
РЕМОНТ И СОДЕРЖАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Научная статья

УДК 625.7.03:531.1:004.9

DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-51-72

EDN: DLXRDH



**РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ К ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ
МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ
ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МИКРОПРОФИЛЯ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДЕКСА РОВНОСТИ IRI**

**Александр Сергеевич Конорев¹
Виталий Петрович Миронюк²
Сергей Александрович Мирончук³
Александр Борисович Волков⁴✉
Александр Александрович Алымов⁵**

^{1,2,3,4}Российский дорожный научно-исследовательский институт
(ФАУ «РОСДОРНИИ»), Москва, Россия

¹konorev@rosdornii.ru

SPIN-код: 7240-7371; ORCID 0009-0007-1052-0260

²mironiuk@rosdornii.ru

³mironchuk@rosdornii.ru, SPIN-код: 5501-4190✉

⁴volkov@rosdornii.ru

⁵alymovaa@rosdornii.ru

Аннотация: В статье рассматривается методика сбора и обработки данных точек лазерных отражений (ТЛО) при расчете микропрофиля покрытия автомобильной дороги и последующего расчета международного индекса продольной ровности IRI. Кроме того, определены рекомендации к обработке данных мобильного лазерного сканирования (МЛС) для формирования микропрофиля покрытия автомобильной дороги. Рекомендации камеральной обработки данных ТЛО установлены к ширине полосы и длине сегментов, которые должны быть сформированы из общего облака ТЛО для последующего преобразования и расчетов значений микропрофиля покрытия автомобильной дороги.

Ключевые слова: дорожное покрытие, продольная ровность, микропрофиль, международный индекс ровности (IRI), мобильное лазерное сканирование, плотность точек, точки лазерных отражений.

Для цитирования: Конорев А.С., Миронюк В.П., Мирончук С.А., Волков А.Б., Алымов А.А. Разработка рекомендаций к обработке данных мобильного лазерного сканирования при получении микропрофиля для определения индекса ровности IRI // Дороги и мосты. 2026. № 55/1. С. 51-72. DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-51-72.

ROAD REPAIR AND MAINTENANCE

Original article

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR PROCESSING MOBILE LASER SCANNING DATA WHEN OBTAINING A MICROPROFILE TO DETERMINE THE ROUGHNESS INDEX IRI

Alexander S. Konorev¹

Vitaly P. Mironyuk²

Sergey A. Mironchuk³

Alexander B. Volkov⁴✉

Alexander A. Alymov⁵

^{1, 2, 3, 4}Russian Road Scientific Research Institute
(FAI «ROSDORNII»), Moscow, Russia

¹konorev@rosdornii.ru

SPIN: 7240-7371; ORCID 0009-0007-1052-0260

²mironiuk@rosdornii.ru

³mironchuk@rosdornii.ru, SPIN: 5501-4190

⁴volkov@rosdornii.ru✉

⁵alymovaa@rosdornii.ru

Abstract: *This article discusses a methodology for collecting and processing laser reflection point (LRP) data for calculating the microprofile of a road surface and subsequently calculating the International Longitudinal Roughness Index (IRI). Furthermore, the recommendations for processing mobile laser scanning (MLS) data to generate a microprofile of a road surface are outlined. Recommendations for office processing of LRP data are set for the strip width and segment*

length that should be generated from the overall LRP cloud for subsequent conversion and calculation of road surface microprofile values.

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

For citation: Konorev A.S., Mironyuk V.P., Mironchuk S.A., Volkov A.B., Alymov A.A. Development of recommendations for processing mobile laser scanning data when obtaining a microprofile to determine the IRI Index // Roads and Bridges. – 2026; (55/1): 51-72. (In Russ). DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-51-72.

ВВЕДЕНИЕ

Мобильное лазерное сканирование (далее – МЛС) в настоящее время широко применяется при предпроектных изысканиях, паспортизации автомобильных дорог, а также для сбора пространственных данных, используемых в технологии информационного моделирования [1]. Технология МЛС активно адаптируется для новых направлений в сфере дорожного хозяйства. Одним из примеров практического применения данных, полученных при помощи МЛС, является определение продольной ровности покрытий [2-4].

Системы МЛС оснащены нативным программным обеспечением, выполняющим вывод и пространственную привязку данных точек лазерных отражений [5, 6]. Последующая обработка осуществляется посредством специализированного ПО, реализующего следующие функции: классификацию данных в соответствии с нормативными требованиями ГОСТ Р 70689-2023¹ и измерение геометрических параметров (ГОСТ Р 70690-2023²), а также выделение заданных областей облака точек. Детальное исследование указанных операций и формализация требований к ним являются необходимым условием для разработки комплексной методики сбора и обработки данных [7, 8]. Использование данных точек

¹ ГОСТ Р 70689-2023. Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к проведению работ. – Москва: Российский институт стандартизации, 2023. – 28 с.

² ГОСТ Р 70690-2023. Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Требования к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильной дороги. Москва: Российский институт стандартизации, 2023. – 16 с.

лазерных отражений (ТЛО) для последующего расчета международного индекса продольной ровности IRI (International Roughness Index) сопряжено с рядом задач, которые должны быть решены как на стадии сбора данных, так и при камеральной обработке. Следует отметить, что в настоящее время во многих странах также проводятся исследования по использованию данных ТЛО для получения микропрофиля [8-9], однако в рассмотренных работах отсутствуют данные о применяемой методике, параметрах съемки и обработки ТЛО, необходимые для вычисления микропрофиля.

Целью рассматриваемого в данной статье исследования является получение однозначных значений микропрофиля покрытия автомобильной дороги с последующим расчетом значений международного индекса продольной ровности IRI, что планируется достигнуть путем разработки методики предварительной и камеральной обработки данных ТЛО. Определение требований к параметрам проведения полевых работ с использованием МЛС было выполнено в рамках сопоставительных испытаний в 2024 г. на трех тестовых участках автомобильной дороги в Воронежской области [2]. Данные эксперименты были выполнены в рамках 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»*.

В сопоставительных испытаниях по измерению микропрофиля использовали следующие системы лазерного сканирования: Trimble MX9; Alpha3D-L Dual; AlphaUni 20; Topcon RD-M1.

Анализ влияния настроек съемки мобильного лазерного сканирования, оценка влияния скорости на количество точек лазерного отражения и точность проведения измерений были рассмотрены в статье [3]. В указанной статье также было определено, что при скорости 60 км/ч сравниваемые системы МЛС могут быть использованы для получения микропрофиля из ТЛО. Помимо этого, в статье была описана последовательность обработки данных точек лазерных отражений при определении продольной ровности, которая включала три этапа:

1-й этап: сбор и формирование массива данных облака точек МЛС [3, 10-12];

2-й этап: подготовка данных облака точек к формированию микропрофиля [11-14];

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

Так, в [3] были приведены 1-й и 2-ой этапы обработки данных ТЛО. В рамках настоящей статьи более подробно рассмотрен 3-й этап, связанный с формированием микропрофиля покрытия автомобильной дороги.

Методика сбора и обработки данных ТЛО при расчете микропрофиля покрытия автомобильной дороги и последующего расчета международного индекса продольной ровности IRI

Для обеспечения сходимости данных микропрофиля, полученных с использованием различных систем МЛС и с учетом предварительной методики [3], была разработана методика сбора и обработки данных ТЛО при расчете микропрофиля покрытия автомобильной дороги и последующего расчета международного индекса продольной ровности (далее – методика).

Одним из ключевых этапов обработки данных ТЛО для вычисления микропрофиля покрытия является 3-й этап обработки, который включает следующую последовательность операций:

1. Формирование в облаке ТЛО полос определенной ширины по центру правой полосы наката (в данной работе вдоль оси, расположенной по меткам нивелирования [2]) для каждого типа систем МЛС.

2. Разбивка каждой из полученных полос для выбранной ширины на участки длиной по 100 м.

3. Формирование двухстолбцевого массива (l, z - z_{min}) путем перехода от трехмерной декартовой системы координат (x, y, z) к двумерной криволинейной системе координат (длина (l), ордината (z)).

4. Формирование криволинейных сегментов массива по длине с выбранным постоянным шагом.

5. Выполнение расчета усредненного значения массива по высоте (оси Z) для каждого из сегментов, полученных из предыдущей операции.

6. Осуществление нормализации двумерной системы координат массива для каждого из сегментов с учетом нулевых

значений ординат на концах участков, для которых определяется продольная ровность.

7. Выполнение расчета сформированного массива данных в ПО для расчета значений международного индекса ровности IRI и других параметров продольной ровности.

Для оценки эффективности каждого из пунктов методики проводилось сравнение индексов IRI, полученных на основании данных МЛС, с индексами IRI, полученных по данным нивелирования [2].

Разработка рекомендаций к параметрам обработки данных мобильного лазерного сканирования

С целью определения влияния параметров обработки данных МЛС на точность определения микропрофиля покрытия автомобильной дороги, был выполнен расчет по указанной выше методике с фиксацией всех переменных и изменением следующих параметров:

- ширина полосы ТЛО (b): 100 мм, 200 мм, 400 мм, 600 мм, 1000 мм;
- оценка сегментов массива различной длины (Δl): 125 мм, 250 мм, 375 мм.

Визуальный пример определяемых параметров для коридора ТЛО показан на **рис. 1**.

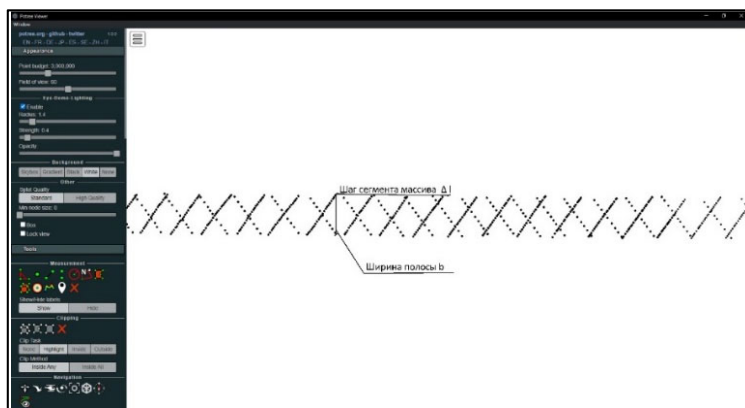


Рис. 1. Пример коридора ТЛО в программе Potree Viewer

Для разработки рекомендаций к параметрам были проведены расчеты для трех участков автомобильной дороги по

данным, полученным в ходе сопоставительных испытаний [2]. При этом на первом участке ровность не соответствовала нормативным требованиям ($IRI = 6,62$), третий участок был после проведения ремонтных работ ($IRI = 2,17$). Для примера в настоящей статье приведены данные расчета для участка № 2 со средним значением $IRI = 5,81$. Нивелирование перед проведением сопоставительных испытаний [2, 3] проводилось в соответствии с ГОСТ 33101-2014 (Приложение А), с использованием поверенного оборудования. Полученные значения IRI для участка № 2 по стометровым интервалам приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение международного индекса ровности IRI, полученного на основании данных нивелирования

Участок	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
Значение IRI по нивелиру	5,33	9,24	7,15	4,87	6,49	6,21	5,10	4,89	4,59	4,25

Данные ТЛО по участку № 2 были предварительно обработаны в соответствии с результатами последовательной обработки данных точек лазерных отражений при определении продольной ровности на этапах 1 и 2 [3]. Полученное облако ТЛО в дальнейшем использовалось для обоснования ширины полосы (b), что в свою очередь влияет на количество точек, используемых при расчете данных микропрофиля.

При проведении исследований по определению оптимальной ширины полосы оценки из общего облака ТЛО были сформированы коридоры измерений различной ширины вдоль средней линии (ось коридора измерений, проведенная нивелиром [2]) правой полосы наката 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. В рамках рассматриваемой работы был проведен анализ данных ТЛО, полученных от систем, использованных в сопоставительных испытаниях. Следует отметить, что, согласно проведенным исследованиям, использовались данные ТЛО, полученные при

скорости 60 км/ч и при максимальных настройках систем лазерного сканирования (при наличии возможности).

Анализ данных, полученных при помощи системы МЛС Trimble MX9, приведен в статье [3]. При анализе ширины полосы оценки (b) изучалась различная ее ширина при неизменном сегменте (Δl). В качестве базового был выбран сегмент длиной 250 мм. Результаты расчетов представлены в **табл. 2**.

Согласно полученным данным для системы лазерного картографирования Trimble MX9, наименьшие отклонения значений расчетного индекса IRI от значений IRI, полученных при нивелировании, наблюдаются при ширине полосы оценки 100 и 200 мм. Среднее отклонение индекса ровности IRI для ширины полосы оценки 100 мм от IRI, полученного по результатам нивелирования, составляет около 0,41 %; для ширины полосы оценки 200 мм – 0,43 %.

Количество ТЛО изменяется линейно для участка шириной в 100 мм – общее количество точек составляет 44 035 точек, для ширины коридора 1000 мм – общее количество точек достигает 437 365. При этом из **табл. 2** видно, что с увеличением ширины полосы оценки, начиная с полосы шириной 400 мм, наблюдается резкое увеличение отклонения (в %) между эталонными индексами IRI, т.е. рассчитанными на базе данных микропрофиля, полученного при нивелировании и расчетными данными IRI.

Анализ данных для системы МЛС Alpha3D-L Dual для шага 250 мм представлен в **табл. 3**.

Согласно полученным данным для системы лазерного картографирования МЛС Alpha3D-L Dual, наименьшие отклонения значений расчетного индекса IRI от значений с IRI, полученных при нивелировании, наблюдаются при ширине полосы 400 мм и 600 мм. Среднее отклонение индекса ровности IRI для ширины полосы оценки 400 мм от IRI, полученного по результатам нивелирования, составляет 3,96 %; для ширины полосы 600 мм – 1,42 %.

Количество ТЛО изменяется линейно, для полосы шириной в 100 мм – общее количество точек составляет 17 106 точек, для ширины коридора 1000 мм – общее количество точек достигает 169 216 точек. При этом из **табл. 3** видно, что с увеличением ширины полосы оценки до полосы шириной 600 мм наблюдается уменьшение отклонения (в %) между эталонными индексами IRI, а затем снова увеличивается.

Анализ данных для системы МЛС AlphaUni 20 для шага 250 мм представлен в **табл. 4**.

Согласно полученным данным для системы лазерного картографирования AlphaUni 20, все отклонения значений расчетного индекса IRI от значений с IRI, полученного по результатам нивелирования, находятся в пределах 5 %. Среднее отклонение индекса ровности IRI для ширины полосы оценки 200 мм от IRI полученного по результатам нивелирования составляет около 2,99 %.

Количество ТЛО изменяется линейно, для полосы шириной в 100 мм общее количество точек составляет 39 936 точек, для ширины коридора 1000 мм общее количество точек достигает 399 586. При этом из **табл. 4** видно, что увеличение ширины полосы оценки до 1000 мм не влияет на точность расчета микропрофиля.

Анализ данных для системы МЛС Topcon RD-M1 для шага 250 мм представлен в **табл. 5**.

Согласно полученным данным для системы МЛС Topcon RD-M1, наименьшие отклонения значений расчетного индекса IRI от значений IRI, полученных при нивелировании, наблюдаются при ширине полосы 100 мм. При этом результаты для всех ширин полос превышают предел в 5 %. Высокие значения погрешностей вызваны недостаточной плотностью ТЛО, с учетом особенностей проведения съемки МЛС Topcon RD-M1 [3]. Среднее отклонение индекса ровности IRI для ширины полосы оценки 100 мм от IRI, полученного по результатам нивелирования, составляет около 6,44 %, для ширины полосы 200 мм – 6,83 %. Количество ТЛО изменяется нелинейно, для полосы шириной в 100 мм – общее количество точек составляет 7093 точек; для ширины коридора 1000 мм – общее количество точек достигает 42 609 точек. При этом из **табл. 5** видно, что с увеличением ширины полосы оценки, начиная с полосы шириной 400 мм, наблюдается увеличение отклонения (в %) между эталонными индексами IRI, т.е. рассчитанными на базе данных микропрофиля, полученного при нивелировании и расчетными данными IRI.

На основании всех выполненных расчетов можно сделать вывод, что для ширины полосы более 200 мм возможна погрешность при усреднении высотных отметок. Поэтому, исходя из необходимого количества ТЛО для усреднения высотных отметок микропрофиля, а также для оптимизации расчета, с учетом нагрузки на программное обеспечение, рекомендованная ширина полосы ТЛО для расчета микропрофиля составила 200 мм.

Таблица 2

**Анализ ширины полосы оценки данных ТПО (100, 200, 400, 800, 1000 мм)
для системы мобильного картографирования Trimble MX9**

Интервал, М	Значения расчетного индекса IRI для ширины полосы					Вычисленная разница в % от значений расчет- ного индекса IRI для разной ширины полосы с данными IRI, полученными при нивелировании				
	100 мм	200 мм	400 мм	600 мм	1000 мм	100 мм	200 мм	400 мм	600 мм	1000 мм
0-100	5,36	5,31	5,17	5,03	4,85	-0,55 %	0,37 %	3,05 %	5,53 %	9,01 %
100-200	9,60	9,59	9,36	9,07	8,43	-3,85 %	-3,71 %	-1,29 %	1,84 %	8,81 %
200-300	6,98	6,96	6,92	6,94	6,74	2,45 %	2,72 %	3,28 %	2,99 %	5,78 %
300-400	4,88	4,87	4,84	4,84	4,75	-0,27 %	-0,12 %	0,60 %	0,55 %	2,38 %
400-500	6,50	6,44	6,40	6,34	6,08	-0,26 %	0,67 %	1,38 %	2,32 %	6,22 %
500-600	6,12	6,14	6,17	6,14	5,82	1,48 %	1,04 %	0,56 %	1,13 %	6,22 %
600-700	4,26	4,22	4,16	4,12	3,93	7,46 %	8,30 %	9,47 %	10,45 %	14,66 %
700-800	5,09	5,00	4,84	4,73	4,58	-4,07 %	-2,21 %	1,13 %	3,29 %	6,44 %
800-900	4,74	4,66	4,52	4,49	4,49	-3,12 %	-1,42 %	1,58 %	2,24 %	2,21 %
900-1000	4,21	4,13	4,01	3,90	3,62	0,86 %	2,86 %	5,75 %	8,24 %	14,82 %
Среднее значение	5,77	5,73	5,64	5,56	5,33	0,01 %	0,85 %	2,55 %	3,86 %	7,65 %

Таблица 3

**Анализ ширины полосы оценки ϵ
для системы мобильного картографирования Alpha3D-L Dual**

Интервал, <i>m</i>	Значения расчетного индекса IRI для ширины полосы					Вычисленная разница в % от значений расчет- ного индекса IRI для разной ширины полосы с данными IRI, полученными при нивелировании				
	100 мм	200 мм	400 мм	600 мм	1000 мм	100 мм	200 мм	400 мм	600 мм	1000 мм
0-100	5,67	5,59	5,50	5,38	5,16	-6,41 %	-4,92 %	-3,18 %	-0,96 %	3,10 %
100-200	10,16	9,97	9,85	9,51	8,88	-9,90 %	-7,85 %	-6,57 %	-2,88 %	3,96 %
200-300	7,69	7,50	7,30	7,20	6,96	-7,46 %	-4,88 %	-2,09 %	-0,70 %	2,62 %
300-400	5,71	5,38	5,28	5,21	5,04	-17,29 %	-10,50 %	-8,43 %	-7,06 %	-3,67 %
400-500	6,99	6,93	6,86	6,73	6,53	-7,79 %	-6,78 %	-5,74 %	-3,78 %	-0,73 %
500-600	6,90	6,63	6,62	6,45	6,06	-11,14 %	-6,75 %	-6,70 %	-3,87 %	2,42 %
600-700	4,98	4,65	4,54	4,39	4,22	-8,18 %	-1,05 %	1,34 %	4,49 %	8,32 %
700-800	5,59	5,16	5,06	4,81	4,63	-14,24 %	-5,50 %	-3,49 %	1,63 %	5,35 %
800-900	5,15	4,93	4,85	4,81	4,84	-12,02 %	-7,25 %	-5,65 %	-4,82 %	-5,38 %
900-1000	4,54	4,43	4,21	4,09	3,81	-6,81 %	-4,14 %	0,89 %	3,71 %	10,42 %
Среднее значение	6,34	6,12	6,01	5,86	5,61	-10,12 %	-5,96 %	-3,96 %	-1,42 %	2,64 %

Таблица 4

**Анализ ширины полосы оценки данных ТПО (100, 200, 400, 800, 1000 мм)
для системы мобильного картографирования AlphaUni 20**

Интервал, м	Значения расчетного индекса IRI для ширины полосы					Вычисленная разница в % от значений расчетного индекса IRI для разной ширины полосы с данными IRI, полученными при нивелировании				
	100 мм	200 мм	400 мм	600 мм	1000 мм	100 мм	200 мм	400 мм	600 мм	1000 мм
0-100	5,54	5,52	5,41	5,28	5,02	-3,95 %	-3,58 %	-1,43 %	0,94 %	5,85 %
100-200	9,59	9,67	9,45	9,18	8,54	-3,72 %	-4,55 %	-2,18 %	0,75 %	7,67 %
200-300	7,24	7,24	7,16	7,09	6,86	-1,25 %	-1,18 %	-0,15 %	0,89 %	4,06 %
300-400	5,22	4,83	5,17	5,17	5,03	-7,19 %	0,74 %	-6,34 %	-6,32 %	-3,45 %
400-500	6,83	6,84	6,78	6,70	6,45	-5,28 %	-5,45 %	-4,53 %	-3,34 %	0,55 %
500-600	6,31	6,29	6,32	6,24	5,89	-1,71 %	-1,39 %	-1,76 %	-0,51 %	5,17 %
600-700	4,52	4,54	4,48	4,43	4,21	1,73 %	1,28 %	2,51 %	3,71 %	8,51 %
700-800	5,15	5,11	5,04	5,50	4,79	-5,35 %	-4,41 %	-3,04 %	-12,45 %	2,06 %
800-900	4,89	4,88	4,84	4,86	4,80	-6,49 %	-6,25 %	-5,44 %	-5,81 %	-4,52 %
900-1000	4,51	4,47	4,80	4,90	3,92	-6,03 %	-5,16 %	-12,92 %	-15,27 %	7,81 %
Среднее значение	5,98	5,94	5,95	5,93	5,55	-3,92 %	-2,99 %	-3,53 %	-3,74 %	3,37 %

Таблица 5

**Анализ ширины полосы оценки данных ТПО (100, 200, 400, 800, 1000 мм)
для системы мобильного картографирования Торсон RD-M1**

Интервал, м	Значения расчетного индекса IRI для ширины полосы					Вычисленная разница в % от значений расчетного индекса IRI для разной ширины полосы с данными IRI, полученными при нивелировании				
	100 мм	200 мм	400 мм	600 мм	1000 мм	100 мм	200 мм	400 мм	600 мм	1000 мм
0-100	5,05	5,02	4,96	4,92	4,73	5,17 %	5,79 %	6,86 %	7,66 %	11,34 %
100-200	9,21	9,15	8,98	8,77	8,19	0,37 %	1,07 %	2,92 %	5,11 %	11,41 %
200-300	6,93	6,88	6,80	6,79	6,59	3,16 %	3,78 %	4,93 %	5,00 %	7,79 %
300-400	4,59	4,56	4,57	4,57	4,49	5,63 %	6,24 %	6,12 %	6,14 %	7,80 %
400-500	6,14	6,14	6,02	5,93	5,69	5,33 %	5,30 %	7,18 %	8,53 %	12,25 %
500-600	5,80	5,82	5,82	5,71	5,46	6,58 %	6,18 %	6,18 %	8,01 %	11,98 %
600-700	4,29	4,26	4,21	4,14	3,86	6,65 %	7,50 %	8,48 %	10,05 %	16,00 %
700-800	4,48	4,46	4,34	4,31	4,20	8,46 %	8,91 %	11,32 %	11,88 %	14,14 %
800-900	4,22	4,26	4,28	4,31	4,41	8,05 %	7,19 %	6,91 %	6,14 %	4,06 %
900-1000	3,61	3,55	3,46	3,42	3,20	15,02 %	16,38 %	18,51 %	19,63 %	24,70 %
Среднее значение	5,43	5,41	5,34	5,29	5,08	6,44 %	6,83 %	7,94 %	8,81 %	12,15 %

Таблица 6

**Анализ оценки параметра шага сегмента массива ТЛО (125, 250, 375 мм)
для системы мобильного картографирования Trimble MX9**

Интервал, м	Значения расчетного индекса IRI для длины сегмента массива			Вычисленная разница в % от значений расчетного индекса IRI для разной длины сегмента массива с данными IRI, полученными при нивелировании		
	125 мм	250 мм	375 мм	125 мм	250 мм	375 мм
0-100	5,38	5,31	5,17	-1,01 %	0,37 %	2,94 %
100-200	9,78	9,59	9,19	-5,80 %	-3,71 %	0,63 %
200-300	7,13	6,96	6,70	0,32 %	2,72 %	6,32 %
300-400	5,03	4,87	4,66	-3,29 %	-0,12 %	4,15 %
400-500	6,63	6,44	6,15	-2,19 %	0,67 %	5,20 %
500-600	6,33	6,14	5,79	-1,94 %	1,04 %	6,80 %
600-700	4,35	4,22	4,04	5,46 %	8,30 %	12,07 %
700-800	5,12	5,00	4,77	-4,59 %	-2,21 %	2,50 %
800-900	4,78	4,66	4,45	-4,01 %	-1,42 %	3,13 %
900-1000	4,28	4,13	3,92	-0,75 %	2,86 %	7,87 %
Среднее значение	5,88	5,73	5,48	-1,78 %	0,85 %	5,16 %

Таблица 7

**Анализ оценки параметра шага сегмента массива ТЛО (125, 250, 375 мм)
для системы мобильного картографирования Alpha3D-L Dual**

Интервал, м	Значения расчетного индекса IRI для длины сегмента массива			Вычисленная разница в % от значений расчетного индекса IRI для разной длины сегмента массива с данными IRI, полученными при нивелировании
	125 мм	250 мм	375 мм	
0-100	5,78	5,59	5,42	-8,46 %
100-200	10,22	9,97	9,52	-10,56 %
200-300	7,82	7,50	7,16	-9,30 %
300-400	5,62	5,38	4,96	-15,51 %
400-500	7,23	6,93	6,48	-11,41 %
500-600	7,06	6,63	6,14	-13,72 %
600-700	5,07	4,65	4,25	-10,31 %
700-800	5,52	5,16	4,92	-12,77 %
800-900	5,13	4,93	4,62	-11,74 %
900-1000	4,72	4,43	4,14	-11,13 %
Среднее значение	6,42	6,12	5,76	-11,49 %
				-5,96 %
				250 мм
				375 мм
				-1,73 %
				-2,94 %
				-0,16 %
				-1,98 %
				0,06 %
				1,04 %
				7,57 %
				-0,66 %
				-0,65 %
				2,58 %
				0,31 %

Таблица 8

**Анализ оценки параметра шага сегмента массива ТЛО (125, 250, 375 мм)
для системы мобильного картографирования AlphaUni 20**

Интервал, м	Значения расчетного индекса IRI для длины сегмента массива			Вычисленная разница в % от значений расчетного индекса IRI для разной длины сегмента массива с данными IRI, полученными при нивелировании
	125 мм	250 мм	375 мм	
0-100	5,62	5,52	5,35	125 мм -5,46 %
100-200	9,89	9,67	9,26	250 мм -3,58 %
200-300	7,43	7,24	6,93	375 мм -4,55 %
300-400	5,37	4,83	4,88	125 мм -3,93 %
400-500	7,09	6,84	6,42	250 мм -1,18 %
500-600	6,52	6,29	5,95	375 мм 0,74 %
600-700	4,66	4,54	4,25	125 мм -9,26 %
700-800	5,28	5,11	4,83	250 мм -5,04 %
800-900	5,05	4,88	4,20	375 мм 1,28 %
900-1000	4,66	4,47	4,00	125 мм -7,96 %
Среднее значение	6,16	5,94	5,61	250 мм -6,25 %
				375 мм -5,16 %
				125 мм -6,98 %
				250 мм -2,99 %
				375 мм 3,10 %

Таблица 9

**Анализ оценки параметра шага сегмента массива ТЛО (125, 250, 375 мм)
для системы мобильного картографирования Торсон RD-M1**

Интервал, м	Значения расчетного индекса IRI для длины сегмента массива			Вычисленная разница в % от значений расчетного ин- декса IRI для разной длины сегмента массива с данными IRI, полученными при нивелировании
	125 мм	250 мм	375 мм	
0-100	8,56	5,02	4,91	-60,64 %
100-200	57,35	9,15	8,85	-520,31 %
200-300	7,02	6,88	6,66	1,81 %
300-400	40,79	4,56	4,39	-738,22 %
400-500	6,22	6,14	5,75	4,09 %
500-600	5,98	5,82	5,53	3,67 %
600-700	4,45	4,26	4,18	3,20 %
700-800	4,54	4,46	4,23	7,21 %
800-900	4,39	4,26	4,04	4,37 %
900-1000	3,67	3,55	3,37	13,74 %
Среднее значение	14,30	5,41	5,19	-128,11 %
				250 мм
				375 мм
				7,80 %
				4,25 %
				6,86 %
				9,88 %
				11,42 %
				10,96 %
				9,08 %
				13,60 %
				12,15 %
				20,78 %
				10,68 %

Другим исследуемым параметром расчета является определение шага сегментов массива, необходимого для усреднения. Оценка проводилась также по данным участка № 2 и для четырех систем МЛС [2]. Для сегментов массива различной длины (125 мм, 250 мм, 375 мм) были вычислены значения IRI и проведено сравнение со значениями IRI, полученными по результатам нивелирования. Расчет сегментов массива проводился для полосы ТЛО шириной 200 мм при максимальных настройках съемки и скорости 60 км/ч. Анализ данных для системы МЛС Trimble MX9 представлен в **табл. 6**. Анализ данных для системы МЛС Alpha3D-L Dual представлен в **табл. 7**. Анализ данных для системы МЛС AlphaUni 20 представлен в **табл. 8**. Результаты для МЛС Topcon RD-M1 представлены в **табл. 9**.

Согласно накопленным данным для МЛС Trimble MX9 наименьшее среднее отклонение значения индекса ровности IRI получено для длины сегмента массива 250 мм, для МЛС Alpha3D-L Dual – для длины сегмента массива 375 мм; для МЛС AlphaUni 20 – для длины сегмента массива 250 мм; для МЛС Topcon RD-M1 – при длине сегмента массива 250 мм. Кроме того, для шага сегмента массива ТЛО 125 мм для МЛС Alpha3D-L Dual, МЛС Topcon RD-M1 отмечена недостаточная плотность ТЛО, необходимых для определения микропрофиля. Исходя из результатов расчета рекомендованный шаг сегмента массива составил 250 мм.

ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований разработаны следующие рекомендации к обработке данных мобильного лазерного сканирования при получении микропрофиля для расчета индекса IRI:

- с учетом особенностей расчета, направленного на оптимизацию необходимого количества ТЛО и минимизацию погрешности определения высотных отметок в полосе наката, требуемая ширина полосы ТЛО (b) должна составлять 200 мм;

- в соответствии с расчетом, для усреднения значений отметок микропрофиля оптимальным шагом сегмента массива (Δl) является шаг в 250 мм.

- полученная методика обработки данных МЛС для расчета микропрофиля покрытия автомобильной дороги позволяет достоверно вычислять международный индекс продольной ровности IRI при соблюдении требуемых параметров сбора и обработки массивов ТЛО.

В связи с высокой трудоемкостью вычислений, требуемых для определения микропрофиля по данным ТЛО, в дальнейшей работе планируется предложить механизм по автоматизации процесса обработки данных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов А.О. Использование сетей постоянно действующих референсных станций для создания цифровой модели автомобильных дорог / А.О. Кузнецов, Е.В. Любимов // *Дороги и мосты*. – 2020. – Вып. № 44-2. – С. 11-28. – URL: https://rosdornii.ru/upload/iblock/3fc/fzvos86ck6u9g2d6t10f6ibycou2dl8w/1_Kuznetsov_Lyubimov_Statya_Ispolzovani_e_setey_postoyanno_deystvuyushchikh_referentsnykh_stantsiy.pdf (дата обращения: 02.02.2026).
2. 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*. – 2025. – Вып. 54-2. – С. 78-91 – URL: <https://rosdornii.ru/dim/54%D0%B2%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA/provedenie-issledovaniya-sposobov-opredeleniya-mikroprofilya-dorozhnogo-pokrytiya-na-osnove-rezultat/> (дата обращения: 02.02.2026).
3. 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 [и др.] // *Транспортные сооружения*. – 2025. – Т 12. – № 4. – URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS425.pdf>. – DOI: 10.15862/10SATS425 (дата обращения: 12.03.2026).
4. 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*. – 2020. – Вып. 43-1. – С. 25-48. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45628851> (дата обращения: 02.02.2026).
5. Гребенюк Е.А. Обработка данных в процессе мобильного лазерного сканирования городских дорог / Е.А. Гребенюк, С.И. Ротков (ННГАСУ) // *Автоматизация в промышленности*. – 2024. – № 1. – URL: https://www.researchgate.net/publication/387054324_Mobile_laser_scanning_of_urban_roads_-_cost_estimation_for_a_high-quality_result. – DOI: 10.25728/avtprom.2024.01.09 (дата обращения: 02.02.2026).
6. Миронюк В.П. О формировании требований по выполнению лазерного сканирования автомобильных дорог / В.П. Миронюк, А.О. Кузнецов, В.В. Шагназарян // *Дороги и мосты*. – 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: 02.02.2026).
7. El Issaoui A.; Feng Z.; Lehtomäki M.; Hyypä E.; Hyypä H.; Kaartinen H.; Kukko A.; Hyypä J. Feasibility of Mobile Laser Scanning towards Operational Accurate Road Rut Depth Measurements // *Sensors*. – 2021. – 21, 1180. – <https://doi.org/10.3390/s21041180>.
8. Tri Saksena, Heru, and Taufik Nur Adikusuma. 2025. A comparative evaluation of international roughness index (IRI) techniques between mobile laser scanner (MLS) and dipstick // *Jurnal Jalan Jembatan*. – Vol. 42 (2). – <https://doi.org/10.58499/jatan.v42i2.1317>.
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 // *Appl. Sci.* – 2025. – Vol. 15, № 11283. – <https://doi.org/10.3390/app152011283> (дата обращения: 02.02.2026).
10. Zhou G., Gao H., Cai Y., Guo J., Zhao X.A. Filter Method for Vehicle-Based Moving LiDAR Point Cloud Data for Removing IRI-Insensitive Components of Longitudinal Profile // *Remote Sens.* – 2026. – 18, 240. – <https://doi.org/10.3390/rs18020240>.

11. 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 [Электронный сетевой политематический журнал]*. – 2023. – № 3. – С. 106-119. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54156090> (дата обращения: 02.02.2026).
12. Федорова А.А. 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 им. Н.Э. Баумана (НИУ), 2022. – С. 262-267. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49207599&ysclid=mkv2icw1y9365369449> (дата обращения: 02.02.2026).*
13. Shtayat A.; Obaidat M.T.; Al-Mistarehi B.; Bader A.; Moridpour S.; Alahmad S. *Optimizing Road Pavement Assessment Using Advanced Image Processing Techniques // Sustainability*. – 2025. – Vol. 17, № 2473. – DOI: 10.3390/su17062473.
14. 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 // IEEE Access*. – 2023. – Vol. 11. – DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3630511.

REFERENCES

1. Kuznecov A.O. *Ispol'zovanie setej postoyanno dejstvuyushchih referensnykh stancij dlya sozdaniya cifrovoj modeli avtomobil'nyh dorog / A.O. Kuznecov, E.V. Lyubimov // Dorogi i mosty*. – 2020. – Vyp. № 44-2. – С. 11-28. URL: https://rosdornii.ru/upload/iblock/3fc/fzwo586ck6u9g2d6t10f6ibycou2dl8w/1._Kuznetsov_Lyubimov_Statya_Ispolzovanie_setey_postoyanno_deystvuyushchikh_referentsnykh_stantsiy.pdf (data obrashcheniya: 02.02.2026).
2. Konorev A.S. *Provedenie issledovaniya sposobov opredeleniya mikroprofilya dorozhnogo pokrytiya na osnove rezul'tatov sopostavitel'nyh ispytaniy / A.S. Konorev, S.A. Mironchuk, V.A. Dumenko, A.B. Volkov // Dorogi i mosty*. – 2025. – Vyp. 54-2. – С. 78-91 – URL: <https://rosdornii.ru/dim/54%D0%B2%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA/provedenie-issledovaniya-sposobov-opredeleniya-mikroprofilya-dorozhnogo-pokrytiya-na-osnove-rezultat/> (data obrashcheniya: 02.02.2026).
3. Konorev A.S. *Formirovanie trebovanij k sboru dannyh mobil'nogo la-zernogo skanirovaniya pri poluchenii mikroprofilya dlya opredeleniya pokazatelya IRI / A.S. Konorev, V.P. Mironyuk, S.A. Mironchuk [i dr.] // Trans-portnye sooruzheniya*. – 2025. – Т 12. – № 4. – URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS425.pdf>. – DOI: 10.15862/10SATS425 (data obrashcheniya: 12.03.2026).
4. Mironyuk V.P. *Sopostavitel'nye ispytaniya sistem mobil'nogo lazernogo skanirovaniya i peredvizhnyh dorozhnyh laboratorij / V.P. Mironyuk, R.A. Eremin, A.O. Kuznecov // Dorogi i mosty*. – 2020. – Vyp. 43-1. – С. 25-48. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45628851> (data obrashcheniya: 02.02.2026).
5. Grebenyuk E.A. *Obrabotka dannyh v processe mobil'nogo lazernogo skanirovaniya gorodskih dorog / E.A. Grebenyuk, S.I. Rotkov (NNGASU) // Avtomatizaciya v promyshlennosti*. – 2024. – № 1. – URL: https://www.researchgate.net/publication/387054324_Mobile_laser_scanning_of_urban_roads_-_cost_estimation_for_a_high-quality_result. – DOI: 10.25728/avtprom.2024.01.09 (data obrashcheniya: 02.02.2026).

6. Mironyuk V.P. O formirovanii trebovanij po vypolneniyu lazernogo skanirovaniya avtomobil'nyh dorog / V.P. Mironyuk, A.O. Kuznecov, V.V. Shahnazaryan // *Dorogi i mosty*. – 2023. – Vyp. 49/1. – S. 54-82 – URL: <https://rosdornii.ru/dim/49-vypusk/o-formirovanii-trebovanij-po-vypolneniyu-lazernogo-skanirovaniya-avtomobilnykh-dorog/> (data obrashcheniya: 02.02.2026).
7. El Issaoui A.; Feng Z.; Lehtomäki M.; Hyyppä E.; Hyyppä H.; Kaartinen H.; Kukko A.; Hyyppä J. Feasibility of Mobile Laser Scanning towards Operational Accurate Road Rut Depth Measurements // *Sensors*. – 2021. – 21, 1180. – <https://doi.org/10.3390/s21041180>.
8. Tri Saksena, Heru, and Taufik Nur Adikusuma. 2025. A comparative evaluation of international roughness index (IRI) techniques between mobile laser scanner (MLS) and dipstick // *Jurnal Jalan Jembatan*. – Vol. 42 (2). – <https://doi.org/10.58499/jatan.v42i2.1317>.
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 // *Appl. Sci.* — 2025. — Vol. 15, № 11283. – <https://doi.org/10.3390/app152011283> (data obrashcheniya: 02.02.2026).
10. Zhou G.; Gao H.; Cai Y.; Guo J.; Zhao X. A Filter Method for Vehicle-Based Moving LiDAR Point Cloud Data for Removing IRI-Insensitive Components of Longitudinal Profile // *Remote Sens.* – January 2026. – Vol. 18. – P. 240. – URL: <https://doi.org/10.3390/rs18020240> (data obrashcheniya: 02.04.2026).
11. Gura D.A. K voprosu vydeleniya urovnya zemli iz oblaka toчек s primene-niem sovremennogo specializirovannogo programmnoгo obespecheniya / D.A. Gura, R.A. D'yachenko, A.V. Andryushchenko, V.A. Arutyunyan // *Nauchnye trudy KubGTU [Elektronnyj setevoy politematicheskij zhurnal]*. – 2023. – № 3. – S. 106-119. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54156090> (data obrashcheniya: 02.02.2026).
12. Fedorova A.A. Sravnenie metodov klassifikacii oblakov toчек, poluchennyh s pomoshch'yu tekhnologii Lidar / A.A. Fedorova, D.D. Nurlyeva, A.S. Zhelankina [i dr.] // *Iskusstvennyj intellekt v avtomatizirovannyh sistemah upravleniya i obrabotki dannyh: sbornik statej Vserossijskoj nauchnoj konferencii (Moskva, 27-28 aprelya 2022 g.): v 2 t. – T. 1. – Moskva: MGTU im. N.E. Baumana (NIU), 2022. – S. 262-267. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49207599&ysclid=mkv2icw1y9365369449* (data obrashcheniya: 02.02.2026).
13. Shtayat A.; Obaidat M.T.; Al-Mistarehi B.; Bader A.; Moridpour S.; Alahmad S. Optimizing Road Pavement Assessment Using Advanced Image Processing Techniques // *Sustainability*. – 2025. – Vol. 17, № 2473. – DOI: 10.3390/su17062473.
14. 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 // *IEEE Access*. – 2023. – Vol. 11. – DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3630511.

Информация об авторах

А.С. Конорев – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора департамента научно-технического развития и стандартизации, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия

В.П. Миронюк – доктор экономических наук, начальник управления методов проектирования автомобильных дорог, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия

С.А. Мирончук – кандидат технических наук, начальник управления перспективных методов исследований и испытаний, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия

А.Б. Волков – заместитель начальника отдела методического обеспечения сохранности автомобильных дорог, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия

А.А. Алымов – ведущий специалист отдела ускоренных методов испытаний, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия

Information about the authors

A.S. Konorev – Ph. D. (Tech.), Associate Professor, Deputy Head of the Department of Scientific and Technical Development and Standardization, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia

V.P. Mironyuk – Doctor of Economics, Head of the Division of Road Design Methods, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia

S.A. Mironchuk – Ph. D. (Tech.), Head of the Division of Advanced Research and Testing Methods, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia

A.B. Volkov – Deputy Head of the Section of Methodological Support for the Road Safety, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia

A.A. Alymov – Leading Specialist of the Section of Accelerated Testing Methods, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Рецензент: д-р техн. наук А.М. Кулижников (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию 31.03.2026. Одобрена после рецензирования 08.04.2026. Принята к публикации 22.04.2026.

The article was submitted 31.03.2026. Approved after reviewing 08.04.2026. Accepted for publication 22.04.2026.