

## СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ПЕРЕДВИЖНЫХ ДОРОЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

Д-р экон. наук **В.П. Миронюк**,  
канд. техн. наук **Р.А. Еремин**,  
инженер **А.О. Кузнецов**  
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Конт. информация: [mironyuk@rosdornii.ru](mailto:mironyuk@rosdornii.ru);  
[r.eremin@rosdornii.ru](mailto:r.eremin@rosdornii.ru);  
[kuznetsov@rosdornii.ru](mailto:kuznetsov@rosdornii.ru)

---

*В статье представлены результаты проведения сопоставительных испытаний систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий. Основными задачами данных испытаний являлись оценка точности определения пространственного положения объектов как по облаку точек лазерного сканирования, так и фото- и видеоизображениям, записанным соответственно системами мобильного лазерного сканирования и передвижными дорожными лабораториями, а также оценка точности определения параметров геометрических элементов автомобильной дороги и продольной ровности дорожного покрытия.*

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, мобильное лазерное сканирование, диагностика, дорожная лаборатория, пространственные данные, цифровая модель.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Планом мероприятий по реализации федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» [1] предусмотрено создание цифровой модели автомобильных дорог (участков дорог) общего пользования федерального, регионального или межмуниципального значения содержащей, в том числе информацию о диагностике и оценке состояния автомобильных дорог (участков автомобильных дорог). Решение поставленной задачи требует применения комплексного подхода, предусматривающего совмещение данных, полученных различными способами.

Так, используя лазерное сканирование, результатом которого является облако точек, можно получать пространственные данные, кото-

рые являются основой для паспортизации, построения цифровой модели местности и формирования топографических планов. Кроме того, облака точек могут быть использованы в качестве исходных данных для проектно-изыскательских работ, для оценки динамики изменения состояния, определения объемов работ на предпроектной стадии и приемки строительных работ.

Для диагностики дорог широко применяются передвижные дорожные лаборатории, позволяющие выполнять оценку транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги и собирать пространственные данные.

В настоящее время, в соответствии с требованиями [2–5], оценку состояния дорожных одежд и дорожных покрытий, оценку состояния земляного полотна и водоотвода, измерение продольной ровности автомобильных дорог, измерение сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием, видеосъемку автомобильных дорог осуществляют с привязкой к эксплуатационному километражу. Вместе с тем, в соответствии с [4], информация и сведения, собираемые при выполнении диагностики автомобильных дорог при необходимости могут быть дополнены географическими координатами. При этом точность определения таких координат должна составлять не более 1 м, что соответствует требованиям точности, предъявляемым к топографическим планам масштаба 1:2000.

Таким образом, при выполнении диагностики автомобильных дорог координатная привязка объектов возможна, но она не является обязательной. Указанное обстоятельство затрудняет интеграцию дорожных данных в геоинформационные системы, а также их использование при проектировании.

В рамках разработки концепции создания цифровой модели автомобильных дорог (участков автомобильных дорог) общего пользования федерального, регионального или межмуниципального значения, порядка, предусматривающего применение современных методов диагностики и механизмы выгрузки результатов такой диагностики в СКДФ для оценки возможностей и рациональной области применения систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий, были проведены сопоставительные испытания, на которые были приглашены представители производителей систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий.

На первом этапе сопоставительных испытаний основными задачами стали оценка точности определения пространственного положения (плановое и высотное положение) объектов (элементы обустройства, дефекты и др.) как по облаку точек лазерного сканирования, так и фото- и видеоизображениям, записанным соответственно системами мобильного лазерного сканирования (МЛС) и передвижными дорожными

лабораториями, а также оценка точности определения параметров геометрических элементов автомобильной дороги (длина участка, ширина дорожного покрытия, площадь дорожного покрытия).

При проведении сопоставительных испытаний систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий были изучены результаты и учтена методика проведения работ сопоставительных испытаний лабораторий мобильного лазерного сканирования, выполненных в конце 2012 г. Государственной компанией «Автодор» на автомобильной дороге М-4 «Дон» [6], и сопоставительных испытаний оборудования, предназначенного для оценки основных транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог, выполненных 3-5 сентября 2014 г. по заказу Федерального дорожного агентства на территории полигона НАМИ в Московской области [7].

### Описание участка и методика проведения первого этапа

Сопоставительные испытания были проведены на участке автомобильной дороги А-146 *Краснодар – Верхнебаканский* км 109+500 – км 113+100, расположенном в Крымском районе Краснодарского края при содействии Федерального казенного учреждения «Управление федеральных автомобильных дорог «Черноморье» Федерального дорожного агентства».

Участок автомобильной дороги, проходит как по застроенной, так и незастроенной территории, с путепроводом через железную дорогу и транспортной развязкой. Данная автомобильная дорога имеет от двух до четырех полос движения с разделительной полосой.

Совместно с Северо-Кавказским филиалом ФАУ «РОСДОРНИИ» были выполнены работы по подготовке контрольного участка. В целях обеспечения безопасности работ сотрудниками

ООО «ДОРСНАБ», выполняющего работы по содержанию участка, было организовано размещение временных дорожных знаков и использование автомобилей прикрытия.

На проезжей части автомобильной дороги парами через 200 м были закреплены дюбель-гвоздями контрольные точки, с нанесением маркировки для однозначной идентификации (рис. 1).



*Рис. 1. Внешний вид контрольной точки на проезжей части*

Для обеспечения единства измерений на участке в соответствии с [8] было выполнено устройство опорной геодезической сети, включающей шесть пунктов временного закрепления. После чего было выполнено определение координат пунктов временного закрепления с использованием спутниковой геодезической аппаратуры в режиме быстрой статики с привязкой к сети постоянно действующих референчных станций. Точность определения координат исходных пунктов составила 15-30 мм, что соответствует требуемой точности для выполнения съемок масштаба 1:500 [8]. На объекте были приняты система координат WGS84 (37 северная зона проекции UTM), а также модель геоида EGM 2008.

Далее было выполнено проложение тахеометрического хода с одновременной съемкой контрольных точек на проезжей части и за пределами дорожного полотна, а также измерение недоступных объектов. Для определения высот пунктов временного закрепления и контрольных точек на проезжей части использовалось техническое нивелирование.

Координаты и высоты пунктов временного закрепления, а также параметры принятой системы координат были переданы участникам сопоставительных испытаний для использования в качестве исходных данных.

Для определения площади покрытия, ширины проезжей части и протяженности контрольного участка была выполнена топографическая съемка с применением спутниковой геодезической аппаратуры в режиме кинематики в реальном времени. Съемка покрытия осуществлялась по кромкам проезжей части, а при наличии съездов и переходно-скоростных полос по технологическому продольному стыку.

На первом этапе сопоставительных испытаний приняли участие шесть компаний, представивших системы мобильного лазерного сканирования и передвижные дорожные лаборатории.

В соответствии с программой проведения сопоставительных испытаний участниками было выполнено по три проезда в прямом и обратном направлениях с выключением оборудования и отдельной инициализацией для каждого из проездов.

Для сопоставительного анализа участниками были представлены необработанные (сырые) данные, уравненные данные (обработанные результаты мобильного лазерного сканирования и диагностики) и заполненные формы результатов измерений. Участники также представили дополнительные материалы, которые были получены по результатам выполнения проездов.

### **Передвижная дорожная лаборатория ДВК-05 (ООО «НПО РЕГИОН»)**

Передвижная дорожная лаборатория ДВК-05 на базе автомобиля Volkswagen (**рис. 2**) является модульной и в зависимости от решаемых задач может комплектоваться различными измерительными устройствами (лазерными сканерами, георадаром, профилометром и т.д.). Особенностью лаборатории является то, что все данные, собранные измерительными системами и устройствами, синхронизированы с единым инерциально-навигационным модулем, что обеспечивает высокую степень совмещения и привязки данных.



***Рис. 2. Передвижная дорожная лаборатория ДВК-05***

### Система мобильного лазерного сканирования Alpha 3D (CHC Navigation)

Система Alpha 3D (рис. 3) – высокопроизводительное решение для мобильного картографирования, на сопоставительных испытаниях впервые представленное в России. Измерительный модуль системы состоит из следующих основных компонентов: лазерный сканер Riegl VUX-1HA; инерциальная навигационная система Honeywell HG4930; панорамная камера Point Grey Ladybug 5+. Специальная монтажная площадка обеспечивает возможность установки системы перпендикулярно направлению движения или под углами  $\pm 15^\circ$ ,  $\pm 30^\circ$  и  $\pm 45^\circ$ .



*Рис. 3. Система мобильного лазерного сканирования Alpha 3D, установленная на автомобиль*

Система предусматривает возможность подключения двух дополнительных измерительных устройств с синхронизацией через порт RS232.

### Система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7 (ООО «АГМ СИСТЕМЫ»)

Отечественная система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7 (рис. 4) разработана и производится в г. Краснодар. Система, представленная на сопоставительных испытаниях, в составе измерительного модуля имеет лазерный сканер PENTAX S2100, модуль инерциальной навигации собственной разработки АГМ-ПС, двухчастотный приемник ГНСС на базе решения NovAtel и панорамную камеру FLIR LadyBug 5.

МЛС АГМ-МС7 была установлена на подъемной платформе, позволяющей осуществить удобный монтаж оборудования, на крыше автомобиля, а затем произвести подъем, увеличив тем самым угол обзора.



*Рис. 4. Система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7 на подъемной платформе, установленная на автомобиль*

### **Измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ на базе автомобиля ГАЗЕЛЬ NEXT (АО «СНПЦ РДТ»)**

Измерительный комплекс «RDT LINE» (рис. 5) представляет собой совокупность высокотехнологичных измерительных систем, установленных на шасси автомобиля типа фургон, и предназначен для получения полной, объективной и достоверной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии автомобильных дорог.

В состав комплекса входят системы, позволяющие: выполнять панорамную видеосъемку автомобильных дорог; получать информацию о геометрических параметрах автомобильных дорог; получать детальную ведомость дефектов покрытия; производить непрерывное измерение неровностей продольного профиля покрытий; производить оценку колеяности покрытия по полосам движения, определять коэффициент сцепления дорожного покрытия. Особенностью измерительного комплекса является высокая степень автоматизации выполнения полевых и камеральных работ.



*Рис. 5. Измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ*

### **Система мобильного лазерного сканирования MX9 (Trimble Inc.)**

На сопоставительных испытаниях также впервые в России была представлена система мобильного лазерного сканирования MX9 (рис. 6).



*Рис. 6. Система мобильного лазерного сканирования MX9*

Измерительный модуль системы состоит из следующих основных компонентов: двух лазерных сканеров Riegl VUX-1HA с возможностью регулировки по трем фиксированным положениям; инерциальной навигационной системы Applanix AP60; панорамной камеры Point Grey

Ladybug 5+; двух камер бокового обзора; камеры, направленной на покрытие, Point Grey Grasshopper 5.0. Управление системой может осуществляться с любого мобильного устройства (планшет, ноутбук и др.).

### **Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ» на базе автомобиля Iveco (ФГБОУ ВО «МАДИ»)**

Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ» (рис. 7) разработан исключительно для мониторинга объектов улично-дорожной сети в ночное время.



*Рис. 7. Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ»*

Для обеспечения возможности выполнения работ в ночное время над автомобилем на консоли установлены светильники с коллимированными пластинами, формирующие узкую полосу света, шириной, достаточной для освещения участка, но в то же время исключающей возможность ослепления участников дорожного движения. Лаборатория АДС-МАДИ позволяет в автоматическом режиме, используя алгоритмы распознавания, выделять на изображении различные объекты и формировать линейный график автомобильной дороги.

### **Результаты сопоставительных испытаний**

Основные технические характеристики передвижных дорожных лабораторий и систем мобильного лазерного сканирования, участвовавших в сопоставительных испытаниях, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

*Основные технические характеристики передвижных дорожных лабораторий*

<i>Измеряемый параметр</i>	<i>ДВК-05 [9]</i>	<i>КП-514 РДТ [10]</i>	<i>АДС МАДИ [11]</i>
<i>Пройденный путь:</i> – диапазон измерений, км – погрешность измерения, %	0–1 000 0,1	0,1–100 ±0,1	Н/Д
<i>Продольный уклон:</i> – диапазон измерений, ‰ – погрешность измерения, ‰	±120 3	от –105 до +105 ±3	Н/Д
<i>Поперечный уклон:</i> – диапазон измерений, ‰ – погрешность измерения, ‰	±120 5	от –105 до +105 ±5	Н/Д
<i>Углы поворота дороги:</i> – диапазон измерений, ° – погрешность измерения, °	0–360 1	от –180 до +180 ±3	Н/Д
<i>Радиусы кривых в плане:</i> – диапазон измерений, м – погрешность измерения, %	0–50 000 2	Н/д	Н/Д
<i>Радиусы выпуклых и вогнутых кривых:</i> – диапазон измерений, м – погрешность измерения, %	0–100 000 2	Н/д	Н/Д

<i>Измеряемый параметр</i>	<i>ДВК-05 [9]</i>	<i>КП-514 РДТ [10]</i>	<i>АДС МАДИ [11]</i>
<i>Продольный микропрофиль: – диапазон измерений, мм – погрешность измерения</i>	±150 5%	от –100 до +100 ±5 мм	±100 ±1,5
<i>Поперечная ровность (колейность): – диапазон измерений, мм – погрешность измерения, мм</i>	0–150 2	2–150 ±2 мм	±150 ±2
<i>Погрешность привязки объектов</i>	± (0,005–10,0) м	±1”	Н/Д
<i>Измерение объектов по видео- изображению или облаку точек: – диапазон измерений, м – погрешность измерения</i>	до 50 0,05 + 0,001*L м	0,5–20 ±5 %	0 – 12 ±10 мм
<i>Лазерный сканер: – измерения расстояния, м – погрешность измерения, м</i>	до 80 0,006–0,014 [12]	не используется	до 100 ±0,03 [13]

Условные обозначения: Н/Д – нет данных.

Как видно из **табл. 1**, передвижные дорожные лаборатории ДВК-05 и КП-514 РДТ обладают аналогичными техническими характеристиками, однако лаборатория КП-514 РДТ не имеет в своем составе лазерного сканера. Обновленная дорожная лаборатория АДС-МАДИ на момент проведения сопоставительных испытаний проходила этап калибровки и настройки.

**Таблица 2**

*Основные технические характеристики систем мобильного лазерного сканирования*

<i>Наименование параметра</i>	<i>MX9 [14 – 16]</i>	<i>Alpha3D [17]</i>	<i>АГМ-МС7.2100 [18 – 20]</i>
<i>Измеряемое расстояние:</i>			
<i>– диапазон измерений, м</i>	420	420	119
<i>– погрешность измерения, мм</i>	5	5	3,1
<i>– прецизионность измерений, мм</i>	3	3	Н/д
<i>– максимальная частота сканирования, Гц</i>	2000	1000	1016
<i>Характеристики инерциально-навигационной системы</i>			
<i>– крен, тангаж, °</i>	0,005	0,005	0,005
<i>– курс, °</i>	0,015	0,017	0,008
<i>Абсолютная точность измерений:</i>			
<i>– плановая, мм</i>	25–50	25–30	30
<i>– высотная, мм</i>	25–50	25–30	30
<i>Лазерный сканер</i>	2 × Riegl VUX-1HA	Riegl VUX-1HA	PENTAX S2100

<i>Наименование параметра</i>	<i>MX9 [14 – 16]</i>	<i>Alpha3D [17]</i>	<i>АГМ- МС7.2100 [18 – 20]</i>
<i>Тип сканера</i>	Импульс- ный	Импульс- ный	Фазовый
<i>Инерциальная система</i>	Applanix AP-60	Honeywell HG4930	АГМ-ПС*
<i>Дополнительная антенна ГНСС</i>	Опцио- нально	Опцио- наль- но	Н/д
<i>Одометр (датчик пройден- ного расстояния)</i>	Опцио- нально	Опцио- наль- но	Не преду- смотрен
<i>Фотокамеры</i>	FLIR Ladybug 5+, 3 встроен- ных 5 МП	FLIR Ladybug 5+	FLIR Ladybug 5
<i>Подключение внешних устройств</i>	1	2	Н/д
<i>Степень пылевлагозащиты</i>	IP 64	IP 64	Н/д
<i>Масса измерительного модуля</i>	37	19,2	31

*\*На сопоставительных испытаниях система была представлена с инерциально-навигационной системой от другого производителя.*

Как видно из сравнительной **табл. 2**, все системы обладают аналогичными техническими характеристиками. Система мобильного лазерного сканирования MX9 является наиболее производительной благодаря наличию двух лазерных сканеров.

По полученным от участников материалов сотрудниками ФАУ «РОСДОРНИИ» был выполнен анализ результатов определения пространственного положения контрольных точек, а также оценка точности определения длины участка, ширины и площади дорожного покрытия. Обобщенные результаты представлены в **табл. 3**.

Таблица 3

*Результаты сопоставительных испытаний систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий*

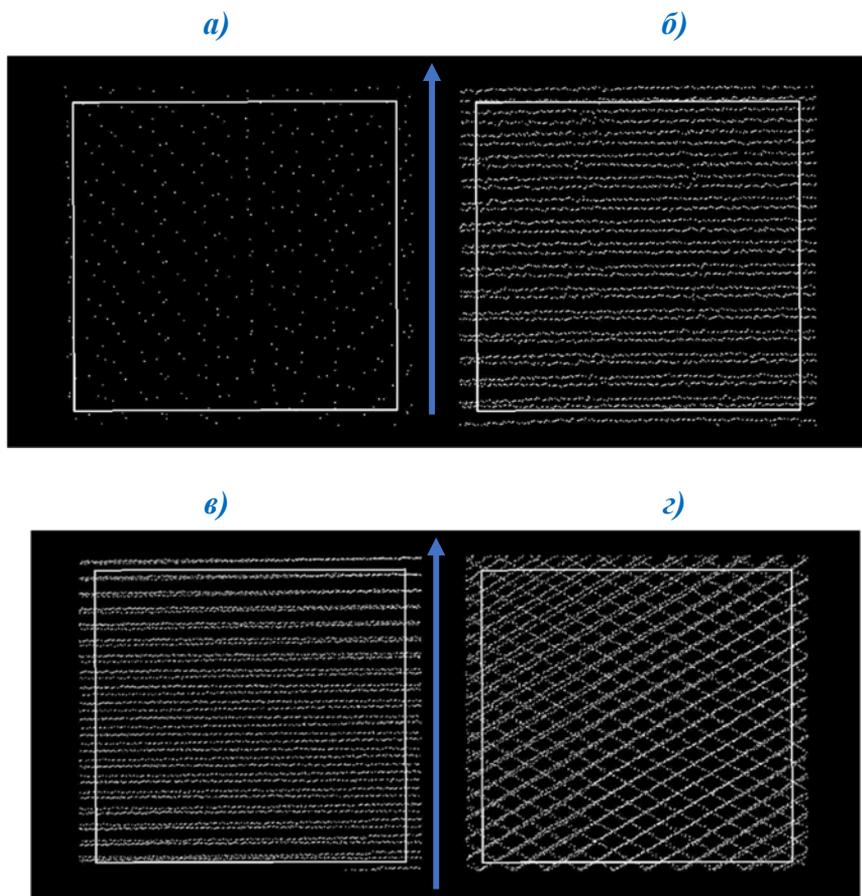
<i>Характеристики</i>	<i>Наименование системы</i>					
	<i>ДВК-05</i>	<i>АГМ-МС7</i>	<i>МХ9</i>	<i>Alpha 3D</i>	<i>АДС-МАДИ</i>	<i>КП 514 РДТ</i>
<i>Определение координат:</i>						
<i>– заявленная погрешность, мм</i>	до 10 м	30	25–50	25–30	Н/д	±1”
<i>– мин. СКО на покрытии, мм</i>	37	18	30	10	8600	3000
<i>– макс. СКО на покрытии, мм</i>	68	23	37	13	–	3620
<i>– количество определенных точек на местных предметах</i>	85%	68%	68%	76%	100%	0%
<i>– средняя погрешность на местных предметах, м</i>	1,53	0,27	0,27	0,68	8,69	–
<i>Определение высотных отметок:</i>						
<i>– заявленная погрешность, мм</i>	Н/д	30	25–50	25–30	Н/д	–
<i>– мин. СКО на покрытии, мм</i>	31	10	23	8	1800	–
<i>– макс. СКО на покрытии, мм</i>	33	29	26	19	–	–
<i>Погрешность измерений:</i>						
<i>– протяженности участка, не более</i>	0,20%	0,11%	0,14%	0,22%	2,70%	0,30%
<i>– площади покрытия</i>	1,30%	0,60%	0,60%	5,70%	20,10%	3,10%
<i>– ширин проезжей части</i>	1,77%	1,46%	1,50%	3,47%	–	5,85%

Следует отметить, что распознавание раскрашенных контрольных точек по фотопанорамам и облакам точек – процесс достаточно субъективный, и на результат, кроме оборудования для сбора полевых данных, могут повлиять размер и алгоритмы раскраски и отображения данных в используемом программном обеспечении, разрешение офис-

ного монитора, параметры цветопередачи, а также индивидуальные физиологические особенности цветовосприятия у оператора.

Для лазерных сканеров, расположенных перпендикулярно оси движения автомобиля, характерна очень высокая плотность точек в поперечном направлении (**рис. 8 б, в**). При этом плотность точек в продольном направлении напрямую зависит от скорости движения автомобиля. Чем выше скорость, тем больше расстояние между профилями.

Для двух лазерных сканеров, расположенных под углом к оси движения автомобиля, характерна наиболее равномерная плотность точек, как в поперечном, так и продольном направлениях (**рис. 8 а, г**).



**Рис. 8. Рисунок облака точек по оси автомобильной дороги для участка площадью  $1 \text{ м}^2$  (стрелкой показано направление движения):**  
**а) ДВК-05, б) АГМ-МС7, в) Alpha 3D, г) МХ9**

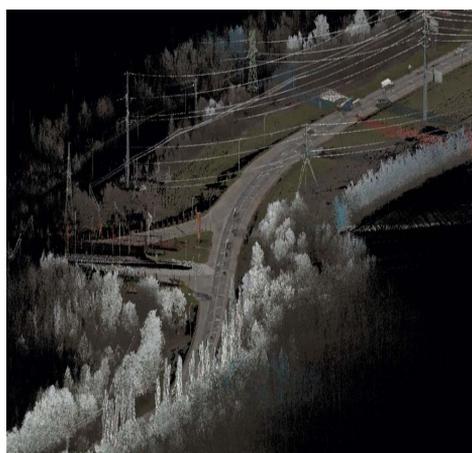
*а)*



*б)*



*в)*



*г)*



***Рис. 9. Сравнение облаков точек различных МЛС:  
а) ДВК-05, б) АГМ-МС7, в) Alpha 3D, г) MX9***

Полнота результирующего облака точек будет зависеть от диапазона измерений и расположения лазерного сканера. На **рис. 9** представлены для сравнения снимки отображения участка автомобильной дороги на результирующем облаке точек, полученные разными лазерными сканерами.

По результатам проведения первого этапа сопоставительных испытаний подготовлен отчет [21].

### **Анализ результатов измерений продольной ровности покрытия**

На втором этапе сопоставительных испытаний, проведенных на территории полигона НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» (рис. 10), в Дмитровском районе Московской области, выполнен анализ результатов измерений продольной ровности покрытия контрольных участков автомобильной дороги, полученных с помощью систем мобильного лазерного сканирования и передвижных диагностических лабораторий. При этом была произведена оценка точности определения показателя ровности IRI<sup>1</sup> по облаку точек, записанному системами мобильного лазерного сканирования и по результатам измерений участков диагностическими лабораториями [22].



*Рис. 10. Дорожные лаборатории КП 514 РДТ и ДВК-05 на территории полигона НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ»*

Испытания проводились на двух аттестованных в соответствии с требованиями [23, 24] участках динамометрической дороги полигона НАМИ.

Погрешность определения показателя ровности IRI у диагностических лабораторий с использованием профилометров в среднем со-

---

<sup>1</sup> IRI, мм/м – англ. International Roughness Index (Международный показатель ровности).

ставляет 10 %, что соответствует требованиям [24]. Погрешность определения показателя ровности IRI по облаку точек результатов лазерного сканирования в среднем составляет от 40 до 50 %. К значительным погрешностям определения показателя IRI приводит недостаточно точное измерение значений амплитуд неровностей с длинами волн 1-8 м [25].

## ВЫВОДЫ

По результатам проведения сопоставительных испытаний были сделаны следующие выводы:

1. Выявлены различия в методике выполнения работ, отсутствие методики и критериев оценки точности и контроля полученных результатов, а также затруднения при переходе из системы координат WGS-84 в местные системы координат и нормальную систему высот, применяемые на территории Российской Федерации. В связи с этим требуется проведение дополнительных исследований и разработки соответствующих методических и нормативных документов.
2. В настоящее время не все передвижные дорожные лаборатории обеспечивают точность координатной привязки, удовлетворяющей требованиям точности, предъявляемым к топографическим планам масштаба 1:2000, что может вызывать некоторые трудности при занесении результатов диагностики в ГИС. Вместе с тем, по результатам сопоставительных испытаний всеми дорожными лабораториями и системами мобильного лазерного сканирования была обеспечена заявленная производителем точность.
3. Все передвижные дорожные лаборатории имеют в своем составе измерительное оборудование, позволяющее определять транспортно-эксплуатационные характеристики автомобильной дороги в виде готовых результатов. Системы мобильного лазерного сканирования по результатам съемки обеспечивают получение пространственной информации в цифровом виде, которая может быть использована для решения широкого перечня задач, в том числе определения транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильной дороги.
4. Для измерений продольной ровности покрытия в настоящее время целесообразнее использовать дорожные лаборатории, оснащенные профилометрами.
5. Для создания цифровой модели автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального значения, содержащей в том числе информацию о диагностике и оценке состояния автомобильных дорог, целесообразно

использовать комплексные дорожные лаборатории, оснащенные системами мобильного лазерного сканирования, позволяющие собирать данные за минимальное число проездов.

## *ЛИТЕРАТУРА*

1. Приложение 1. План мероприятий по реализации федерального проекта проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства». [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mintrans.ru/file/423980> (дата обращения: 02.04.2020).
2. ГОСТ 33388-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации [Электронный ресурс] / ГОСТ 33388-2015. – Введ. – 2016.09.08. – Режим доступа: Система «Техэксперт».
3. ГОСТ 33101-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности [Электронный ресурс] / ГОСТ 33101-2014. – Введ. – 2016.08.01. – Режим доступа: Система «Техэксперт».
4. ОДМ 218.4.039-2018. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог [Электронный ресурс] / ОДМ 218.4.039-2018. – Введ. – 2018.07.04. – Режим доступа: Система «Техэксперт».
5. ГОСТ 33078-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием [Электронный ресурс] / ГОСТ 33078-2014. – Введ. – 2015.12.01. – Режим доступа: Система «Техэксперт».
6. Технический отчет по результатам сопоставительных испытаний лабораторий мобильного лазерного сканирования [Текст]. – М., 2013. – 40 с.
7. 3-5 сентября по заказу Федерального дорожного агентства на территории полигона НАМИ в Московской области проводились масштабные сопоставительные испытания оборудования, предназначенного для оценки основных транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosavtodor.ru/eye/page/84/6685> (дата обращения: 17.06.2020).
8. ГОСТ 32869-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий [Электронный ресурс] / ГОСТ 32869-2014. – Введ. – 2015.07.01. – Режим доступа: Система «Техэксперт».
9. Отчет о выполнении работ на участке 1-го этапа сопоставительных испытаний комплексов мобильного лазерного сканиро-

- вания и передвижных дорожных лабораторий [Текст]. – М., 2019. – 53 с.
10. Приложение к свидетельству № 54764 об утверждении типа средств измерений. [Электронный ресурс] – URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/downloadfile/df674182-0e5a-4647-8829-b5111da7fc33> (дата обращения: 12.01.2020).
  11. Приложение к свидетельству № 56331 об утверждении типа средств измерений. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/downloadfile/184c2634-c49b-4796-adcd-42235fee1790> (дата обращения: 12.01.2020).
  12. LMS5xx LMS511-10100 PRO, Online data sheet [Электронный ресурс]. – URL: [https://cdn.sick.com/media/pdf/1/41/941/dataSheet\\_LMS511-10100-PRO\\_1046135\\_nl.pdf](https://cdn.sick.com/media/pdf/1/41/941/dataSheet_LMS511-10100-PRO_1046135_nl.pdf) (дата обращения: 12.01.2020).
  13. Velodyne LiDAR PUCK™ Puck Data Sheet [Электронный ресурс]. – URL: [https://go.pardot.com/l/208822/2018-02-23/6t1jp?File\\_Name=DataSheetPuck&File\\_Code=DataSheetPuck](https://go.pardot.com/l/208822/2018-02-23/6t1jp?File_Name=DataSheetPuck&File_Code=DataSheetPuck) (дата обращения: 12.01.2020).
  14. Trimble MX9 MOBILE MAPPING SOLUTION [Электронный ресурс]. – URL: [https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-08/022516-357G\\_Trimble%20MX9\\_DS\\_USL\\_0819\\_LR.pdf](https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-08/022516-357G_Trimble%20MX9_DS_USL_0819_LR.pdf) (дата обращения: 12.01.2020).
  15. Trimble AP60 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.applanix.com/downloads/products/specs/AP60\\_DS\\_NEW\\_0406\\_YW.pdf](https://www.applanix.com/downloads/products/specs/AP60_DS_NEW_0406_YW.pdf) (дата обращения: 12.01.2020).
  16. Система мобильного картографирования TRIMBLE MX9 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.prin.ru/lazernoe\\_skanirovanie/mobil\\_noe/trimble/mx9/sistema\\_mobil\\_nogo\\_kartografirovaniya\\_trimble\\_mx9/](http://www.prin.ru/lazernoe_skanirovanie/mobil_noe/trimble/mx9/sistema_mobil_nogo_kartografirovaniya_trimble_mx9/) (дата обращения: 12.01.2020).
  17. Alpha 3D Mobile mapping solution [Электронный ресурс]. – URL: <https://geo-matching.com/uploads/default/a/l/alpha3d-ds-en-0.pdf> (дата обращения: 12.01.2020).
  18. Приложение к свидетельству № 62629 об утверждении типа средств измерений. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/downloadfile/1b56f367-3b8b-4a5e-891f-466ed6ee21fd> (дата обращения: 12.01.2020).
  19. Система мобильного сканирования АГМ-МС7.2100 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agmsys.ru/mscan/ms7-2100> (дата обращения: 12.01.2020).

20. Система инерциального позиционирования АГМ-ПС [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agmsys.ru/mscan/ps> (дата обращения: 12.01.2020).
21. Сопоставительные испытания систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий. Участок автомобильной дороги А-146 Краснодар – Верхнебаканский км 109 + 500 - 113 + 100 [Текст]: отчет о НИР / ФАУ «РОСДОРНИИ». – М., 2019. – 106 с.
22. Сопоставительные испытания систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий. Центр испытаний НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» (2 этап) [Текст]: отчет о НИР / ФАУ «РОСДОРНИИ». – М., 2019. – 44 с.
23. ГОСТ Р 56925-2016. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий [Электронный ресурс] / ГОСТ Р 56925-2016. – Введ. – 2016.10.01. – Режим доступа: Система «Техэксперт».
24. ГОСТ 33101-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения [Электронный ресурс] / ГОСТ 33101-2014. – Введ. – 2016.08.01. – Режим доступа: Система «Техэксперт».
25. Лушников Н.А. О точности измерений продольной ровности дорожных покрытий различными методами / Н.А. Лушников, П.А. Лушников // Дороги и мосты. – 2020. – № 42. – С. 79-89.

## L I T E R A T U R A

1. Prilozhenie 1. Plan meropriyatij po realizacii federal'nogo proekta proekta «Obshchesistemnye mery razvitiya dorozhnogo hozyajstva». [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://www.mintrans.ru/file/423980> (data obrashcheniya: 02.04.2020).
2. GOST 33388-2015. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Trebovaniya k provedeniyu diagnostiki i pasportizacii [Elektronnyi resurs] / GOST 33388-2015. – Vved. – 2016.09.08. – Rezhim dostupa: Sistema «Tekhekspert».
3. GOST 33101-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Pokrytiya dorozhnye. Metody izmereniya rovnosti [Elektronnyi resurs] / GOST 33101-2014. – Vved. – 2016.08.01. – Rezhim dostupa: Sistema «Tekhekspert».
4. ODM 218.4.039-2018. Rekomendacii po diagnostike i ocenke tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobil'nyh dorog [Elektronnyi

- resurs] / ODM 218.4.039-2018. – Vved. – 2018.07.04. – Rezhim dostupa: Sistema «Tekhekspert».
5. GOST 33078-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Metody izmereniya scepheniya koleasa avtomobilya s pokrytiem [Elektronnyi resurs] / GOST 33078-2014. – Vved. – 2015.12.01. – Rezhim dostupa: Sistema «Tekhekspert».
  6. Tekhnicheskii otchet po rezul'tatam sopostavitel'nyh ispytanii laboratorii mobil'nogo lazernogo skanirovaniya [Tekst]. – M., 2013. – 40 s.
  7. 3-5 sentyabrya po zakazu Federal'nogo dorozhnogo agentstva na territorii poligona NAMI v Moskovskoj oblasti provodilis' masshtabnye sopostavitel'nye ispytaniya oborudovaniya, prednaznachennogo dlya ocenki osnovnykh transportno-ekspluatsionnykh kachestv avtomobil'nykh dorog. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://rosavtodor.ru/eye/page/84/6685> (data obrashcheniya: 17.06.2020).
  8. GOST 32869-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Trebovaniya k provedeniyu topografo-geodezicheskikh izyskaniy [Elektronnyi resurs] / GOST 32869-2014. – Vved. – 2015.07.01. – Rezhim dostupa: Sistema «Tekhekspert».
  9. Otchet o vypolnenii rabot na uchastke 1-go etapa sopostavitel'nyh ispytanii kompleksov mobil'nogo lazernogo skanirovaniya i peredvizhnykh dorozhnykh laboratorii [Tekst]. – M., 2019. – 53 s.
  10. Prilozhenie k svidetel'stvu № 54764 ob utverzhdenii tipa sredstv izmerenii. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/downloadfile/df674182-0e5a-4647-8829-b5111da7fc33> (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  11. Prilozhenie k svidetel'stvu №56331 ob utverzhdenii tipa sredstv izmerenii. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/downloadfile/184c2634-c49b-4796-adcd-42235fee1790> (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  12. LMS5xx LMS511-10100 PRO, Online data sheet [Elektronnyi resurs]. – URL: [https://cdn.sick.com/media/pdf/1/41/941/dataSheet\\_LMS511-10100-PRO\\_1046135\\_nl.pdf](https://cdn.sick.com/media/pdf/1/41/941/dataSheet_LMS511-10100-PRO_1046135_nl.pdf) (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  13. Velodyne LiDAR PUCKTM Puck Data Sheet [Elektronnyi resurs] – URL: [https://go.pardot.com/l/208822/2018-02-23/6t1jp?File\\_Name=DataSheetPuck&File\\_Code=DataSheetPuck](https://go.pardot.com/l/208822/2018-02-23/6t1jp?File_Name=DataSheetPuck&File_Code=DataSheetPuck) (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  14. Trimble MX9 MOBILE MAPPING SOLUTION [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/201>

- 9-08/022516-357G\_Trimble%20MX9\_DS\_USL\_0819\_LR.pdf (data obrashcheniya: 12.01.2020).
15. Trimble AP60 [Elektronnyi resurs]. – URL: [https://www.applanix.com/downloads/products/specs/AP60\\_DS\\_NEW\\_0406\\_YW.pdf](https://www.applanix.com/downloads/products/specs/AP60_DS_NEW_0406_YW.pdf) (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  16. Sistema mobil'nogo kartografirovaniya TRIMBLE MX9 [Elektronnyi resurs]. – URL: [http://www.prin.ru/lazernoe\\_skanirovanie/mobil\\_noe/trimble/mx9/sistema\\_mobil\\_nogo\\_kartografirovaniya\\_trimble\\_mx9/](http://www.prin.ru/lazernoe_skanirovanie/mobil_noe/trimble/mx9/sistema_mobil_nogo_kartografirovaniya_trimble_mx9/) (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  17. Alpha 3D Mobile mapping solution [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://geo-matching.com/uploads/default/a/l/alpha3d-ds-en-0.pdf> (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  18. Prilozhenie k svidetel'stvu № 62629 ob utverzhdenii tipa sredstv izmerenii. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/downloadfile/1b56f367-3b8b-4a5e-891f-466ed6ee21fd> (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  19. Sistema mobil'nogo skanirovaniya AGM-MS7.2100 [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://www.agmsys.ru/mscan/ms7-2100> (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  20. Sistema inercial'nogo pozicionirovaniya AGM-PS [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://www.agmsys.ru/mscan/ps> (data obrashcheniya: 12.01.2020).
  21. Sopostavitel'nye ispytaniya sistem mobil'nogo lazernogo skanirovaniya i peredvizhnyh dorozhnyh laboratorij. Uchastok avtomobil'noj dorogi A-146 Krasnodar – Verhnebakanskij km 109 + 500 - 113 + 100 [Tekst]: otchet o NIR / FAU «ROSDORNII». – M., 2019. – 106 s.
  22. Sopostavitel'nye ispytaniya sistem mobil'nogo lazernogo skanirovaniya i peredvizhnyh dorozhnyh laboratorij. Centr ispytaniy NI-CIAMT FGUP «NAMI» (2 etap) [Tekst]: otchet o NIR / FAU «ROSDORNII». – M., 2019. – 44 s.
  23. GOST R 56925-2016. Dorogi avtomobil'nye i aerodromy. Metody izmereniya nerovnostej osnovanij i pokrytij [Elektronnyi resurs] / GOST 33101-2014. – Vved. – 2016.10.01. – Rezhim dostupa: Sistema «Tekhekspert».
  24. GOST 33101-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Pokrytiya dorozhnye. Metody izmereniya [Elektronnyi resurs] / GOST 33101-2014. – Vved. – 2016.08.01. – Rezhim dostupa: Sistema «Tekhekspert».

25. Lushnikov N.A. *O tochnosti izmerenij prodol'noj rovnosti dorozhnyh pokrytij razlichnymi metodami / N.A. Lushnikov, P.A. Lushnikov // Dorogi i mosty. – 2020. – № 42 – S. 79-89.*

---

**COMPARATIVE TESTS OF MOBILE LASER SCANNING SYSTEMS  
AND MOBILE ROAD LABORATORIES**

*Doctor of Economy V.P. Mironyuk,  
Ph. D. (Tech.) R.A. Eremin,  
Engineer A.O. Kuznetsov  
(FAI «ROSDORNII»)*

*Contact information: mironyuk@rosdornii.ru;  
r.eremin@rosdornii.ru;  
kuznetsov@rosdornii.ru*

*The article presents the comparative tests results of mobile laser scanning systems and mobile road laboratories. The main tasks of these tests were to assess the accuracy of determining the spatial position of objects both on a cloud of laser scanning points and on photo and video images recorded respectively by mobile laser scanning systems and mobile road laboratories, as well as to evaluate the accuracy of determining road geometric parameters and road pavement longitudinal profile.*

**Key words:** *roads, mobile laser scanning, diagnostics, road laboratory, spatial data, digital model.*

---

Рецензент: д-р техн. наук В.Н. Бойков (Московский автомобильно-дорожный технический университет (МАДИ)).

Статья поступила в редакцию: 03.04.2020 г.