

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2025, Том 12, № 4 / 2025, Vol. 12, Iss. 4 <https://t-s.today/issue-4-2025.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/10SATS425.pdf>

DOI: 10.15862/10SATS425 (<https://doi.org/10.15862/10SATS425>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Конорев, А. С. Формирование требований к сбору данных мобильного лазерного сканирования при получении микропрофиля для определения показателя IRI / А. С. Конорев, В. П. Миронюк, С. А. Мирончук, А. Б. Волков, А. А. Алымов // Транспортные сооружения. — 2025. — Т. 12. — № 4. — URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS425.pdf>. DOI: 10.15862/10SATS425.

**For citation:**

Konorev A.S., Mironyuk V.P., Mironchuk S.A., Volkov A.B., Alymov A.A. Formulation of requirements for collecting mobile laser scanning data when obtaining a microprofile to determine the IRI indicator. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2025;12(4): 10SATS425. Available at: <https://t-s.today/PDF/10SATS425.pdf>. DOI: 10.15862/10SATS425. (In Russ., abstract in Eng.).

*Данные мероприятия были проведены при выполнении научно-исследовательской работы «Разработка научно обоснованных предложений в части получения данных микропрофиля проезжей части автомобильных дорог для вычисления международного индекса ровности, в том числе с учетом данных цифровой модели поверхности дорожного покрытия с разработкой документа по стандартизации»*

УДК 625.7.03:531.1

**Конорев Александр Сергеевич**

ФАУ «Росдорнии», Москва, Россия  
Заместитель директора департамента научно-технического развития и стандартизации  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [konorev@rosdornii.ru](mailto:konorev@rosdornii.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1052-0260>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=807191](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=807191)

**Миронюк Виталий Петрович**

ФАУ «Росдорнии», Москва, Россия  
Начальник управления методов проектирования автомобильных дорог  
Доктор экономических наук, кандидат технических наук  
E-mail: [mironyuk@rosdornii.ru](mailto:mironyuk@rosdornii.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4862-7424>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=384816](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=384816)

**Мирончук Сергей Александрович**

ФАУ «Росдорнии», Москва, Россия  
Начальник управления перспективных методов исследований и испытаний  
Кандидат технических наук  
E-mail: [mironchuk@rosdornii.ru](mailto:mironchuk@rosdornii.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0312-424X>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=820416](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=820416)

**Волков Александр Борисович**

ФАУ «Росдорнии», Москва, Россия  
Главный специалист отдела методического обеспечения сохранности автомобильных дорог  
E-mail: [volkov@rosdornii.ru](mailto:volkov@rosdornii.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1777-0303>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1204997](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1204997)

**Алымов Александр Александрович**

ФАУ «Росдорнии», Москва, Россия

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»,  
Москва, Россия

Ведущий специалист отдела методов ускоренных испытаний

E-mail: [alymovaa@rosdornii.ru](mailto:alymovaa@rosdornii.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9058-1973>

## **Формирование требований к сбору данных мобильного лазерного сканирования при получении микропрофиля для определения показателя IRI**

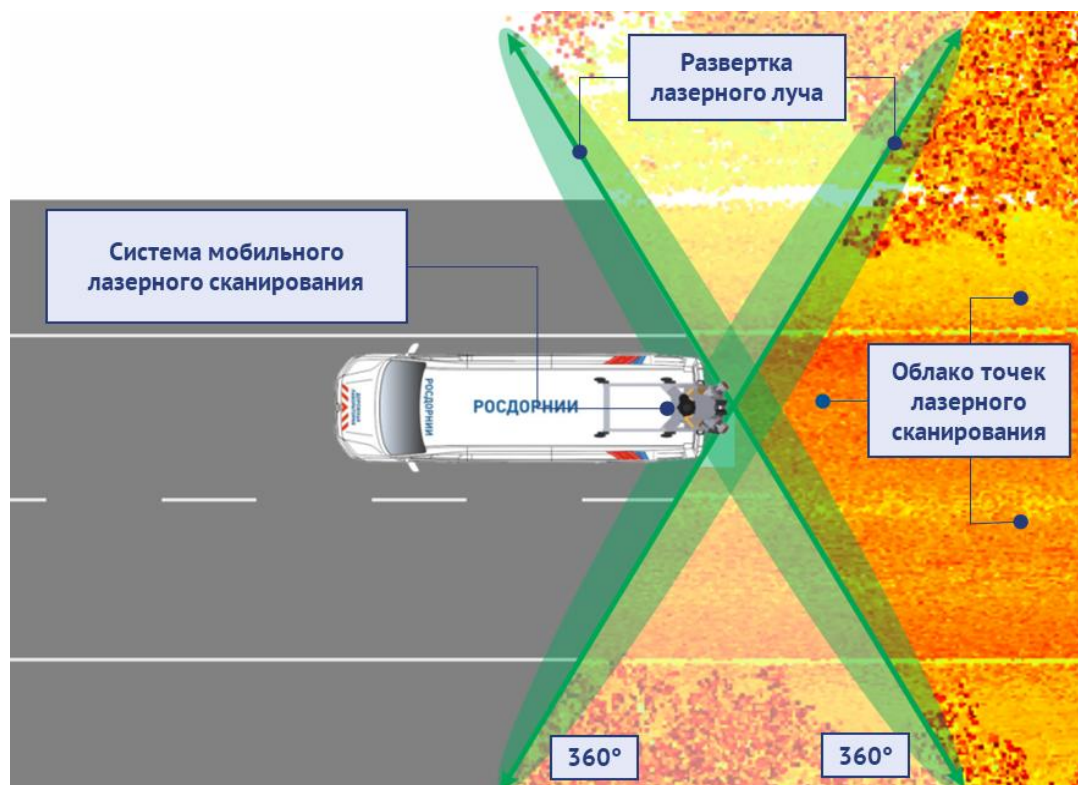
**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы определения требований к сбору данных, получаемых с применением систем мобильного лазерного сканирования для разработки методики расчета ординат микропрофиля покрытия автомобильной дороги и расчете показателя IRI. На основании проведенных сопоставительных испытаний четырех систем мобильного лазерного сканирования были получены и проанализированы требуемые параметры для сбора данных. Были определены параметры, оказывающие существенное влияние на плотность точек лазерных отражений и результаты расчета микропрофиля. Для оценки результатов измерений мобильного лазерного сканирования для разных настроек съемки при разных скоростях движения была разработана предварительная методика сбора и обработки данных ТЛО при расчете микропрофиля покрытия автомобильной дороги и последующего расчета международного индекса продольной ровности. На основании полученного микропрофиля и результатов расчета международного индекса ровности IRI для четырех систем мобильного лазерного сканирования был проведен анализ влияния настроек съемки мобильного лазерного сканирования и оценка влияния скорости на количество точек лазерного отражения и точность проведения измерений. Вычисленные на базе данных точек лазерного отражения значения международного индекса ровности IRI сравнивались с эталонными значениями международного индекса ровности IRI, который был получен при проведении нивелировке того же участка. На основании результатов расчета была определена рекомендованная скорость проведения измерений, а также подтверждена эффективность разработанная предварительная методика обработки данных мобильного лазерного сканирования.

**Ключевые слова:** дорожное покрытие; продольная ровность; микропрофиль; международный показатель ровности (IRI); мобильное лазерное сканирование; плотность точек; точки лазерных отражений

Мобильное лазерное сканирование (далее — МЛС) получило масштабное применение при предпроектных изысканиях, паспортизации автомобильных дорог, а также для сбора пространственных данных [1]. В настоящее время проводятся работы по расширению и адаптации применения технологии МЛС на другие сферы деятельности дорожного хозяйства. В частности, данные полученные МЛС применяются для определения продольной ровности [2; 3]. Однако остаются не проработанными вопросы, связанные с методикой проведения полевых работ и обработкой данных лазерного сканирования.

Особенностью получения микропрофиля дорожного покрытия при помощи МЛС является получение данных точек лазерных отражений в автоматическом режиме с последующей подготовкой, включающей несколько этапов. Полевые работы по сбору данных МЛС для получения микропрофиля поверхности покрытия автомобильной дороги могут проводиться в соответствии с положениями [4]. Пример работы МЛС с двумя сканирующими

головами показан на рисунке 1. Возможность применения МЛС в первую очередь определяется обоснованными требованиями к параметрам камеральной обработки данных точек лазерных отражений (далее — ТЛО) для расчета микропрофиля покрытия. Не мало важным являются параметры сбора данных, которые определены в [4], но требуют уточнения с учетом дальнейшего получения данных микропрофиля.



**Рисунок 1.** Принцип построения облака точек МЛС на автомобильных дорогах (источник: ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Для определения требований к параметрам проведения полевых работ с использованием МЛС, для расчета микропрофиля были получены данные четырёх систем МЛС при проведении сопоставительных испытаний [5] по измерению микропрофиля поверхности покрытия на трех тестовых участках автомобильной дороги в Воронежской области. Данные мероприятия были проведены при выполнении научно-исследовательской работы «Разработка научно обоснованных предложений в части получения данных микропрофиля проезжей части автомобильных дорог для вычисления международного индекса ровности, в том числе с учетом данных цифровой модели поверхности дорожного покрытия с разработкой документа по стандартизации» (далее НИР). В полевых работах по измерению микропрофиля использовались следующие мобильные лазерные сканеры:

1. Trimble MX9.
2. Alpha3D-L Dual.
3. AlphaUni 20.
4. Topcon RD-M1.

Системы МЛС представляют собой программно-аппаратные комплексы с нативным программным обеспечением (далее — ПО), позволяющим проводить вывод и привязку данных точек лазерных отражений. Дальнейшая их обработка может проводиться с применением ПО, которое позволяет классифицировать данные в соответствии с [6], измерять геометрические

параметры, выполнять выделение, а также вырезку отдельных областей облака точек лазерных отражений. Все перечисленные выше операции, а также настройки систем лазерного сканирования при проведении полевых работ по сбору данных, скоростной режим движения дорожных лабораторий требуют детального исследования и определения требований к ним. Определение указанных выше параметров и характеристик позволят сформировать методику сбора и обработки данных для получения микропрофиля с требуемыми параметрами точности, сходимости и повторяемости.

На последующих этапах, полученные значения микропрофиля используются для определения продольной ровности покрытия автомобильной дороги на основе международного индекса ровности IRI [7; 8].

### **Предварительная методика сбора и обработки данных ТЛО при расчете микропрофиля покрытия автомобильной дороги и последующего расчета международного индекса продольной ровности IRI**

Получение микропрофиля покрытия автомобильной дороги при расчете продольной ровности в соответствии с международным индексом продольной ровности на базе данных мобильного лазерного сканирования, подразумевает выполнение большого количества операций, в том числе с применением высокотехнологичного оборудования, которое имеет большое количество различных вариантов исполнения и соответственно широкий диапазон различных настроек. Для того, чтобы обеспечить сходимость данных микропрофиля, полученных с использованием различных систем МЛС была разработана предварительная методика сбора и обработки данных ТЛО при расчете микропрофиля покрытия автомобильной дороги и последующего расчета международного индекса продольной ровности (далее — предварительная методика).

Для определения предварительной методики выделены следующие параметры, оказывающие существенное влияние на плотность ТЛО и результаты расчета:

- скорость движения систем МЛС при сборе данных;
- плотность ТЛО зависящие от настроек систем лазерного сканирования;
- дополнительным параметром, который влияет на формирование микропрофиля покрытия автомобильной дороги и на плотность данных точек лазерных отражений является количество лидаров (лазерных сканеров). Из четырёх систем МЛС, принимавших участие в сборе данных три системы были оборудованы двумя лидарами (AlphaUni 20, Alpha3D Dual, и Trimble MX9), система картографирования Topcon RD-M1 имеет один лидар.

Последовательность обработки данных точек лазерных отражений при определении продольной ровности можно разделить на три этапа:

1-й этап: сбор и формирование массива данных облака точек МЛС;

2-й этап: подготовка данных облака точек к формированию микропрофиля;

3-й этап: формирование микропрофиля для расчета продольной ровности покрытия автомобильных дорог на базе международного индекса ровности IRI и других параметров продольной ровности.

Рассмотрим более подробно этап сбора и формирования массива данных мобильного сканирования. Как уже отмечалось выше каждая из мобильных картографических и лазерных систем проводит сбор данных во внутренних форматах и специализированном ПО. Далее

полученные данные обрабатываются, выводится траектория движения инерциальной системы с учетом информации от постояннодействующих базовых станций и данных спутникового наблюдения (спутниковые эфемериды). В процессе вычисления и создания траектории движения мобильной дорожной лаборатории (инерциальной системы картографирования) проводится контроль точности исходной траектории. На этом же этапе при камеральной обработке данных МЛС проводят формирование облаков ТЛО, которое включает в себя генерацию облаков из внутренних форматов системы мобильного лазерного сканирования в открытые форматы (LAS, LAZ, TXT, CSV, XYZ, LPC и др.) и их привязку к контрольным точкам. В соответствии с положениями [4] на покрытии исследуемых участков сопоставительных испытаний были нанесены метки (контрольные точки), в которых было проведено измерение высотных отметок нивелиром и нивелирной рейкой. Верификация полученных данных точек лазерных отражений осуществлялась на соответствие требованиям [6].

На втором этапе обработки была проведена классификация облаков точек лазерных отражений в соответствии с таблицей 2 [6]. Для дальнейшей обработки использовались данные точек лазерных отражений, относящиеся к классам от 1 до 4. Все остальные данные облака точек не учитывались. Данная операция может быть проведена с применением любого ПО, позволяющего проводить классификацию в автоматическом режиме. В рамках первого и второго этапов обработки данных МЛС применялось универсальное ПО «Trimble Business Center Mobile Mapping Bundle», «Terrasolid и «Bentley OpenRoads Designer» [9–12].

Для унификации подхода обработки данных МЛС в рамках формирования микропрофиля покрытия, собранных с использованием различных сканирующих систем, и создания универсального алгоритма обработки всех типов данных был проведен анализ различных вариантов данных точек лазерного сканирования.

При работе с данными МЛС некоторые подготовительные процессы проводились в Terrasolid [9] и «Bentley OpenRoads Designer [12] с выводом данных в формате .txt. Далее текстовые данные обрабатывались при помощи стандартного инструментария Excel (Microsoft Office).

Третий этап обработки данных МЛС для вычисления микропрофиля включал следующую последовательность операций:

1. Формирование в облаке точек лазерных отражений полос различной ширины (100 мм, 200 мм, 400 мм). Указанные полосы были сформированы по правой полосе наката с осью вдоль меток на максимальных и средних уровнях настройки для каждого типа систем МЛС (AlphaUni 20, Alpha3D Dual, Topcon RD-M1 и Trimble MX9), на различных скоростях движения (40 км/ч, 60 км/ч и 80 км/ч). Полученный массив данных был переведен в формат .txt.
2. Разбивка каждой из полученных полос (для каждой ширины) на участки длиной по 100 м.
3. Переход от 3-мерной декартовой системы координат (x, y, z) к 2-мерной криволинейной системе координат (длина (l), ордината (z)) с формированием 2-х столбцевого массива (l, z-zmin).
4. Формирование прямоугольных сегментов массива по длине (вдоль меток) с выбранным постоянным шагом. Проводилась оценка сегментов массива различной длины: 125 мм, 250 мм, 375 мм.
5. Расчет усреднённого значения массива по высоте (оси Z) для каждого из сегментов, полученных на предыдущей операции.
6. Нормализация двухмерной системы координат массива для каждого из сегментов, с учётом нулевых значений ординат на концах участков, для которых определяется продольная ровность.

7. Расчет сформированного массива данных в ПО для расчета значений международного индекса ровности IRI и других параметров продольной ровности.
8. Сравнение показателей международного индекса ровности IRI, полученного на основании данных МЛС с показателями международного индекса ровности IRI, полученного на основании данных нивелировки.

### Формирование требований к сбору данных мобильного лазерного сканирования

С целью определения влияния указанных выше параметров настроек сканирующих систем, движения дорожных лабораторий, а также обработки данных МЛС, на точность определения микропрофиля покрытия автомобильной дороги, был выполнен расчет по указанной выше предварительной методике с фиксацией всех переменных и изменением значения параметра скорости движения.

Определим требования к настройке систем мобильного картографирования, данные которых, в дальнейшем будут использоваться для определения значений микропрофиля поверхности покрытия автомобильной дороги [13]. При проведении сопоставительных испытаний системы МЛС AlphaUni 20 и Trimble MX9 проводили сбор данных на двух видах настроек — средние и максимальные. Использование средних настроек уменьшает количество ТЛО, но позволяет измерять большую ширину поперечного створа дороги, что необходимо при проведении диагностики. Анализ влияния настроек на плотность данных ТЛО был проведен только для системы мобильного картографирования Trimble MX9.

Использование средних настроек с более низкой частотой измерения, уменьшает плотность точек в среднем на треть, что видно из таблицы 1.

Таблица 1

Сравнение плотности точек для системы Trimble MX9 при разных настройках съемки для скорости 60 км/ч

Интервал	Кол-во точек при средних настройках	Кол-во точек при макс. настройках	Значение IRI при средних настройках	Значение IRI при макс. настройках	Разница с нивелиром при средних настройках	Разница с нивелиром при макс. настройках
0–100	27 670	41 701	5,4	5,4	-1 %	-1 %
100–200	28 422	42 756	9,6	9,6	-4 %	-4 %
200–300	30 318	43 538	7,1	7,0	0 %	2 %
300–400	27 801	42 873	5,0	4,9	-2 %	0 %
400–500	26 368	41 474	6,5	6,5	0 %	0 %
500–600	26 614	43 314	6,1	6,1	2 %	1 %
600–700	30 373	42 936	4,3	4,3	17 %	17 %
700–800	29 384	44 158	5,1	5,1	-5 %	-4 %
800–900	29 797	48 224	4,6	4,7	0 %	-3 %
900–1000	33 715	49 380	4,1	4,2	3 %	1 %

Составлено авторами

Анализ данных плотности ТЛО в зависимости от настроек системы мобильного картографирования Trimble MX9 показал, что настройки для данной системы не оказывают значительного влияния на параметры значений микропрофиля, которые используются для расчета международного показателя ровности (IRI).

Учитывая то обстоятельство, что такие системы мобильного картографирования как Alpha3D-L Dual и Topcon RD-M1 обеспечивают сбор данных только при одном режиме настроек, в рамках данного исследования при построении микропрофиля поверхности

проезжей части для AlphaUni 20 и Trimble MX9 будут использоваться данные, полученные при максимальных настройках.

Следующим параметром, который в значительной степени влияет на плотность данных МЛС, и соответственно на значения микропрофиля, вычисленного на основе данных ТЛО, является скорость проведения измерений. Определение влияния скорости проводилось для полос облака точек шириной 100 мм. На основании полученных данных при проведении полевых работ было определено среднее количество точек, для каждого из 100-метровых участков в нескольких режимах измерений. Расчет и анализ данных были проведены для четырех систем МЛС. Предельным значением отклонения был выбран порог 10 % в соответствии с требованиями к профилометрам второго класса точности, указанном в Приложении Б [14].

Для оценки влияния скорости на количество точек в облаке рассмотрим подробно данные МЛС Trimble MX9, полученные на 4-х скоростях движения (20 км/ч, 40 км/час, 60 км/час и 80 км/час), для которых были рассчитаны значения международного индекса ровности IRI по 100 метровым участкам с шагом 250 мм на максимальных настройках. Данные МЛС были подготовлены по методике, указанной выше в рамках третьего этапа камеральной обработки. Указанный шаг сегмента соответствовал шагу измерений при нивелировке. Вычисленные на базе данных ТЛО системы Trimble MX9 значения международного индекса ровности IRI сравнивались с эталонными значениями международного индекса ровности IRI, который был получен при нивелировке того же участка [15]. Результаты количества точек, полученных для четырех скоростей МЛС Trimble MX9, и результаты сравнения полученных значений IRI приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Влияние скорости движения на количество ТЛО для системы Trimble MX9 (20 км/ч и 40 км/ч)

Участки	Значение IRI по нивелиру	Скорость 20 км/ч			Скорость 40 км/ч		
		кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 4 к ст. 2) %	кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 8 к ст. 2) %
1	2	3	4	5	6	7	8
0–100	5,33	119 144	5,29	1 %	61 470	5,39	-1 %
100–200	9,24	117 135	9,35	-1 %	64 232	9,54	-3 %
200–300	7,15	118 537	7,01	2 %	69 475	7,04	2 %
300–400	4,87	125 905	4,75	2 %	69 073	4,91	-1 %
400–500	6,49	123 877	6,30	3 %	59 651	6,57	-1 %
500–600	6,21	157 905	6,03	3 %	62 486	6,02	3 %
600–700	5,10	125 976	4,13	19 %	65 085	4,34	15 %
700–800	4,89	127 648	4,82	1 %	65 275	4,93	-1 %
800–900	4,59	128 969	4,42	4 %	68 517	4,62	-1 %
900–1000	4,25	131 538	4,06	4 %	70 302	4,16	2 %

Составлено авторами

Как видно из таблиц 2 и 3 на 9 из 10 стометровых участках отклонения показателей международного индекса продольной ровности IRI, полученных с использованием данных МЛС по сравнению с данными международного индекса продольной ровности IRI, полученными с использованием данных нивелира находятся в допустимых пределах < 10 %. Для всех скоростей движения только на участке 600–700 м выявлено существенное отклонение от значений нивелировки (15–20 %). Возможно, что данное отклонение обусловлено характером рельефа на данном стометровом участке (уклон вниз 40 % по ходу движения). Кроме того, отмечено отклонение более 10 % для скорости 80 км/ч на участке 800–900 м, что вызвано

недостаточным количеством точек, необходимым для усреднения значений высотных отметок микропрофиля.

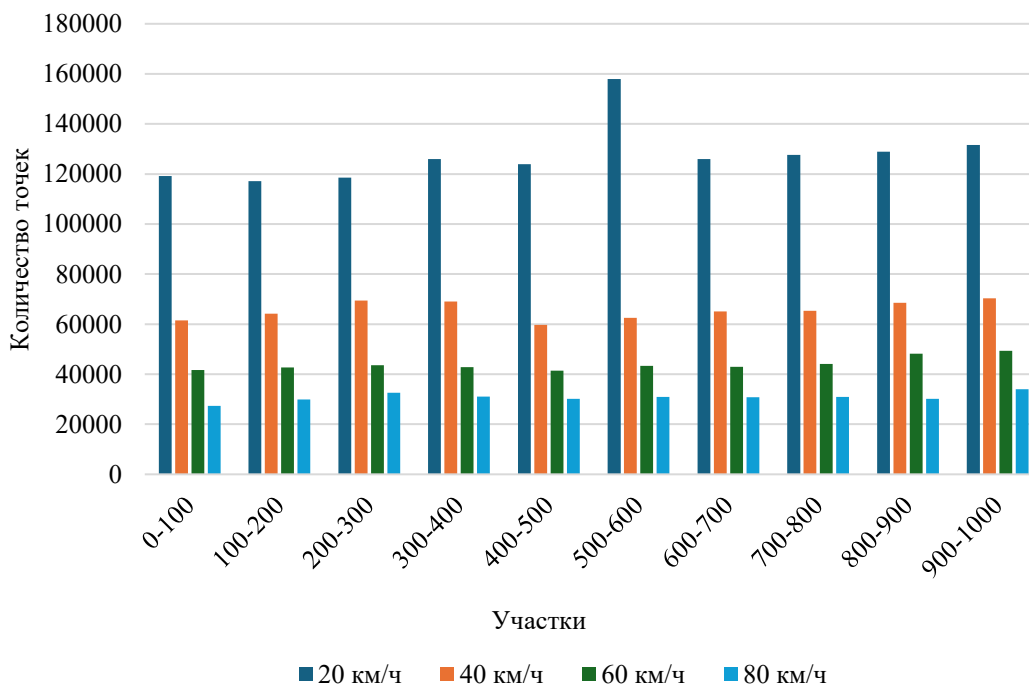
Таблица 3

**Влияние скорости движения на количество ТЛО для системы Trimble MX9 (60 км/ч и 80 км/ч)**

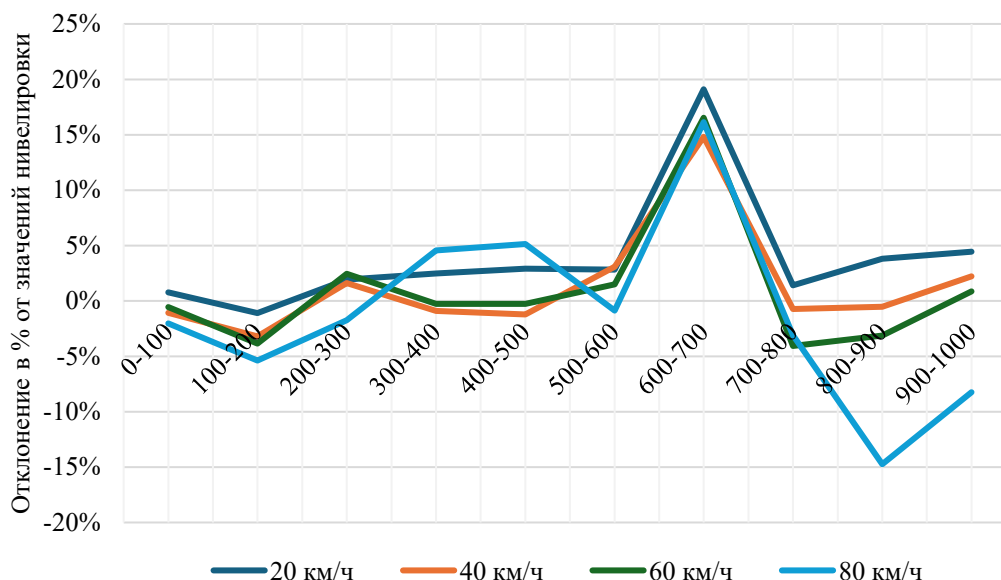
Участки	Значение IRI по нивелиру	Скорость 60 км/ч			Скорость 80 км/ч		
		кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 4 к ст. 2) %	кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 8 к ст. 2) %
1	2	3	4	5	6	7	8
0–100	5,33	41 701	5,36	-1 %	27 357	5,44	-2 %
100–200	9,24	42 756	9,60	-4 %	29 875	9,74	-5 %
200–300	7,15	43 538	6,98	2 %	32 644	7,28	-2 %
300–400	4,87	42 873	4,88	0 %	31 084	4,64	5 %
400–500	6,49	41 474	6,50	0 %	30 198	6,15	5 %
500–600	6,21	43 314	6,12	1 %	30 981	6,26	-1 %
600–700	5,10	42 936	4,26	<b>17 %</b>	30 818	4,28	<b>16 %</b>
700–800	4,89	44 158	5,09	-4 %	30 895	5,04	-3 %
800–900	4,59	48 224	4,74	-3 %	30 135	5,27	<b>-15 %</b>
900–1000	4,25	49 380	4,21	1 %	33 974	4,60	-8 %

Составлено авторами

Исходя из анализа полученных результатов, общее количество точек для 100-метровых отрезков изменялось в среднем в 4 раза. При этом максимальный разлет составлял практически 6 раз и значения колебались от практически 158 000 точек на 20 км/ч до 27 357 точек на 80 км/ч. Наблюдается четкая зависимость уменьшения количества точек с увеличением скорости. В графическом виде информация о количестве точек для 100 метровых участков приведена на рисунке 2. Результаты отклонения между значениями показателя IRI полученных МЛС Trimble MX9 от значений, полученных при нивелировке участка показаны на рисунке 3.



**Рисунок 2.** Изменение количества ТЛО в зависимости от скорости движения дорожной лаборатории (Trimble MX9) (составлено авторами)



**Рисунок 3.** Диаграмма отклонений показателя международного индекса ровности IRI для 4-х скоростей движения дорожной лаборатории (Trimble MX9) (составлено авторами)

Для МЛС Alpha3D-L Dual были получены данные на 4-х скоростях движения (20 км/ч, 40 км/час, 60 км/час и 80 км/час). Данные по количеству точек представлены в таблицах 4 и 5.

**Таблица 4**

**Влияние скорости движения на количество ТЛО для системы Alpha3D-L Dual (20 км/ч и 40 км/ч)**

Участки	Значение IRI по нивелиру	Скорость 20 км/ч			Скорость 40 км/ч		
		кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 4 к ст. 2) %	кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 8 к ст. 2) %
1	2	3	4	5	6	7	8
0–100	5,33	47 664	5,44	-2 %	27 122	5,59	-5 %
100–200	9,24	46 127	9,58	-4 %	25 148	9,87	-7 %
200–300	7,15	44 543	7,19	-1 %	22 196	7,28	-2 %
300–400	4,87	44 128	5,04	-3 %	27 555	5,37	-10 %
400–500	6,49	40 708	6,86	-6 %	26 407	6,75	-4 %
500–600	6,21	42 691	6,29	-1 %	27 037	6,45	-4 %
600–700	5,10	41 972	4,66	9 %	25 904	4,71	8 %
700–800	4,89	46 692	4,92	-1 %	29 050	5,00	-2 %
800–900	4,59	51 698	4,64	-1 %	28 459	4,74	-3 %
900–1000	4,25	51 199	4,10	4 %	28 838	4,22	1 %

Составлено авторами

Как видно из таблиц 4 и 5 для скоростей 20 и 40 км/ч отклонения находятся в допустимых пределах < 10 %, для скорости 60 км/ч на 4 участках отклонения превышают 10 %, а для скорости 80 км/ч на всех участках отклонения превышают допустимый предел в 10 %. Отклонения более 10 % для скорости 80 км/ч вызваны недостаточным количеством точек, необходимым для усреднения значений высотных отметок микропрофиля.

Наблюдается четкая зависимость уменьшения количества точек с увеличением скорости, средняя разница между значением количества точек для 20 и 80 км час примерно 4 раза (40 000 и 10 000). При этом максимальное отклонение составляло 4,9 раз. Результаты отклонения

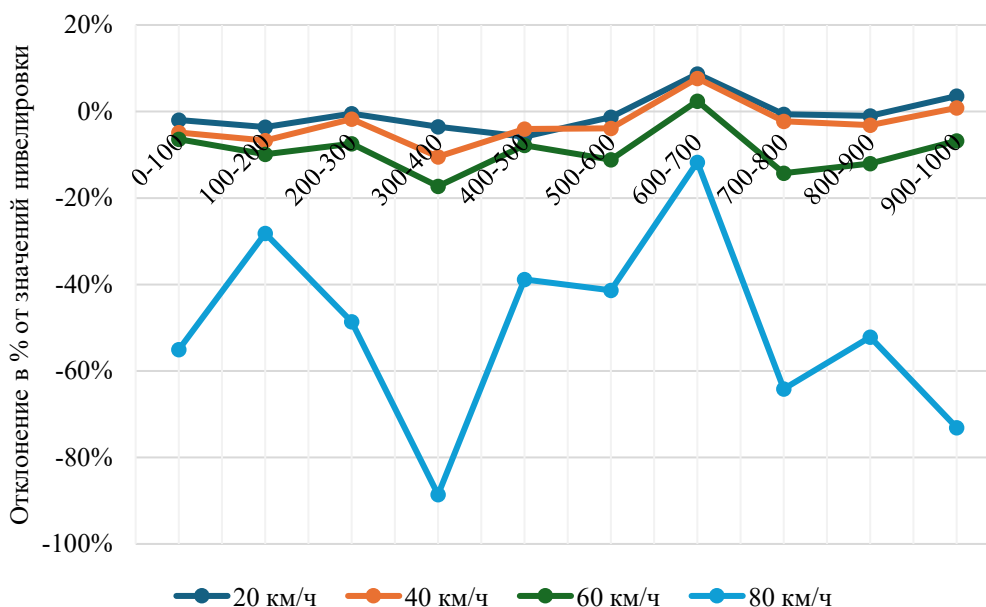
между значениями показателя IRI полученных МЛС Alpha3D-L Dual от значений, полученных при нивелировке участка показаны на рисунке 4.

Таблица 5

**Влияние скорости движения на количество ТЛО для системы Alpha3D-L Dual (60 км/ч и 80 км/ч)**

Участки	Значение IRI по нивелиру	Скорость 60 км/ч			Скорость 80 км/ч		
		кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 4 к ст. 2) %	кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 8 к ст. 2) %
1	2	3	4	5	6	7	8
0–100	5,33	18 814	5,67	-6 %	11 796	8,27	-55 %
100–200	9,24	18 333	10,16	-10 %	11 390	11,85	-28 %
200–300	7,15	16 133	7,69	-7 %	10 802	10,63	-49 %
300–400	4,87	15 990	5,71	-17 %	11 227	9,18	-89 %
400–500	6,49	16 362	6,99	-8 %	11 446	9,00	-39 %
500–600	6,21	16 204	6,90	-11 %	11 015	8,78	-41 %
600–700	5,10	15 681	4,98	2 %	10 900	5,70	-12 %
700–800	4,89	15 279	5,59	-14 %	11 340	8,03	-64 %
800–900	4,59	19 399	5,15	-12 %	10 473	6,99	-52 %
900–1000	4,25	18 874	4,54	-7 %	11 650	7,36	-73 %

Составлено авторами



**Рисунок 4.** Диаграмма отклонений показателя международного индекса ровности IRI для 4-х скоростей движения дорожной лаборатории (Alpha3D-L Dual) (составлено авторами)

Для МЛС AlphaUni 20 были получены данные на 3-х скоростях движения (40 км/час, 60 км/час и 80 км/час). Данные по количеству точек представлены в таблицах 6 и 7.

Как видно из таблиц 6 и 7 для скорости 40 км/ч отклонения находятся в допустимом пределе < 10 % кроме участка 600–700; для скорости 60 км/ч превышают предел отклонений значения на участках 600–700 и 900–1 000; для скорости 80 км/ч — 3 участка вне предела. Для системы картографирования AlphaUni 20 можно сделать ввод о том, что с увеличением скорости движения увеличивается количество участков, на которых наблюдаются отклонения от допустимых пределов значений индекса международной ровности.

Таблица 6

Влияние скорости движения на количество  
ТЛО для системы AlphaUni 20 (40 км/ч и 60 км/ч)

Участки	Значение IRI по нивелиру	Скорость 40 км/ч			Скорость 60 км/ч		
		кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 4 к ст. 2) %	кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 8 к ст. 2) %
1	2	3	4	5	6	7	8
0–100	5,33	64 098	5,39	-1 %	43 546	5,54	5 %
100–200	9,24	65 114	9,54	-3 %	47 491	9,59	0 %
200–300	7,15	69 746	7,04	2 %	45 882	7,24	3 %
300–400	4,87	71 164	4,91	-1 %	46 093	5,22	6 %
400–500	6,49	64 962	6,57	-1 %	39 842	6,83	5 %
500–600	6,21	51 440	6,02	3 %	35 563	6,31	7 %
600–700	5,10	57 798	4,34	15 %	37 788	4,52	16 %
700–800	4,89	53 750	4,93	-1 %	34 274	5,15	8 %
800–900	4,59	52 025	4,62	-1 %	34 271	4,89	8 %
900–1000	4,25	47 729	4,16	2 %	34 615	4,51	15 %

Составлено авторами

Таблица 7

Влияние скорости движения на количество ТЛО для системы AlphaUni 20 (80 км/ч)

Участки	Значение IRI по нивелиру	Скорость 80 км/ч		
		кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 4 к ст. 2) %
1	2	3	4	5
0–100	5,33	33 414	5,45	-2 %
100–200	9,24	31 846	9,67	-5 %
200–300	7,15	34 692	7,83	-9 %
300–400	4,87	36 853	5,36	-10 %
400–500	6,49	30 696	7,33	-13 %
500–600	6,21	28 670	6,30	-1 %
600–700	5,10	24 256	6,99	-37 %
700–800	4,89	26 616	5,42	-11 %
800–900	4,59	29 120	4,92	-7 %
900–1000	4,25	33 537	4,46	-5 %

Составлено авторами

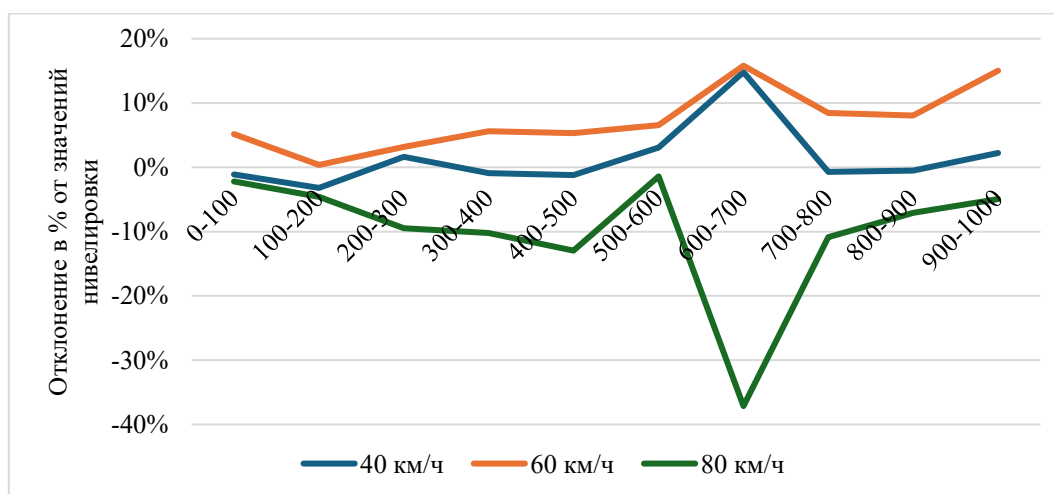


Рисунок 5. Диаграмма отклонений показателя международного индекса ровности IRI для 3-х скоростей движения дорожной лаборатории (AlphaUni 20) (составлено авторами)

Наблюдается четкая зависимость уменьшения количества точек с увеличением скорости, средняя разница между значением количества точек для 40 и 80 км час примерно в 2 раза (60 000 и 30 000). Результаты отклонения между значениями показателя IRI полученных МЛС AlphaUni 20 от значений, полученных при нивелировке участка показаны на рисунке 5.

Для МЛС Topcon RD-M1 были получены данные на 3-х скоростях движения (40 км/час, 60 км/час и 80 км/час). Данные по количеству точек представлены в таблицах 8 и 9.

**Таблица 8**

**Влияние скорости движения на количество ТЛО для системы Topcon RD-M1 (40 км/ч и 60 км/ч)**

Участки	Значение IRI по нивелиру	Скорость 40 км/ч			Скорость 60 км/ч		
		кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 4 к ст. 2) %	кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 8 к ст. 2) %
1	2	3	4	5	6	7	8
0–100	5,33	10 352	4,83	9 %	6 100	5,05	5 %
100–200	9,24	11 479	8,84	4 %	6 293	9,21	0 %
200–300	7,15	12 709	6,49	9 %	6 514	6,93	3 %
300–400	4,87	12 943	4,32	11 %	7 241	4,59	6 %
400–500	6,49	12 525	5,64	13 %	7 153	6,14	5 %
500–600	6,21	11 667	5,89	5 %	6 975	5,80	7 %
600–700	5,10	11 267	4,33	15 %	7 037	4,29	16 %
700–800	4,89	12 260	4,48	8 %	8 177	4,48	8 %
800–900	4,59	13 081	4,18	9 %	8 155	4,22	8 %
900–1000	4,25	12 965	3,96	7 %	7 285	3,61	15 %

Составлено авторами

**Таблица 9**

**Сравнение плотности точек для системы Topcon RD-M1 (80 км/ч)**

Участки	Значение IRI по нивелиру	Скорость 80 км/ч		
		Кол-во точек	IRI на базе ТЛО	отклонения от нивелира (отношение ст. 4 к ст. 2) %
1	2	3	4	5
0–100	5,33	5 204	5,34	0 %
100–200	9,24	5 927	9,16	0 %
200–300	7,15	5 244	6,75	5 %
300–400	4,87	5 730	4,74	3 %
400–500	6,49	5 285	6,44	0 %
500–600	6,21	5 384	6,00	4 %
600–700	5,10	5 453	4,66	8 %
700–800	4,89	5 906	4,76	1 %
800–900	4,59	6 994	4,37	5 %
900–1000	4,25	6 584	3,88	8 %

Составлено авторами

Наблюдается четкая зависимость уменьшения количества точек с увеличением скорости, при этом средняя разница между значением количества точек для 40 и 80 км час — 2 раза (10 000 и 5 000). Кроме того, на скоростях 60 км/ч и 80 км/ч было установлено, что количества ТЛО не хватает для усреднения значений для шага 0,25 м, при этом минимальные отклонения отмечены на скорости 80 км/ч. Это может быть обусловлено тем, что система картографирования Topcon RD-M1 имеет один лидар, а также особенностями её работы и методики сбора и предварительной обработке данных в линейке программного обеспечения компании «Topcon Positioning Systems, Inc.».

Анализ значений международного индекса продольной ровности IRI, полученных при съемке на разных скоростях движения дорожных лабораторий, оборудованных различными системами мобильного картографирования в сравнении со значениями IRI, полученных при нивелировке показал, что:

- для МЛС Trimble MX9 можно проводить съемку на всех скоростях в диапазоне 20–80 км/ч;
- для МЛС Alpha3D-L Dual максимальная скорость движения лаборатории для съемки составляет не более 60 км/ч;
- для МЛС AlphaUni 20 максимальная скорость движения лаборатории для съемки составляет не более 60 км/ч;
- для МЛС Topcon RD-M1 можно проводить съемку на скоростях 60–80 км/ч;

Кроме того, исходя из требований по безопасности проведения работ по съемки для скоростей движения 20 км/ч и 40 км/ч необходима расстановка знаков и обеспечение машины прикрытия.

Учитывая данное обстоятельство в рамках определения параметров методики сбора данных МЛС для формирования микропрофиля с последующим определением международного индекса продольной ровности IRI, а также учитывая скоростной режим движения на дорогах общего пользования (с учетом обеспечения безопасности) максимальная скорость движения лабораторий, оборудованных системами картографирования не должна превышать 60 км/ч.

### Выводы

На основании проведенных расчетов и анализа данных ТЛО, собранных с использованием таких систем мобильного картографирования как Trimble MX9, Alpha3D-L Dual, AlphaUni 20, Topcon RD-M1 можно сделать следующие выводы:

- При проведении полевых работ с применением мобильных картографических систем лазерного сканирования предпочтительней использовать максимальные настройки оборудования. Для определения более точных требований к частоте измерений сканирующих систем необходимо проведение дополнительных исследований с привлечением максимального количества систем МЛС, используемых в дорожном хозяйстве.
- По результатам расчетов, рекомендованная скорость проведения измерений составляет 60 км/ч, с учетом получения плотности ТЛО требуемой для расчёта микропрофиля покрытия проезжей части и обеспечения безопасности дорожного движения.
- Предварительная методика обработки данных МЛС при расчете микропрофиля покрытия автомобильной дороги и последующего расчета международного индекса продольной ровности IRI показала удовлетворительные результаты при сравнении различных параметров проведения полевых работ по сбору данных ТЛО.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сарычев, Д.С. САПР и ГИС автомобильных дорог / Д.С. Сарычев // САПР и ГИС автомобильных дорог. — 2013. — № 1. — С. 6–9. — URL: <https://www.cadgis.ru/2013/1/01>. — DOI: [10.17273/CADGIS.2013.1.1](https://doi.org/10.17273/CADGIS.2013.1.1). — EDN: [RZKNPJ](https://www.edn.net/RZKNPJ). (дата обращения: 12.12.2025).

2. Гребенюк, Е.А. Обработка данных в процессе мобильного лазерного сканирования городских дорог / Е.А. Гребенюк, С.И. Ротков // Автоматизация в промышленности. — 2024. — № 1. — URL: <https://search.rads-doi.org/project/13974/object/204195>. — DOI: [10.25728/avtprom.2024.01.09](https://doi.org/10.25728/avtprom.2024.01.09). — EDN: [OTJKJM](https://www.edn.net/OTJKJM). (дата обращения: 12.12.2025).
3. Позняк, И.И. Рекомендации по определению ровности автомобильных дорог при диагностике / И.И. Позняк, А.А. Неретин // Проектирование автомобильных дорог: сборник докладов 81-й Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. — 2023. — С. 96–100. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54702849>. — EDN: [YKRRDL](https://www.edn.net/YKRRDL). (дата обращения: 12.12.2025).
4. Позняк, И.И. Сопоставительные измерения микропрофиля поверхности покрытия проезжей части автомобильных дорог / И.И. Позняк, А.А. Неретин, А.П. Семешова // Проектирование автомобильных дорог: сборник докладов 80-й Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. — 2023. — С. 46–53. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49054985>. (дата обращения: 12.12.2025).
5. Миронюк, В.П. Сопоставительные испытания систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий / В.П. Миронюк, Р.А. Еремин, А.О. Кузнецов // Дороги и мосты: сб. науч. тр. / ФАУ "РОСДОРНИИ". — Москва: ФАУ "РОСДОРНИИ", 2020. — Вып. 43/1. — С. 25–48. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45628851>. — EDN: [AQPOVE](https://www.edn.net/AQPOVE). (дата обращения: 12.12.2025).
6. Конорев, А.С. Проведение исследования способов определения микропрофиля дорожного покрытия на основе результатов сопоставительных испытаний / А.С. Конорев, С.А. Мирончук, В.А. Думенко, А.Б. Волков // Дороги и мосты: сб. науч. тр. / ФАУ "РОСДОРНИИ". — Москва: ФАУ "РОСДОРНИИ", 2025. — Вып. 54/2. — С. 78–91. — URL: <https://rosdornii.ru/dim/54-vypusk/provedenie-issledovaniya-sposobov-opredeleniya-mikroprofilya-dorozhnogo-pokrytiya-na-osnove-rezultat/>. — DOI: [10.70991/1815-896X-2025-2-54-78-91](https://doi.org/10.70991/1815-896X-2025-2-54-78-91). — EDN: [FFKCXE](https://www.edn.net/FFKCXE). (дата обращения: 12.12.2025).
7. Кузнецов, А.О. Использование сетей постоянно действующих референчных станций для создания цифровой модели автомобильных дорог / А.О. Кузнецов, Е.В. Любимов // Дороги и мосты: сб. науч. тр. / ФАУ "РОСДОРНИИ". — Москва: ФАУ "РОСДОРНИИ", 2020. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46505710>. — EDN: [USGTZM](https://www.edn.net/USGTZM). (дата обращения: 12.12.2025).
8. Миронюк, В.П. О формировании требований по выполнению лазерного сканирования автомобильных дорог / В.П. Миронюк, А.О. Кузнецов, В.В. Шахназарян // Дороги и мосты: сб. науч. тр. / ФАУ "РОСДОРНИИ". — Москва: ФАУ "РОСДОРНИИ", 2023. — Вып. 49/1. — С. 54–82. — URL: <https://rosdornii.ru/dim/49-vypusk/o-formirovanii-trebovaniy-po-vypolneniyu-lazernogo-skanirovaniya-avtomobilnykh-dorog/>. (дата обращения: 12.12.2025).
9. Zhu H., Li Y., Li F., Wu D., Du Y., Gao Z. Enhanced Full-Section Pavement Rutting Detection via Structured Light and Texture-Aware Point-Cloud Registration / H. Zhu, Y. Li, F. Li [et al.] // Applied Sciences. — 2025. — Vol. 15, No. 20. — Art. 11283. — URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/6/2473>. — DOI: [10.3390/app152011283](https://doi.org/10.3390/app152011283). — EDN: [BCEMJY](https://www.edn.net/BCEMJY). (дата обращения: 12.12.2025).

10. Shtayat A., Obaidat M.T., Al-Mistarehi B., Bader A., Moridpour S., Alahmad S. Optimizing Road Pavement Assessment Using Advanced Image Processing Techniques / A. Shtayat, M.T. Obaidat, B. Al-Mistarehi [et al.] // Sustainability. — 2025. — Vol. 17, No. 6. — Art. 2473. — URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/6/2473>. — DOI: [10.3390/su17062473](https://doi.org/10.3390/su17062473). — EDN: [PZMFBX](https://www.edn.net/PZMFBX). (дата обращения: 12.12.2025).
11. Youssef G.M., Alnanih R.A., Elrefaei L.A., Abdel-Ghaffar E.A. An Autoencoder Based Deep Compression Framework for LiDAR Data in LAS Format / G.M. Youssef, R.A. Alnanih, L.A. Elrefaei, E.A. Abdel-Ghaffar // IEEE Access. — 2023. — Vol. 11. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11272053>. — DOI: [10.1109/ACCESS.2023.33639511](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.33639511). (дата обращения: 12.12.2025).
12. Гура, Д.А. К вопросу выделения уровня земли из облака точек с применением современного специализированного программного обеспечения / Д.А. Гура, Р.А. Дьяченко, А.В. Андрющенко, В.А. Арутюнян // Научные труды КубГТУ. — 2023. — № 3. — С. 106–119. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54156090>. — EDN: [EPXIUO](https://www.edn.net/EPXIUO). (дата обращения: 12.12.2025).
13. Сравнение методов классификации облаков точек, полученных с помощью технологии lidar / А.А. Федорова, Д.Д. Нурлыева, А.С. Желанкина [и др.] // Искусственный интеллект в автоматизированных системах управления и обработки данных: сборник статей Всероссийской научной конференции (Москва, 27–28 апреля 2022 г.): в 2 т. — Т. 1. — Москва: МГТУ имени Н.Э. Баумана (НИУ), 2022. — С. 262–267. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49207599&ysclid=mkv2icw1y9365369449>. (дата обращения: 12.12.2025).
14. Laasch H., Medic T., Wieser A. Automatic in-situ radiometric calibration for mobile laser scanning: Compensating for distance and angle of incidence effects / H. Laasch, T. Medic, A. Wieser // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. — 2025. — Vol. XLVIII-G-2025. — P. 845–852. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=84878136>. — DOI: [10.5194/isprs-archives-XLVIII-G-2025-845-2025](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-G-2025-845-2025). — EDN: [NIJOIA](https://www.edn.net/NIJOIA). (дата обращения: 12.12.2025).
15. Shatnawi N., Obaidat M. T., Al-Mistarehi B. Road pavement rut detection using mobile and static terrestrial laser scanning / N. Shatnawi, M.T. Obaidat, B. Al-Mistarehi // Applied Geomatics. — 2021. — Vol. 13. — P. 901–911. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-021-00400-4>. — DOI: [10.1007/s12518-021-00400-4](https://doi.org/10.1007/s12518-021-00400-4). — EDN: [WOCVJE](https://www.edn.net/WOCVJE). (дата обращения: 12.12.2025).

**Konorev Alexander Sergeevich**

FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia  
E-mail: [konorev@rosdornii.ru](mailto:konorev@rosdornii.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1052-0260>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=807191](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=807191)

**Mironyuk Vitaly Petrovich**

FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia  
E-mail: [mironyuk@rosdornii.ru](mailto:mironyuk@rosdornii.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4862-7424>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=384816](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=384816)

**Mironchuk Sergei Aleksandrovich**

FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia  
E-mail: [mironchuk@rosdornii.ru](mailto:mironchuk@rosdornii.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0312-424X>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=820416](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=820416)

**Volkov Aleksandr Borisovich**

FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia  
E-mail: [volkov@rosdornii.ru](mailto:volkov@rosdornii.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1777-0303>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1204997](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1204997)

**Alymov Aleksandr Aleksanrovich**

FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia  
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia  
E-mail: [alymovaa@rosdornii.ru](mailto:alymovaa@rosdornii.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9058-1973>

## Formulation of requirements for collecting mobile laser scanning data when obtaining a microprofile to determine the IRI indicator

**Abstract.** This article examines the requirements for collecting data obtained using mobile laser scanning systems to develop a methodology for calculating the ordinates of the road surface microprofile and the IRI. Comparative tests of four mobile laser scanning systems were used to obtain and analyze the required data collection parameters. Parameters that significantly affect the density of laser reflection points and the microprofile calculation results were identified. To evaluate the mobile laser scanning measurement results for different survey settings at different travel speeds, a preliminary methodology for collecting and processing TLO data for calculating the road surface microprofile and subsequently calculating the international longitudinal smoothness index was developed. Based on the obtained microprofile and the IRI calculation results for four mobile laser scanning systems, an analysis of the influence of mobile laser scanning survey settings and an assessment of the influence of speed on the number of laser reflection points and the accuracy of measurements were performed. The International Roughness Index (IRI) values calculated using laser reflection data were compared with the reference IRI values obtained during leveling of the same section. Based on the calculation results, the recommended measurement speed was determined, and the effectiveness of the developed preliminary method for processing mobile laser scanning data was confirmed.

**Keywords:** road surface; longitudinal smoothness; microprofile; International Roughness Index (IRI); mobile laser scanning; point density; laser reflection points