

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РОВНОСТИ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Д-р техн. наук **В.В. Щербаков**
(Сибирский государственный
университет путей сообщения (СГУПС)),
канд. техн. наук **А.В. Конкин**
(ГКУ НСО «Территориальное управление
автомобильных дорог Новосибирской области»),
канд. техн. наук **И.В. Щербаков**,
канд. техн. наук **О.В. Ковалева**
(Сибирский государственный
университет путей сообщения (СГУПС))
Конт. информация: vvs@stu.ru;
master@tuad.nsk.ru;
sibdorproect@bk.ru;
kov@stu.ru

В статье сообщается о средствах измерений и способах (методах) определения ровности, позволяющих обеспечивать в соответствии с нормативными требованиями точность оценки качества покрытий и оснований, в частности, как способом косоугольного проецирования, так и традиционным методом путем нивелирования покрытия автомобильных дорог. Обосновано применение коротко шагового нивелирования и его реализация в автоматизированном режиме с использованием приборов, созданных на базе лазерных и оптоволоконных гироскопов типа УДК «Ровность».

Ключевые слова: национальный проект, безопасные качественные дороги, продольная ровность, методы и средства измерений ровности, амплитуды неровности.

Одним из ключевых показателей национального проекта «Безопасные качественные дороги» является доля автомобильных дорог, соответствующих нормативным требованиям. Приказом Федерального дорожного агентства (Росавтодор) № 1049 от 04.03.2020 г. «Об утверждении методологии формирования официальной статистической информации о показателях, необходимых для мониторинга достижения целей национального проекта «Безопасные качественные дороги» регламентирована оценка на соответствие автомобильной дороги нормативным требованиям для целей национального проекта. Оценка качества

выполняется в соответствии с нормативными требованиями всего по двум основным критериям [1, 2]:

- продольная ровность (инструментально);
- отсутствие дефектов проезжей части.

Кроме того, согласно СП 78.13330.2012, продольная ровность является одним из критериев оценки качества при приемке в эксплуатацию автомобильных дорог по завершению строительства, реконструкции и капитального ремонта.

Таким образом, продольная ровность автомобильной дороги является важнейшим показателем при оценке состояния дорог при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании, определяющим не только уровень комфорта для пользователей автомобильных дорог, безопасность дорожного движения, скорость проезда и эффективность перевозок, но и качество работы дорожников. Способы измерений и оценки продольной ровности не должны зависеть от внешних условий, технического состояния автомобиля, скорости движения и т.д. Однако на практике не все методы и средства измерений обеспечивают эти условия. Опыт практической работы показывает, что некоторые из рекомендованных ГОСТ методов измерения ровности не обеспечивают один из важных критериев достоверности измерений – сходимости результатов. Кроме того, наиболее часто применяющиеся на практике методы определения продольной ровности ограничены по диапазону измерений, критериям оценки параметров, характеризующих продольную ровность.

Широкий спектр задач, решаемых при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог, разнообразие технических требований, включая точность, детализацию, объемы измерений и многие другие факторы, обуславливают создание различных типов измерительных систем от портативных до измерительных комплексов, устанавливаемых на автомобили. При разработке требований к приборам и оборудованию для определения ровности покрытий и оснований исходят из допустимых амплитуд и ускорений колебаний автомобилей для расчетной скорости движения. Оценку неровностей покрытия выполняют с учетом обеспечения:

- удобства езды и комфортности для водителя и пассажиров;
- устойчивости грузов в кузове автомобиля;
- надежности и долговечности работы автомобиля;
- надежности и долговечности работы дорожной конструкции.

В соответствии с требованиями межгосударственных стандартов ГОСТ 33101-2014 и национальных стандартов ГОСТ Р 56925-2016 методы измерений неровностей поверхности оснований и покрытий распространяются на автомобильные дороги, улицы в городах и сельских

поселениях, а также аэродромы в период их строительства (реконструкции) и эксплуатации.

ГОСТ Р 56925-2016 регламентирует следующие методы и средства измерений:

- рейки с клиновидным промерником;
- нивелирование покрытий и оснований, автомобильных дорог (метод амплитуд);
- измерения с применением автомобильной установки ПКРС;
- измерения с применением дорожных профилометров (ДП).

Каждый из приведенных способов определения ровности покрытий и оснований имеет преимущества и недостатки, которые определяют их назначение и область применения. Например, рейка с клиновидным промерником наиболее эффективно используется при строительстве для контроля ровности на локальных участках (операционный контроль) в качестве шаблона при определении амплитуды неровности, например, при оценке глубины колеи или отклонений от нормативных требований, при сопряжении различных конструктивных элементов мостов и автомобильных дорог. При этом ее применение для определения продольной ровности неэффективно в силу функциональных ограничений по длинам неровностей. С учетом фактического диапазона и спектра длин неровностей, превышающих измерительную базу (3 м), оценка качества покрытия автомобильной дороги не будет соответствовать фактическим значениям. Кроме того, при всей простоте работы с дорожной рейкой процесс измерений является трудоемким и малопроизводительным. На **рис. 1** показана неровность, фактическая величина которой f (амплитуда неровности), при измерении неровности с использованием рейки с промерником составит f_p . Амплитуда неровности, измеренная рейкой дорожной универсальной, как видно из **рис. 1**, составит f_{p1} .

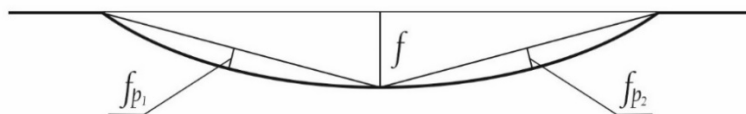


Рис. 1. Схема определения неровности рейкой дорожной универсальной

Амплитуду неровности f можно определить из выражения:

$$f = \frac{L^2}{8R} , \quad (1)$$

где

R – радиус неровности длиной L .

Для того же значения R величины неровности стрел изгиба составят:

$$f_p = \frac{L_{PD}^2}{8R} , \quad (2)$$

где

L_{PD} – длина рейки дорожной.

Предположим, что $R = 90$ м, $L = 6$ м, тогда из выражения (1) найдем, что $f = 50$ мм, а значение $f_p = 12$ мм.

Разность стрел изгиба Δf , фактической и полученной при измерении неровности длиной L рейкой дорожной универсальной, определяется из выражения:

$$\Delta f = \frac{1}{8R} (L^2 - L_{PD}^2) . \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что чем длиннее неровность, тем больше разность амплитуд и, соответственно, ниже точность определения фактической амплитуды неровности. Поэтому достоверно величину неровности рейкой дорожной универсальной можно определять, исходя из выражения (3) при длинах неровностей, не превышающих длину самой рейки. Учитывая широкий спектр частот колебаний автомобиля при движении (1-50 Гц) и распределения в этом спектре длин неровностей, применение рейки дорожной универсальной для оценки состояния покрытия по параметру «ровность» не обеспечивает требуемую достоверность и, соответственно, качество оценки состояния покрытия.

Нивелирование покрытия автомобильных дорог с использованием нивелира и рейки нивелирной (метод амплитуд) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 56925-2016, в отличие от рейки дорожной, обеспечивает определение амплитуды неровности в более широком диапазоне длин, что позволяет определять неровности с более высокой точностью, при этом недостатком метода амплитуд является ограниченные возможности при определении коротких неровностей в диапазоне длин до 5 м.

На **рис. 2** показана схема определения амплитуды неровности покрытия автомобильной дороги с «шагом» нивелирования 5 м при наличии коротких длин неровности, менее нормативного шага съемки.

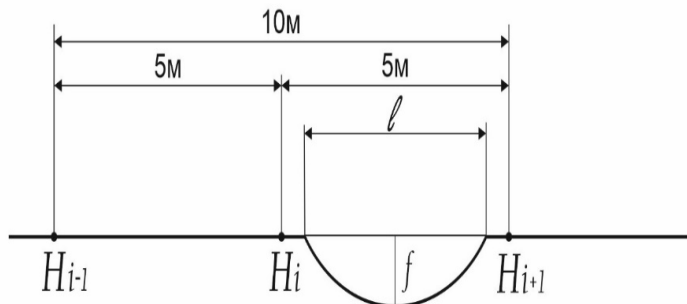


Рис. 2. Принципиальные недостатки метода амплитуд в соответствии с ГОСТ Р 56925-2016

Из **рис. 2** видно, что неровность с амплитудой f на длине l (менее 5 м) при измерении может быть не зафиксирована, и, соответственно, при обработке данных и оценке качества покрытия по показателю «ровность» не будет учтена, что ограничивает достоверность оценки качества покрытия.

Первый и второй метод обеспечивают определение амплитуды неровности из **прямых измерений**, что важно для объективной оценки показателя «ровность» автомобильной дороги при определенных условиях и ограничениях.

В настоящее время основным способом определения продольной ровности является измерение при помощи передвижных дорожных лабораторий (ПДЛ), использующих косвенные (интегральные) способы измерений.

Измерения ровности покрытия с применением автомобильной установки ПКРС, ТХК и дорожных профилометров (ДП) принципиально отличаются от прямых методов измерения неровностей, обеспечивая интегральную оценку на заданном отрезке пути (100 м, 1000 м и др.), в относительных показателях (мм/м или м/км). При этом основной проблемой интегральных методов, основанных на использовании инерциальной

базы отчета, является обеспечение повторяемости измерений и, как следствие, точности измерений.

Точность измерений покрытия автомобильных дорог данными приборами зависит от изменений относительно условий калибровки:

- скорости движения;
- массы автомобиля;
- продольного и поперечного профиля автомобильной дороги;
- температуры при работе с прибором.

Оценка качества покрытия зависит от условий калибровки и определения масштабных коэффициентов, включая международный показатель ровности IRI (International Roughness Index). При этом в соответствии с требованиями ГОСТ 33101-2014 выполняется определение масштабных коэффициентов IRI. Так, для получения исходных данных используется коротко шаговое высокоточное нивелирование тестовых участков с «шагом» 0,25 м и 0,125 м для определенных отрезков пути на тестовых участках. Точность отчета по нивелирной рейке с учетом требований ГОСТ 33101-2014 составляет 0,1 мм. Для длины тестового участка 500 м количество точек нивелирования с «шагом» 0,25 составляет 2000 точек. Измерения на тестовых участках для расчета ординат микропрофиля покрытия автомобильных дорог, расчеты и оценка точности измерений представляет собой сложный и трудоемкий комплекс работ. При этом с учетом влияния на точность измерения показателя ровности изменений технического состояния автомобиля с течением времени, изменения внешних условий, необходимо иметь тестовый участок и использовать его для корректировки масштабных коэффициентов расчета ординат микропрофиля. Кроме того, на точность измерений оказывает изменение скорости движения, массы автомобиля, ее перераспределение с изменением продольного профиля, изменение жесткости рессор и давления в шинах, что не позволяет обеспечить высокую степень повторяемости результатов измерения показателя ровности с использованием оценки по IRI. Поэтому при использовании ПДЛ требуется учитывать следующее:

- необходимость сохранения равномерной скорости движения, что практически делает невозможным применение ПДЛ в городской черте и на автомобильных дорогах с интенсивным движением;
- использование ПДЛ в холодное время года при отрицательных температурах нежелательно;

- масса автомобиля должна быть неизменной, а ее перераспределение – ограничено.

При оценке показателя «ровность» в относительных (интегральных) значениях (мм/м или м/км.) сложно оценить амплитуды и длины неровностей при анализе спектральной плотности для выявления локальных участков, несоответствующих нормативным требованиям.

Исследования ПДЛ («Трасса») на опытных участках автодорог К-02, К-13, К-15 показали, что повторяемость результатов определения ровности покрытия составляет около 6 %, при этом отдельные (максимальные) разности из 6 циклов измерений (в разные дни) на каждом участке могут составлять до 25 %. Всего выполнено по трем участкам 18 циклов измерений на К-02, К-13 длиной 400 м и К-15 – 3500 м. В **табл. 1** приведены результаты исследований на данных участках.

Таблица 1

<i>Номер дороги</i>	<i>L, м</i>	<i>Кол-во циклов измерений</i>	<i>Ровность, см/км</i>	<i>Максимальная разность результатов по циклам измерений, %</i>	<i>Относительная погрешность для всего участка, %</i>
К-02	400	6	105	3	1
К-13	400	6	215	25	8
К-15	3500	6	170	20	7

Согласно данным **табл. 1**, очевидно, что разности могут быть значительными, что не позволяет однозначно определить и оценить ровность в соответствии с нормативными требованиями. В **табл. 1** приведена только внутренняя сходимости результатов. Если оценку выполнить относительно данных коротко шагового нивелирования, то результаты

будут ниже с учетом влияния систематической составляющей, характерной для каждой передвижной лаборатории.

Альтернативным решением является коротко шаговое нивелирование с «шагом» 5 см, выполняемое в автоматизированном режиме измерений с производительностью 3-20 км/ч с точностью 1 мм при помощи приборов, созданных на базе лазерных и оптоволоконных гироскопов типа УДК «Ровность» [3, 4]. Прибор внесен в реестр средств измерения РФ. Внешний вид УДК «Ровность» показан на **рис. 3** и **4**.



Рис. 3. Внешний вид УДК «Ровность»



*Рис. 4. Внешний вид УДК «Ровность»
на базе автомобильного прицепа*

Для оценки ровности покрытия автомобильных дорог выполняется расчет амплитуд в соответствии с алгоритмом (4):

$$\delta = \left[\frac{H_{i-1} + H_{i+1}}{2} - H_i \right], \quad (4)$$

где

H – высотные отметки;

i – точки определения высотных отметок с заданным «шагом».

Результаты и структура данных определения показателя «ровность», полученных УДК «Ровность», приведены на рис. 5.

Шаг определения ровности		5 м	10 м	20 м	Интервал, м	Рейка, %	IRI, м/км
Всего измерений		38893	38799	38565	0-100	0.0	1.6
Количество измерений меньше (равно) допустимого		38849	38523	38060	100-200	0.0	1.6
		99.9%	99.3%	98.7%	200-300	0.0	1.6
					300-400	1.0	1.7
Количество измерений превышающих допуск		44	276	505	400-500	0.0	1.6
		0.1%	0.7%	1.3%	500-600	3.0	1.9
					600-700	3.0	1.9
					700-800	1.5	1.8
					800-900	0.0	1.6
Количество измерений не превышающих 1,5 допуск		44	276	490	900-1000	0.0	1.6
		0.1%	0.7%	1.3%	1000-1100	0.0	1.6
					1100-1200	3.5	1.9
Количество измерений свыше 1,5 допуска		0	0	15			
		0.0%	0.0%	0.0%			
Максимальное отклонение в мм.	6мм						
	10мм						
	24мм						

по методу амплитуд по рейке по ИРИ

ВЫВОД: **НЕТ** **ДА** **ДА**

(Соответствие проверяемого участка дороги требованиям ГОСТ и СНиП)

Экспорт Печать ОК

Рис. 5. Результаты определения ровности УДК «Ровность»:
 «шаг» съемки – 5 см; «шаг» расчета ровности, согласно ГОСТ Р 56925-2015 по методу амплитуд – 5 м, 10 м, 20 м; рейка дорожная универсальная – 0,5 м; IRI – 100 м

Программное обеспечение позволяет выполнить расчет показателя ровности по высотным отметкам (метод амплитуд) для измерительной базы 10 м, 20 м, 40 м в соответствии с ГОСТ Р 56925-2016 (п. 5), а также выполнить расчет по высотным отметкам значений амплитуд

неровностей с учетом требований для измерения рейкой дорожной ГОСТ Р56925-2016 (п. 4) и, в соответствии с алгоритмом [5], выполнить оценку показателя IRI. График зависимости данных по рейке и IRI приведен на **рис. 6**.

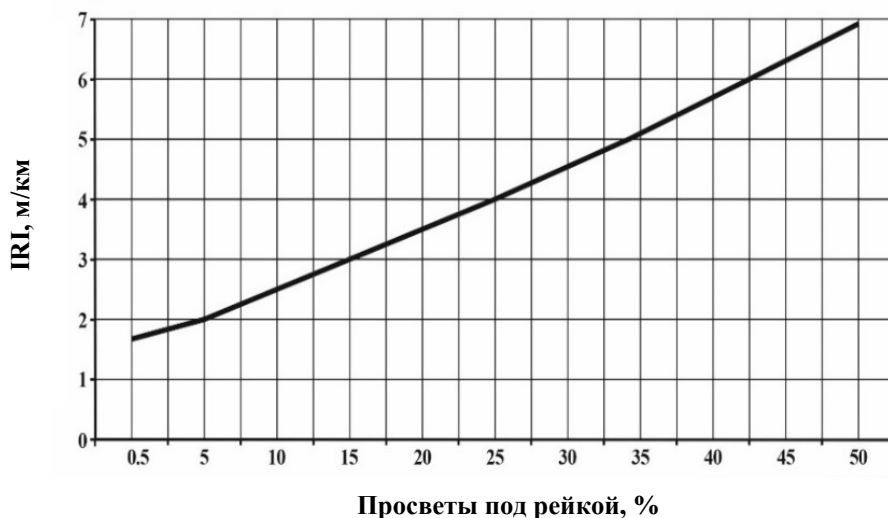


Рис. 6. График зависимости данных, полученных по IRI – рейка

Опыт применения УДК «Ровность» в различных организациях (ТУАД Новосибирской области, Новосибирскавтодор, строительных организациях г. Красноярска, г. Иркутска, Алтайского края), определение ровности при строительстве второй взлетно-посадочной полосы аэропорта Толмачево, при реконструкции аэропорта г. Минеральные воды показал высокую эффективность применения данного оборудования. Точность определения неровностей покрытия автомобильных дорог составляет около 1 мм, повторяемость из различных циклов измерения в пределах 1-2 мм. Точность измерений не зависит от изменений скорости движения, массы подвижного объекта, продольного профиля и колебаний температуры при выполнении измерений. Прибор проходит ежегодную поверку на калибровочном стенде и не требует дополнительных калибровок и настроек, позволяет определять с высокой точностью спектральную плотность длин неровностей, максимальные амплитуды, превышающие нормативные допуски и их (местоположение) точную привязку каждой неровности к линейной координате. На **рис. 7** показан

график показателя «ровность» покрытия автомобильной дороги с «шагом» нивелирования 5 см.

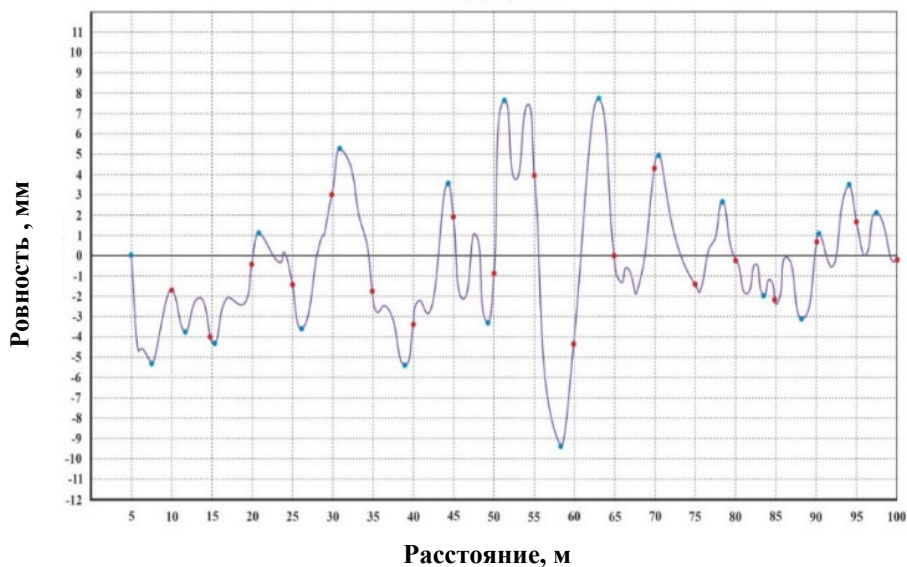


Рис. 7. График показателя «ровность» покрытия автомобильной дороги

- — амплитуда неровности при шаге съемки – 5 м;
- — максимальные амплитуды неровности при «шаге» съемки – 5 см на измерительной базе – 5 м

На графике (рис. 7) показан микропрофиль покрытия 100-метрового участка автомобильной дороги; амплитуды неровности через промежутки 5 м выделены точками красного цвета, а синим цветом – максимальные амплитуды в интервале 5 м. Из графика (рис. 7) видно, что при «шаге» измерения, равным 5 см, информация по оценке показателя «ровность» достовернее.

Качество ровности дорожного покрытия оценивается в соответствии с СП 34.13330.2012 (п.6 табл.8.2, п.8.5) и СП 78.13330.2012 (пп.2.5. табл.А.1, прил. А, п.16.11).

ВЫВОДЫ

Измерение амплитуд неровности с шагом нивелирования, равным 5 см, позволяет с высокой точностью независимо от внешних условий, изменения массы, давления в шинах, изменения жесткости рессорной подвески автомобиля ПДЛ, направления ветра, изменения скорости движения ПДЛ и продольного профиля дороги определять продольную ровность и преобразовывать полученные данные коротко шагового нивелирования в другие форматы. Таким образом, для получения IRI достаточно выполнять коротко шаговое нивелирование в автоматизированном режиме с использованием специального автомобильного прицепа, что обеспечивает высокую стабильность и точность измерений, как получения исходных данных (высотных отметок), так и оценку показателя ровности по методу амплитуд и IRI.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2017. – 27 с.
2. ГОСТ Р 56925-2016. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий. – М.: Издательство стандартов, 2016. – 11 с.
3. Щербаков В.В. Диагностика автомобильных дорог по геометрическим параметрам с использованием ГНСС / В.В. Щербаков, М.Н. Барсук // Геодезия и картография. – 2008. – № 6. – С. 55–57.
4. Щербаков В.В. Обзор разработок НИЛ «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» Сибирского государственного университета путей сообщения / В.В. Щербаков, А.В. Конкин, А.А. Земерова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск: сб. материалов в 9 т. Т. 1: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 144–154.
5. Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 17 июля 2002 г. № ОС-617-р. О введении в действие «Руководства по оценке ровности дорожных покрытий толчкомером». – Электрон. данные. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901833067?marker=64U0IK> (дата обращения: 27.03.2021 г.).

LITERATURA

1. GOST R 50597-2017. *Dorogi avtomobil'nye i ulicy. Trebovaniya k ekspluatacionnomu sostoyaniyu, dopustimomu po usloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Metody kontrolya.* – M.: FGUP «Standartinform», 2017. – 27 s.
2. GOST R 56925-2016. *Dorogi avtomobil'nye i aerodromy. Metody izmereniya nerovnostej osnovanij i pokrytij.* – M.: Izdatel'stvo standartov, 2016. – 11 s.
3. Shcherbakov V.V. *Diagnostika avtomobil'nyh dorog po geometricheskim parametram s ispol'zovaniem GNSS / V.V. Shcherbakov, M.N. Barsuk // Geodeziya i kartografiya.* – 2008. – № 6. – С.55–57.
4. Shcherbakov, V.V. *Obzor razrabotok NIL «Diagnostika dorozhnyh odezhd i zemlyanogo polotna» Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya / V.V. Shcherbakov, A.V. Konkin, A.A. Zemerova // Interekspo GEO-Sibir'. XV Mezhdunar. nauch. kongr., 24–26 aprelya 2019 g., Novosibirsk: sb. materialov v 9 t. T. 1: Mezhdunar. nauch. konf. «Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya».* – Novosibirsk: SGUGiT, 2019. № 1. – S. 144–154.
5. *Rasporiyazhenie Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii ot 17 iyulya 2002 g. № OS-617-r. O vvedenii v dejstvie «Rukovodstva po ocenke rovnosti dorozhnyh pokrytij tolchkomerom».* – Elektron. dannye. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901833067?marker=64U0IK> (data obrashcheniya: 27.03.2021 g.).

MODERN INSTRUMENTS AND METHODS FOR MEASURING THE EVENNESS OF ROAD PAVEMENTS

Doctor of Engineering V.V. Shcherbakov
(Siberian State University
of Railway Engineering (SSTURE)),
Ph. D. (Tech.) A.V. Konkin
(SPI NR «Territorial Administration of Highways
of the Novosibirsk Region»),
Ph. D. (Tech.) I.V. Shcherbakov,
Ph. D. (Tech.), Associate Professor O.V. Kovalyova
(Siberian State University
of Railway Engineering (SSTURE))
Contact information: vvs@stu.ru;
master@tuad.nsk.ru;
sibdorproect@bk.ru;
kov@stu.ru

The article considers measuring instruments and techniques (methods) for determining evenness, allowing to ensure in accordance with the regulatory requirements the accuracy of assessing the quality of road pavements and bases, in particular by the method of oblique projection, as well as by traditional method based on leveling the road pavement. The application of short-step leveling and its implementation in an automated mode using devices based on laser and fiber-optic gyroscopes of the UDC "Rovnost" type is justified.

Key words: *national project, safe quality roads, longitudinal evenness, methods and instruments for measuring the evenness, irregularity amplitudes.*

Рецензенты: канд. техн. наук Н.А. Лушников,
канд. техн. наук Р.А. Еремин (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 29.03.2021 г.