 2D лазерные сканеры, фотокамеры, спутниковые приемники, блок управления, инерциальную навигационную систему, датчики положения платформы, бортовой компьютер. Эти системы устанавливаются на транспортные средства МЛС позволяет за один день выполнить съемку нескольких сотен километров автомобильных дорог [5–11].

Среди всех задач, решаемых по данным лазерного сканирования, наиболее плотных и точных данных требует задача выявления дефектов. С точки зрения требований плотности и точности более оптимальным будет метод НЛС. Но он существенно проигрывает МЛС по скорости сбора данных [4]. НЛС позволяет выполнять несколько тысяч измерений на квадратный метр с частотой сканирования до нескольких сотен тысяч герц [12].

Отсюда можно сделать вывод, что для оценки качества ремонта автомобильных дорог небольшой протяженностью следует применять метод НЛС.

Определение дефектов дорожного покрытия и других характеристик выполняется по массиву ТЛО, предварительно обработанному с помощью специализи-

рованных алгоритмов. Чтобы точность массива ТЛО была приемлема для решения задачи контроля качества ремонта дорожного полотна, необходимо придерживаться методик съемки и камеральной обработки данных [13, 14].

Выполнить выявление дефектов и определить ровность можно на основе построенных по массивам ТЛО цифровым моделям поверхности (ЦМП). Для достижения высокой точности данные НЛС должны быть уравнены с высокой точностью, отфильтрованы от ложных точек, получаемых в результате различных переотражений и прорежены [2, 15–17].

Наземное лазерное сканирование территории СГУГиТ

Осенью 2020 года на территории студенческого городка СГУГиТ были выполнены работы по укладке нового асфальтового покрытия. Для оценки качества выполненных работ было принято решение применить метод НЛС. Главной целью сканирования стала оценка ровности асфальтового покрытия и измерение уклонов. Предполагалось, что построенная по результатам НЛС поверхность может показать все участки скопления воды.

Лазерное сканирование было выполнено за один день с помощью сканера Leica ScanStation 2. Данная модель позволяет измерять пространственные координаты точек местности с точностью 6 мм. На рис. 1 приведен космический снимок исследуемой территории, где показана схема размещения сканерных станций и марок.

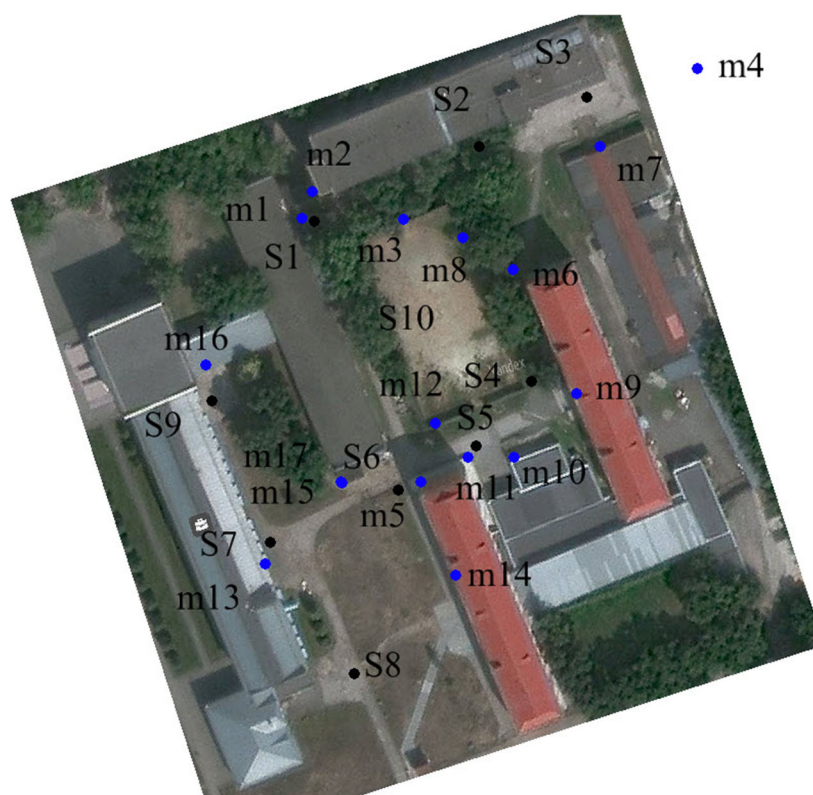


Рис. 1. Схема создания ПВО территории СГУГиТ:

S1–S10 – станции сканирования; m1–m17 – марки

Съемка была выполнена с 10 станций. На каждой станции выполнялся панорамный скан с линейным разрешением 10 см по горизонтали и 3 см по вертикали на удалении 50 м от точки сканирования. Угол сканирования по вертикали задавался от минимально возможного значения – минус 45°. Вокруг каждой станции на стенах зданий размещались черно-белые марки таким образом, чтобы покрыть наибольшую область сканирования. Для возможности привязки результатов сканирования к существующей внешней системе координат над тремя предварительно закрепленными на местности точками центрировались марки Leica HDS.

После каждого цикла панорамного сканирования выполнялось детальное сканирование марок, которое позволяет выполнить сшивку сканов с точностью 2 мм. На рис. 2 показан пример результата панорамного сканирования марок.

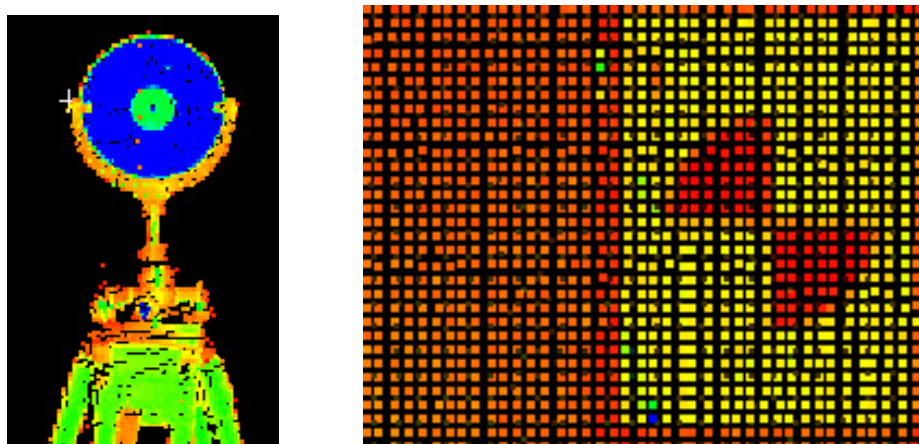


Рис. 2. Результат детального сканирования марок:
а) марка Leica HDS; б) черно-белая марка

Камеральная обработка результатов наземного лазерного сканирования

Камеральная обработка результатов НЛС выполнялась с целью построения ЦМП асфальтового покрытия. Методику всей обработки можно представить в следующем виде:

- сшивка сканов;
- фильтрации данных;
- классификация точек;
- векторизация границ;
- выделение точек асфальтового покрытия;
- прореживание точек асфальтового покрытия (удаление соседних точек без изменения значения отметки с точностью до 1 см);
- построение ЦМП асфальтового покрытия.

Сшивка сканов была выполнена автоматически по маркам. В результате сшивки выполнялось только взаимное ориентирование сканов. Внешнее ориен-

тирование не выполнялось. Итоговая точечная модель была получена в системе координат первого скана. В таблице представлена оценка точности результатов взаимного ориентирования сканов. Значения максимальных ошибок свидетельствуют о приемлемости массива ТЛО для оценки качества укладки асфальтового покрытия.

Оценка точности результатов взаимного ориентирования сканов

	По маркам		
	X, м	Y, м	Z, м
Средняя ошибка	0,001	0,001	0,001
Средняя квадратическая ошибка	0,001	0,002	0,001
Максимальная ошибка	0,003	0,004	0,002

На рис. 3 показан результат взаимного ориентирования сканов.

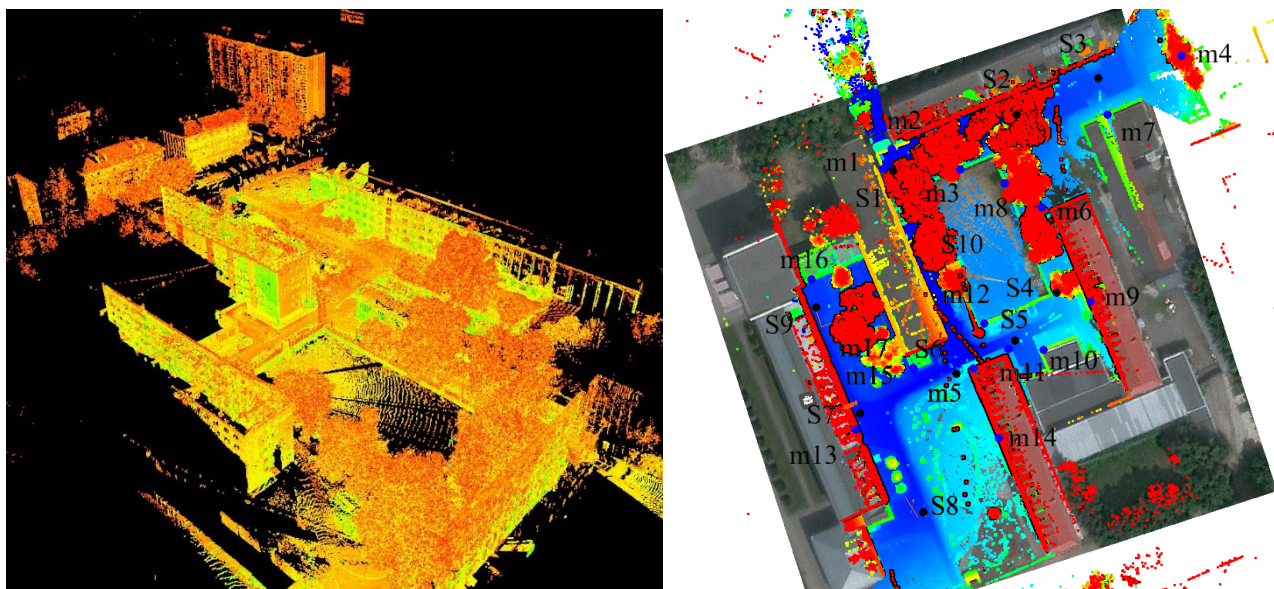


Рис. 3. Результаты построения единой точечной модели:
а) перспективный вид; *б)* вид сверху с отображением по высоте

Единый массив ТЛО был отфильтрован. Фильтрация заключалась в удалении ложных точек, появляющихся в результате переотражений от зеркальных поверхностей. На рис. 4 показан пример поперечного сечения массива ТЛО с отображением ложных точек.

Далее выполнялась автоматическая классификация массива на точки истинной земли и все остальные. На рис. 5, а показан результат автоматической классификации. По массиву ТЛО была выполнена векторизация границ асфальтового покрытия в плановом положении, которые были автоматически

опущены на уровень истинной земли. Затем точки истинной земли, располагаемые в пределах границ асфальта, были выделены в отдельный класс. На рис. 5, б показан результат векторизации границ и классификации точек асфальтового покрытия.

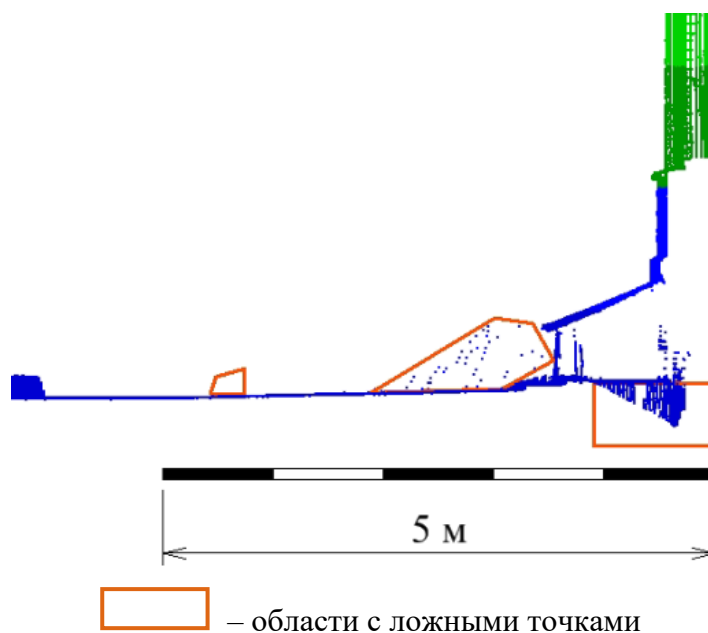


Рис. 4. Поперечное сечение массива ТЛЮ

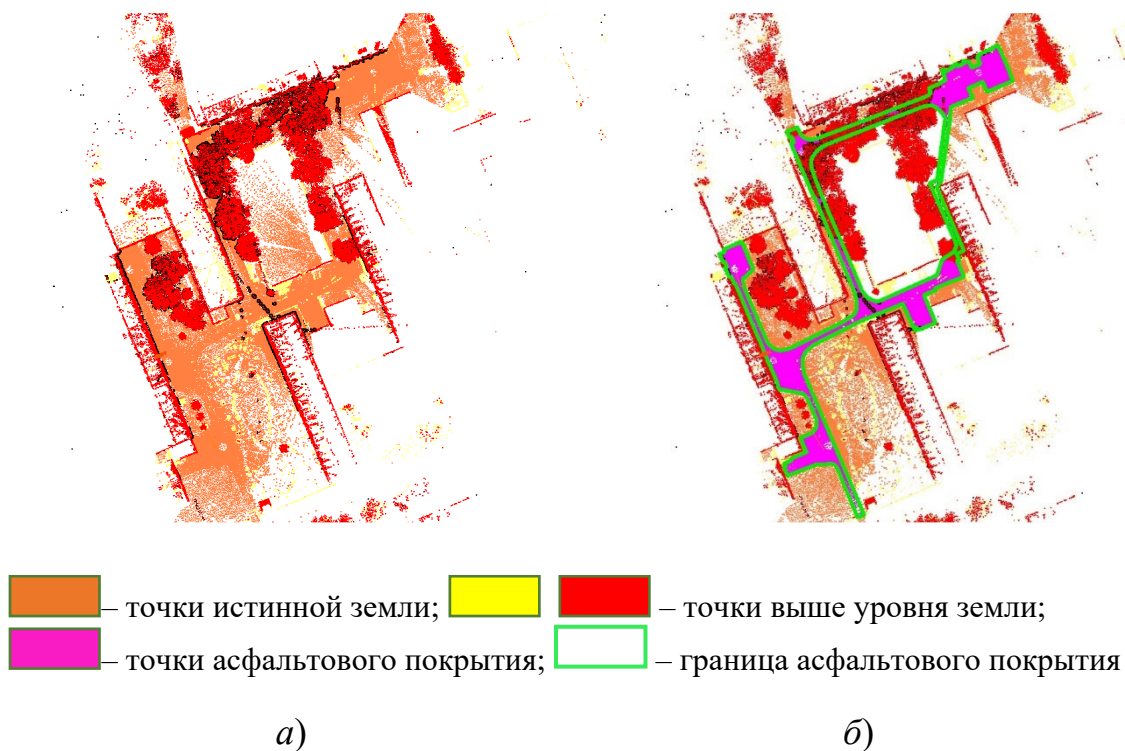


Рис. 5. Результаты классификации и векторизации границ:
а) результат классификации; *б)* после векторизации

Плотность расположения точек асфальтового покрытия получилась достаточно высокой. При увеличении расстояния от центров сканов плотность точек уменьшается. Зачастую она является избыточной для построения ЦМП. Учитывая дополнительно тот факт, что отметки многих соседних точек в таком плотном массиве практически одинаковы, многие из точек можно удалить, выполнив прореживание и сглаживание. Положение точек асфальтового покрытия в итоге было сглажено по высоте до значения 1 см.

Прореженные точки асфальтового покрытия и его границы использовались для построения ЦМП. На рис. 6 приведен фрагмент построенной ЦМП, где изменения отметок поверхности показаны в виде градиентной заливки и горизонталей с шагом в 1 см. На данном фрагменте были найдено 3 участка, где может скапливаться вода. Белым цветом приведены отметки впадин.

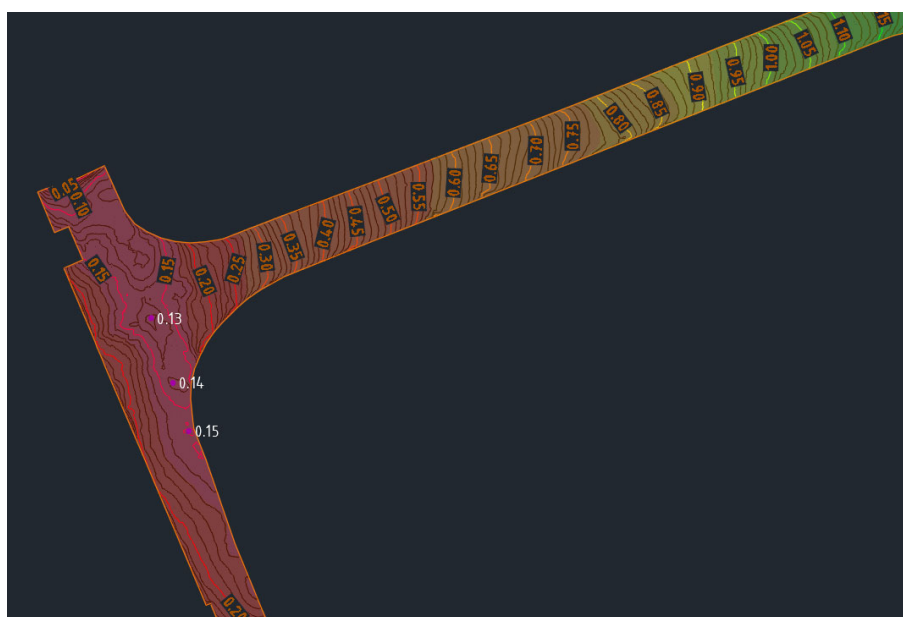


Рис. 6. Результаты построения ЦМП

На рис. 7 показан результат построения ЦМП на всю территорию. Всего было выявлено 14 участков скопления воды с общей площадью 78,1 м². Их поиск выполнялся с помощью построенных горизонталей и функции анализа водосборов и стока воды программного комплекса AutoCAD Civil 3D.

Заключение

НЛС позволило выполнить оценить качество укладки нового асфальтового покрытия на территории студенческого городка СГУГиТ. Благодаря соблюдению методики полевого этапа лазерного сканирования и ряда этапов камеральной обработки его результатов была построена ЦМП асфальтового покрытия с точностью 1 см. Это позволило определить все зоны скопления воды и рассчитать их площадь.

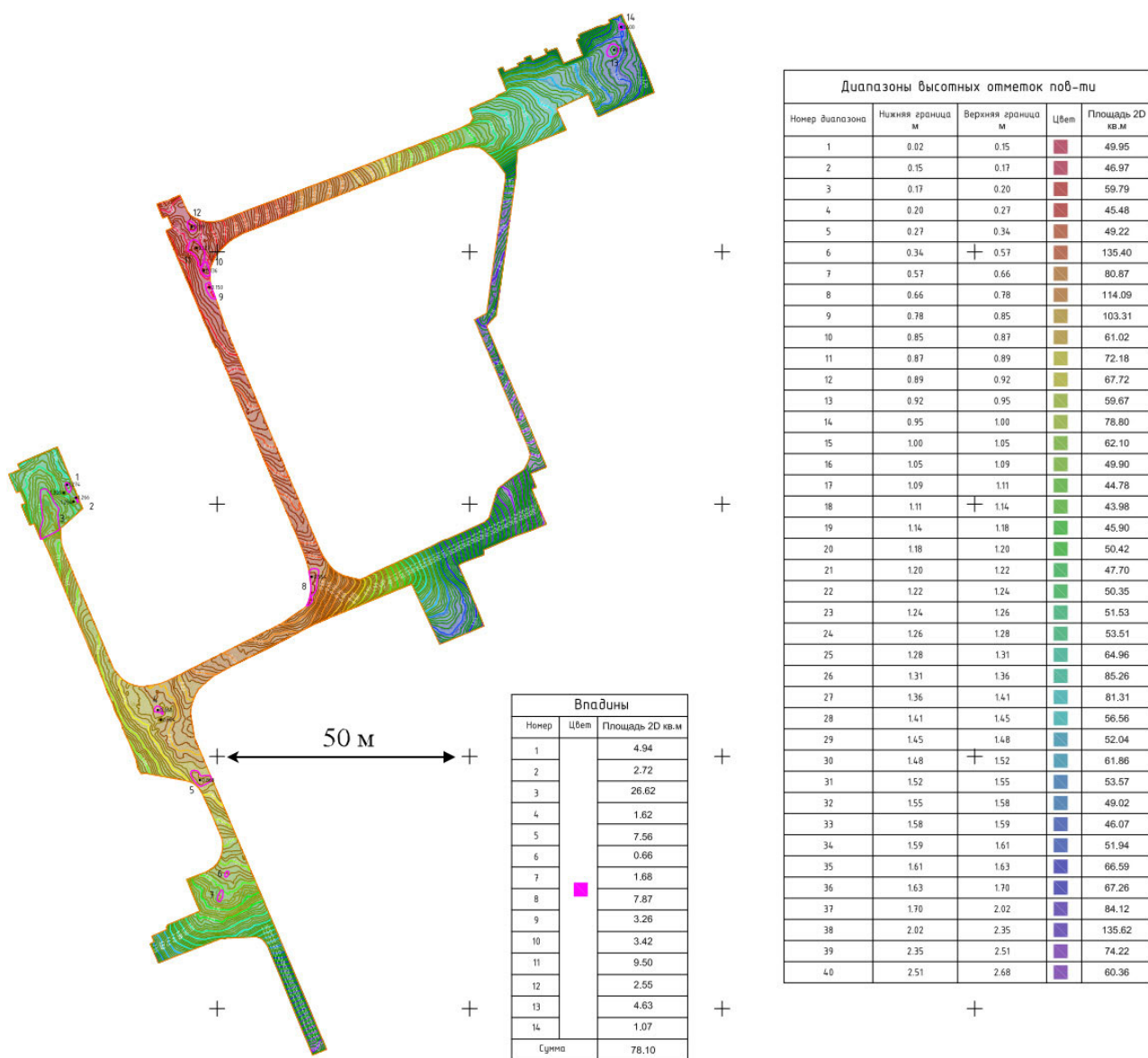


Рис. 7

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 32825–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений. Межгосударственный стандарт. – Введ. 2015-07-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 14 с.
- Altynsev M. A. Automated Recognition of Roadbed Deformations (defects) Using Laser Scanning Data // International Workspop "Integration of Point- and Area-wise Geodetic Monitoring for Structures and Natural Objects". – April, 2014. – Novosibirsk: SSGA. – P. 147–151.

3. Seredovich V. A. Altyntsev M. A. The Feasibility Study of Automatic Extraction of Cracks in the Roadbed from Mobile Laser Scanning Data // XXV FIG Congress. – June, 2014. – Malaysia, Kuala Lumpur.
4. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Особенности применения данных различных видов лазерного сканирования при мониторинге природных и промышленных объектов // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18.1 – С. 141–144.
5. Целых Д. С., Привалов О. О. Устройства для анализа и оценки состояния дорожного покрытия // Технические науки: теория и практика : материалы I Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2012 г.). – Чита : Издательство Молодой ученый. – 2012. – С. 74–78.
6. 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., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 87–95.
7. Алтынцев М. А., Макаров А. М. Проблемы автоматизированного определения характерных линий автомобильных дорог по данным лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 96–104.
8. Середович В. А., Алтынцев М. А. Применение данных мобильного лазерного сканирования для создания топографических планов // ГЕО-Сибирь-2013: сб. материалов VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2013», 15 – 26 апр. 2013 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 3. – С. 96–100.
9. Деговцев А. А. Технология мобильного лазерного сканирования для выполнения проектно-изыскательских работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. Т. 3. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 140–144.
10. Середович В. А., Попов Р. А., Алтынцев М. А. Выявление изменений в инфраструктуре города по данным мобильного лазерного сканирования // Сб. материалов VIII международного науч. конгр. «ГЕО-Сибирь 2014» междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» в 2 т. – Новосибирск: СГГА, 2014. – С. 156–160.
11. Алтынцев М. А. Автоматизированное определение характерных линий автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр., 18–22 апреля 2016 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2016. – С. 109–117.
12. Алтынцев М. А., Карпик П.А. Особенности построения трехмерных метрических моделей по данным лазерного сканирования // Итерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск [Текст] : сб. материалов в 8 т. Т. 4 : Национальная науч. конф. с междунар. участием «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 1. – С. 113–122
13. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 121–139.
14. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Создание метрической имитационной модели «цифрового двойника» активным методом дистанционного зондирования земли// Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С.58–67.

15. Середович В. А., Алтынцев М. А., Егоров А. К. Определение индекса ровности дорожного покрытия по данным мобильного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2017. – №3 (22). – С. 33–44.

16. Алтынцев М. А., Каркокли Хамид Маджид Сабер. Особенности предварительной обработки данных мобильного лазерного сканирования // 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. 239–248.

17. Шануров Г. А., Половнев О. В., Манилова А. Д. Способ обработки результатов топографической съемки, выполненной с использованием мобильного сканирующего комплекса // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2016. – №3. – С. 42–47.

© М. А. Алтынцев, М. А. Алтынцева, 2021