

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRDROMES, BRIDGES AND TUNNELS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 5. С. 256–267.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (5): 256–267.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.7:528.024.7

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-5-256-267

EDN: XKIJU

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ РОВНОСТИ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРОФИЛОМЕТРАМИ И УНИВЕРСАЛЬНЫМ ДОРОЖНЫМ КУРВИМЕТРОМ «РОВНОСТЬ»

**Владимир Васильевич Щербаков, Сергей Сергеевич Акимов,
Ольга Владимировна Ковалева**

*Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. В настоящее время применение дорожных профилометров является основным способом для определения продольной ровности покрытий автомобильных дорог в соответствии с действующими нормативами. Методы определения ровности дорожных покрытий с использованием профилометров принципиально отличаются от методов, в основе которых лежит нивелирование.

Цель работы – сравнительный анализ особенностей определения продольной ровности покрытий автомобильных дорог профилометрами и методом амплитуд.

Отличия между данными методами заключаются как в самих способах измерений амплитуд и длин неровностей, так и в организации работ, подготовке к измерениям и непосредственном их выполнении, точности и стабильности результатов измерений. Принципиально отличаются и факторы, влияющие на точность измерений.

Для каждого профилометра требуется калибровка. Сущность калибровки заключается в сравнении данных, полученных профилометром, с данными короткошагового геометрического нивелирования, расчете масштабного коэффициента. Масштабный коэффициент позволяет учесть все индивидуальные особенности автомобиля и условия калибровки. При смене условий при измерениях учесть изменения масштабного коэффициента возможно аналитически, а практически это довольно сложный процесс. Основным ограничением короткошагового нивелирования на автомобильных дорогах является высокая трудоемкость при выполнении измерений. Данный метод может применяться в больших объемах при решении задачи автоматизации процесса нивелирования.

Выводы. В Сибирском государственном университете путей сообщения разработано устройство, обеспечивающее короткошаговое нивелирование в автоматическом режиме с шагом 5–15 см и точностью измерения приращений высот 1 мм. Прибор УДК «Ровность» обеспечивает измерение высотных отметок, определение амплитуд неровностей, длин неровностей с преобразованием данных в интегральные показатели в соответствии с требованиями. На точность измерений УДК «Ровность» не оказывают существенного влияния внешние факторы.

Ключевые слова: автомобильные дороги, покрытие автомобильной дороги, продольная ровность, методы измерения ровности, дорожный профилометр

Для цитирования: Щербаков В.В., Акимов С.С., Ковалева О.В. Особенности определения продольной ровности покрытий автомобильных дорог профилометрами и универсальным дорожным курвиметром «Ровность» // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 5. С. 256–267. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-5-256-267. EDN: XKIJU

ORIGINAL ARTICLE

LONGITUDINAL FLATNESS OF ROAD PAVEMENTS MEASURED WITH PROFILOMETER AND UNIVERSAL CURVIMETER “ROVNOST”

Vladimir V. Shcherbakov, Sergei S. Akimov, Ol'ga V. Kovaleva
Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia

Abstract. The use of road profilometers is currently the main tool to measure the longitudinal flatness of road pavements in accordance with standards. Measurement methods of road pavement flatness using profilometers fundamentally differ from those based on leveling.

Purpose: The purpose of the work is to compare measurements of road flatness with profilometers and the amplitude method.

Methodology/approach: Comparative analysis, profilometer based measurement, curvimeter based measurement. The curvimeter "Rovnost" is used to measure elevation marks, unevenness amplitude and length, and data conversion into integral indicators in accordance with the requirements.

The difference between these methods lies in measuring the amplitude and length of irregularities, as well as in the work organization, preparation for measurements and their implementation, accuracy and stability of measurement results. Factors affecting the measurement accuracy also fundamentally differ.

Each profilometer requires calibration. Calibration compares the data obtained by the profilometer with the data of short-step geometric leveling, and calculates the scale factor. The scale factor considers all characteristics of vehicles and calibration conditions. When these conditions change during measurements, it is theoretically possible to take into account the changes in the scale factor, but it is difficult in practice.

The main limitation of short-step leveling is its high labor intensity. This method can be used in large volumes when solving the problem of automating the leveling process.

Research findings: The proposed device provides short-step leveling in the automatic mode at a step of 5 to 15 cm and measurement accuracy of height increments of 1 mm. The curvimeter "Rovnost" is used for flatness measurements. External factors do not have a significant effect on the measurement accuracy of the "Rovnost" curvimeter.

Keywords: road pavement, longitudinal flatness, measurement methods, profilometer

For citation: Shcherbakov V.V., Akimov S.S., Kovaleva O.V Longitudinal Flatness of Road Pavements Measured with Profilometer and Universal Curvimeter "Rovnost". Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (5): 256–267. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-5-256-267. EDN: XKIJU

В настоящее время обеспечению высокого качества покрытий автомобильных дорог при их строительстве и ремонте стало уделяться значительное внимание. Для оценки качества при приемке в эксплуатацию дорог измеряются и оцениваются многие параметры. Показатель «продольная ровность» является одним из наиболее важных диагностических показателей, определяющих качество выполненных работ, безопасность и удобство движения, а также прочностной ресурс дорожного покрытия [1–3].

Продольная ровность дорожных покрытий может определяться различными методами и приборами, позволяющими проводить прямые (метод амплитуд, 3-метровая рейка с клиновидным промерником) или косвенные (дорожный профилометр и др. [4]) измерения и, соответственно, получать объективную или интегральную оценку ровности [5].

Однако в настоящее время в связи с изменениями, внесенными в СП 78.13330.2012¹ в 2021 г. (исключение нормативов по допустимым значениям амплитуд неровностей), требования к продольной ровности покрытия автомобильной дороги в основном сводятся к обеспечению международного показателя ровности *IRI*. Данный показатель характеризуется как отношение величины суммарного перемещения неподрессоренной массы (колеса) относительно поддрессоренной (кузова автомобиля) к длине участка дороги. В этой ситуации дорожные профилометры являются основным методом определения продольной ровности покрытия автомобильных дорог.

Цель настоящей работы – сравнительный анализ особенностей определения продольной ровности покрытий автомобильных дорог профилометрами и методом амплитуд, реализованным при помощи универсального дорожного курвиметра «Ровность».

Методы определения продольной ровности дорожных покрытий с применением профилометров принципиально отличаются от методов, в основе которых лежит нивелирование (использование высотных отметок). Отличия между данными методами заключаются как в самих способах измерений амплитуд и длин неровностей, так и в организации работ, подготовке к измерениям и непо-

¹ СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги: утвержден и введен в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 272: дата введения 2013-07-01 / подготовлен Департаментом архитектуры, строительства и градостроительной политики. URL: https://www.admkrsk.ru/citytoday/municipal/Documents/Adresa_pereplanirovok/%D0%A1%D0%9F.78.13330.2012.pdf (дата обращения: 21.02.2025).

средственным их выполнении, точности и стабильности результатов измерений по показателям, характеризующим продольную ровность. Кроме того, принципиально отличаются и факторы, влияющие на точность измерений. Поэтому для анализа рассматриваемых способов измерений, обработки данных, качества оценки результатов определения продольной ровности необходимо рассмотреть детально устройство, принцип работы различных приборов и факторы, влияющие на точность измерений и оценки показателя продольной ровности.

Продольная ровность профилометрами определяется по ГОСТ 33101–2014². В нем данный метод описывается как новый подход к определению продольной ровности. Результатом метода является продольный микропрофиль дорожного покрытия. Полученный микропрофиль позволяет при использовании программных средств, известных алгоритмов и массива данных вычислить просветы под трехметровой рейкой, модуль разности вертикальных отметок (по методу амплитуд) и международный показатель ровности *IRI* [6].

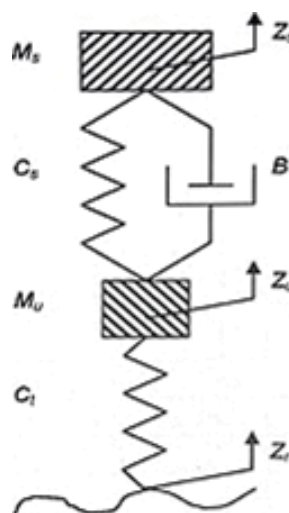
Для того чтобы выполнить полноценный анализ, рассмотрим модель, которая используется для измерений и расчета показателя *IRI*. Устройство для измерения микропрофиля покрытия автомобильной дороги и расчета показателя *IRI* – это блок модели автомобиля, представляющий собой систему, состоящую из колеса, неподрессоренной и поддрессоренной масс, упруго соединенных между собой при помощи пружин или рессор и амортизатора (рис. 1).

Рис. 1. Модель устройства для измерения микропрофиля и расчета *IRI*:

C_t – колесо с заданной жесткостью шины; M_u – неподрессоренная масса; M_s – поддрессоренная масса; C_s – упругий элемент подвески (пружины или рессоры) с заданной жесткостью; B – гасящий элемент (амортизатор) с заданным коэффициентом вязкого трения; Z_r – высотная отметка покрытия автомобильной дороги; Z_s – вертикальная координата поддрессоренной массы; Z_u – вертикальная координата неподрессоренной массы

Fig. 1. Schematic of measuring device for *IRI* microprofile and calculation:

C_t – wheel with a specified tyre stiffness; M_u – unsprung part; M_s – sprung part; C_s – elastic suspension element (springs or leaf springs) with specified stiffness; B – damping element (shock absorber) with a specified coefficient of viscous friction; Z_r – elevation mark of the road surface; Z_s – vertical coordinate of sprung part; Z_u – vertical coordinate of unsprung part



Принципиальная схема измерений неровностей дорожных покрытий прибором для контроля ровности и скользкости дорожных покрытий (ПКРС)

² ГОСТ 33101–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 ноября 2015 г. № 1931-ст: введен впервые: дата введения 2016-08-01 / подготовлен Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет» (МАДИ), Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 418 «Дорожное хозяйство». Стандартиформ, 2016. 23 с.

или толчкометром аналогична приведенной на рис. 1. При этом факторы, влияющие на точность измерений продольной ровности ПКРС или толчкометром, не отличаются от факторов, влияющих на точность определения *IRI* при вычислении интегрального значения вертикальных перемещений неподрессоренной массы с метрической размерностью (см/км). Существуют функциональные зависимости показателя продольной ровности *IRI* от результатов, полученных толчкометром и 3-метровой рейкой, приведенные в ОС-617-р³:

$$E(IRI) = 1,65 + 0,08P + 0,0005P^2, \quad (1)$$

где $E(IRI)$ – оценка ровности участка по *IRI*, м/км; P – количество просветов под 3-метровой рейкой, превышающих величину 3 мм. Эта величина выражается в процентах от общего количества просветов, полученных при измерении 3-метровой рейкой на выбранном участке.

Факторы, влияющие на точность измерений толчкометром, ПКРС и *IRI*, в научной литературе представлены в работах [7, 8].

Для сравнительного анализа влияния различных факторов на измерения микропрофиля рассмотрим более детально принцип измерения превышений (вертикальной координаты) профилометрами. В качестве датчиков для измерения разности высотных отметок (превышений) поддрессоренной массы Z_s и высотных отметок покрытия автомобильной дороги Z_r (приращений высоты ΔZ) (рис. 1) используются энкодеры, датчики линейных перемещений, акселерометры, инерциальные системы. Датчики обеспечивают «шаг» измерения приращений (линейная величина) в зависимости от требований и конструкции в диапазоне 0,01–10 мм, поэтому при определении величины неровностей (изменение вертикальной координаты) обеспечивается требуемая точность измерений ΔZ косвенно по данным измерения ускорения или непосредственно приращение вертикальных перемещений, например, энкодером.

В профилометрах применяются акселерометры, которые обеспечивают за счет двойного интегрирования вертикальных ускорений и соответствующей обработки (фильтрация) данных определение линейных вертикальных перемещений, при этом точность зависит (при использовании акселерометров) от времени, что влияет на определение амплитуды при увеличении длин неровностей. Для того чтобы от измеренных величин перейти к метрическим данным микропрофиля, необходимо для каждого профилометра, установленного на автомобиль, выполнять калибровку, а для расширения диапазона измерений калибровку выполнять на нескольких эталонных участках.

Сущность калибровки заключается в следующем: приращения высотных отметок, полученные с помощью профилометра, сравниваются с данными высокоточного короткошагового геометрического нивелирования (с шагом 0,125 и 0,25 м), выполненного в соответствии с нормативными требованиями. На основе этого сравнения производится расчет масштабного коэффициента, а также оцениваются точность, повторяемость и другие метрологические характеристики прибора. Определение масштабного коэффициента выполняется индивидуально

³ Руководство по оценке ровности дорожных покрытий толчкометром: утверждено и введено в действие Росавтодором от 17 июля 2002 г. № ОС-617-р. // МЕГАНОРМ: [сайт]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294846/4294846115.htm> (дата обращения: 27.10.2024).

для каждого автомобиля. На величину масштабного коэффициента m_0 влияют: точность и «шаг» геометрического нивелирования, скорость движения по эталонному участку V_0 , температура T_0 , профиль дороги (продольные уклоны) участка дороги i_0 , распределение масс в автомобиле M_0 . Таким образом, масштабный коэффициент позволяет учесть все индивидуальные особенности автомобиля, условия калибровки, скорость, уклоны, распределение масс в автомобиле, фактор температуры окружающего воздуха и особенности работы фильтра при обработке статистических данных за счет использования нескольких участков.

При натурных измерениях продольной ровности профилометрами с учетом приведенного влияние оказывают изменения параметров, при которых определялся масштабный коэффициент m_0 на эталонном участке. Например, изменение температуры влияет на жесткость пружин и жесткость шины, а изменение жесткости влияет на амплитуду поддрессоренной и неподдрессоренной масс при вертикальных перемещениях и, соответственно, на измерение приращений высотных отметок ΔZ .

Масштабный коэффициент в любой i -й точке будет зависеть от разности текущих значений параметров и значений этих же параметров в момент калибровки. Итоговый масштабный коэффициент m_i в любой i -й точке складывается из составляющих функциональных зависимостей f различных факторов, влияющих на результат измерения вертикальной координаты (приращения высотных отметок):

$$m_i = m_0 [f(\Delta V) + f(\Delta T) + f(\Delta i) + f(\Delta M)]. \quad (2)$$

Ошибка измерений амплитуды неровности δ_i , мм, в любой i -й точке будет составлять величину

$$\delta_i = (m_i - m_0) \Delta Z_i, \quad (3)$$

где m_i – текущий масштабный коэффициент; ΔZ_i – текущее значение приращения высотных отметок, мм.

Учесть изменения масштабного коэффициента m_i возможно аналитически, зная функциональные зависимости, а практически, с учетом влияния нескольких факторов одновременно, сложно. В ГОСТ 33101–2014 существуют ограничения только на отклонение скорости от паспортного значения, другие факторы не учитываются. При этом выдержать скорость движения в заданном диапазоне (например, 50 км/ч) в городских условиях и при интенсивном движении сложно, поэтому даже параметры, регламентированные в нормативных требованиях, оказывают негативное влияние на точность измерений [9].

Корректировать данные, измеренные профилометром, возможно при наличии текущих значений температуры, продольных уклонов, перераспределения массы автомобиля, скорости движения, что значительно усложняет измерительную систему, калибровку профилометров и непосредственно измерения. Результаты исследований [3, 4] подтверждают полученные выводы. Изменения показателя продольной ровности увеличиваются с течением времени при нескольких циклах измерений одного и того же участка автомобильной дороги, а в отдельных циклах точность не соответствует паспортным значениям и существенно их превышает, например, если внешние условия измерений отличаются от эталонных, при которых выполнялась калибровка.

Учитывая, что в качестве эталонного метода для калибровки профилометров используется короткошаговое нивелирование, логично представить, что данный метод является не эталонным средством для калибровки, а основным (вместо профилометров). В этом случае при определении продольной ровности параметры автомобиля, температура, продольный профиль и другие факторы на результат измерений влиять не будут. Кроме того, при короткошаговом нивелировании измеряемые значения (приращения высот, линейная координата) используются непосредственно так же, как и в методе амплитуд, для расчета показателя ровности. При этом исключается фильтрация, процесс, который обеспечивает определение параметров с какими-либо ограничениями в заданном диапазоне и, соответственно, с погрешностями, характерными только для конкретного фильтра.

Короткошаговое нивелирование широко применяется в геодезии при строительстве технологических линий, мониторинге сложного технологического оборудования, контроле подкрановых путей. Основным ограничением для широкого применения короткошагового нивелирования на автомобильных дорогах является высокая трудоемкость при выполнении измерений, исключающая возможность его практического применения в больших объемах на автомобильных дорогах. Кроме того, при измерении и обработке данных также требуется высокая квалификация геодезистов. Поэтому для создания эталонных участков, ограниченных по длине, такой способ, несмотря на высокую трудоемкость, применяется, т. к. нет альтернативы по точности данному методу при создании эталонных участков для калибровки профилометров.

Для возможности применения короткошагового нивелирования при определении показателя ровности дорожного покрытия необходимо исключить большую трудоемкость за счет автоматизации процесса нивелирования. Использование метода амплитуд для расчета показателя продольной ровности по данным короткошагового нивелирования позволит сохранить все преимущества этого метода, высокую точность и достоверность данных, а короткий шаг съемки (0,125; 0,25 м) обеспечит высокий уровень детализации. Так, привязка данных (величина амплитуды, начало и конец неровности) может быть выполнена в любой точке в линейной системе координат, исключается влияние внешних факторов на точность измерений, сложный процесс калибровки и влияние режима измерений. Таким образом, автоматизация короткошагового нивелирования может обеспечить эффективное использование данного метода для определения продольной ровности при выполнении исполнительных съемок и диагностике.

В СГУПС разработано аналогичное устройство [10], программное обеспечение и методика измерений, обеспечивающие короткошаговое нивелирование с шагом 5–15 см (в зависимости от конструкции ходовой тележки) с точностью измерения приращений высот 1 мм. Устройство включает подвижный объект (ходовую тележку), волоконно-оптический или механический гироскоп (в зависимости от конструкции), датчик пути и компьютер (рис. 2). Разработка выполнена на базе известных в геодезии измерительных систем, в основе которых лежит принцип механического (автоматизированного) нивелирования, включающий измерение высотных отметок прибором, установленным на автомобиль или специальные тележки, позволяющий полностью автоматизировать определение высотных отметок и их привязку в линейной системе координат.

В основе современных автоматизированных приборов лежит измерение продольного угла наклона подвижного объекта и приращения пути (расстояния) одометром, расчет приращения высот и их интегрирование. Применяются современные цифровые инклинометры, гироскопические и инерциальные системы, а также компьютеры и микроконтроллеры. Схема реализации таких систем в общем виде приведена на рис. 2 [10].

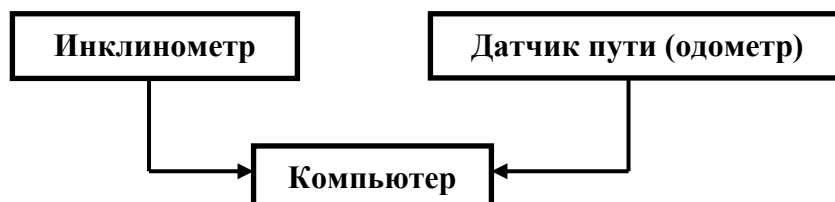


Рис. 2. Блок-схема устройства для определения продольной ровности короткошаговым нивелированием

Fig. 2. Block diagram of a device for measuring longitudinal flatness using short-step levelling

Сущность определения превышений в данных системах заключается в измерении продольного угла γ и единичного приращения пути ΔL , которые являются исходными для расчета текущего превышения h_i :

$$h_i = \sum_{i=1}^n \sin \gamma \Delta L, \quad (4)$$

где n – количество приращений пути; i – номер точки, для которой определяется превышение; ΔL – единичное приращение пути, мм; γ – текущий продольный угол наклона тележки, град.

Таким образом, формируется массив высотных отметок (приращений высот h_i) с шагом 5 или 15 см в зависимости от типа измерительного средства с линейной привязкой к координате пути, который при обработке данных обеспечивает широкий спектр решения инженерных задач, включая определение продольной ровности.

Амплитуды неровности δ_i , мм, для каждого измерительного интервала L рассчитывают по известной формуле

$$\delta_i = \left| \frac{h_{i-k} + h_{i+k}}{2} - h_i \pm \Delta_i \right|, \quad (5)$$

где h_{i-k} , h_{i+k} – условные превышения начальной и конечной точек заданного измерительного интервала L , м; h_i – псевдопревышение точки, для которой определяют амплитуду неровности, м; Δ_i – поправка, учитывающая кривизну дороги, при наличии вертикальной кривой с известным радиусом, мм.

Значение Δ_i определяется по формуле

$$\Delta_i = \frac{L^2}{8R}, \quad (6)$$

где L – длина измерительного интервала пути (10, 20, 40 м) для расчета поправки, мм; R – радиус вертикальной кривой (величина, известная из проекта или измеренная с использованием высотных отметок, например, приемником ГНСС), мм.

Программное обеспечение позволяет выполнить расчет показателя ровности по высотным отметкам (метод амплитуд) для измерительной базы 10, 20 и 40 м в соответствии с ГОСТ Р 56925–2016⁴, а также выполнить расчет по высотным отметкам значений амплитуд неровностей с учетом требований для измерения рейкой дорожной и *IRI* в соответствии с ГОСТ Р 59120–2021⁵ и ГОСТ 33220–2015⁶.

На рис. 3 приведены варианты реализации систем механического (автоматизированного) короткошагового нивелирования для различных условий измерения и особенностей применения на автомобильных дорогах и аэропортах (УДК «Ровность»).

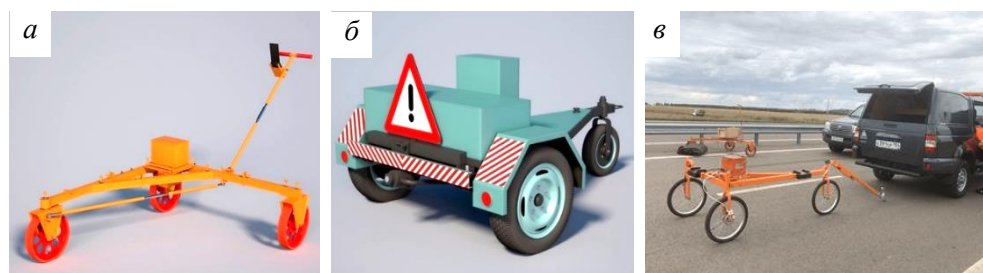


Рис. 3. Модель УДК «Ровность»:

а – ручной привод на закрытых для движения участках дорог с оптоволоконным гироскопом; *б* – прицепной модуль с механическим гироскопом; *в* – прицепной модуль-трансформер с оптоволоконным гироскопом

Fig. 3. 'Rovnost' profilometer:

a – manual drive on road sections closed to traffic with fiber optic gyroscope; *b* – trailer module with mechanical gyroscope; *c* – trailer transformer module with fiber optic gyroscope

На рис. 4 показано главное окно оператора с результатами оценки продольной ровности.

⁴ ГОСТ Р 56925–2016. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 мая 2016 г. № 370-ст: введен впервые: дата введения 2016-10-01 / подготовлен Научно-исследовательским институтом ЗАО «Союздорнии» // КонсультантПлюс : [сайт]. URL: https://kontrol04.ru/upload/2023/03/5_20221207-gost-r-56925-2016-nacionalnyj-standart-rossijskoj-federaci.pdf (дата обращения: 21.02.2025).

⁵ ГОСТ Р 59120–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 марта 2021 г. № 121-ст: введен впервые: дата введения 2021-05-01 / подготовлен Федеральным автономным учреждением «Российский дорожный научно-исследовательский институт» Министерства транспорта Российской Федерации // КонсультантПлюс : [сайт]. URL: https://www.mos.ru/upload/documents/files/2804/GOSTR59120-2021DorogiautomobilnicobshegopolzovaniyaDorojnayaodej_.pdf (дата обращения: 21.02.2025).

⁶ ГОСТ 33220–2015. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 августа 2015 г. № 1122-ст: дата введения 2015-12-01 / подготовлен Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский дорожный научно-исследовательский институт» Министерства транспорта Российской Федерации. URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/6435/GOST33220-2015.pdf> (дата обращения: 21.02.2025).

Результат						
?	Шаг определения ровности	5 м	10 м	20 м	Интервал, м	Рейка, %
Всего измерений		38893	38799	38565	0-100	0.0
Количество измерений меньше (равно) допустимого		38849	38523	38060	100-200	0.0
		99.9%	99.3%	98.7%	200-300	0.0
Количество измерений превышающих допуск		44	276	505	300-400	1.0
		0.1%	0.7%	1.3%	400-500	0.0
					500-600	3.0
					600-700	3.0
Количество измерений не превышающих 1,5 допуск		44	276	490	700-800	1.5
		0.1%	0.7%	1.3%	800-900	0.0
Количество измерений свыше 1,5 допуса		0	0	15	900-1000	0.0
		0.0%	0.0%	0.0%	1000-1100	3.5
Максимальное отклонение в мм.		6мм	10мм	24мм	1100-1200	6.0
		по методу амплитуд		по рейке	по ИРИ	
ВЫВОД:		НЕТ		ДА	ДА	
(Соответствие проверяемого участка дороги требованиям ГОСТ и СНиП)						
		Экспорт		Печать	OK	

Рис. 4. Результаты измерений и оценки показателя «ровность»
Fig. 4. Measurement and assessment results of pavement flatness

В соответствии с ГОСТ Р 56925–2016 расстояние на измерительном интервале $i - (i - 1)$ составляет 5 м, высотные отметки в соответствии с нормативными требованиями определяются через каждые 5 м, а расчет амплитуд выполняется для измерительной базы 10, 20 и 40 м. По данным массива высотных отметок (превышений) определяется количество просветов под 3-метровой рейкой и международный показатель ровности *IRI*.

Выводы

При сравнительном анализе особенностей определения продольной ровности покрытий автомобильных дорог дорожным профилометром и универсальным дорожным курвиметром «Ровность» необходимо отметить следующее:

- прибор УДК «Ровность» обеспечивает измерение высотных отметок, определение амплитуд неровностей, длин неровностей с преобразованием данных в интегральные показатели с единицами измерения (мм/м, см/км), просветы под 3-метровой дорожной рейкой;
- на точность измерения УДК «Ровность» не оказывают существенного влияния внешние факторы (изменение скорости движения, изменение массы автомобиля, температура, продольный профиль и др.);
- работа с УДК «Ровность» не требует трудоемких процессов по созданию эталонных базисов с использованием геометрического нивелирования, калибровки, а также различных по настройкам фильтров;
- применение УДК «Ровность», включающего в себя оптоволоконные или лазерные гироскопы, обеспечивает высокую точность измерения превышений и, соответственно, амплитуд и длин неровностей, сопоставимую с геометрическим короткошаговым нивелированием;
- УДК «Ровность» может применяться для создания эталонных участков при калибровке профилометров дорожных передвижных лабораторий вместо геометрического нивелирования;

– скорость движения при определении показателя продольной ровности профилометром составляет 50 км/ч, при использовании УДК «Ровность» – 25 км/ч при транспортировке прибора автомобилем и 3 км/ч при ручном при-
воде при транспортировке человеком;

– погрешность измерения УДК «Ровность» – менее 1 %.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Пегин П.А., Капский Д.В., Буртыль Ю.В.* Разработка методики оценки продольной ровности дорожного покрытия при изменении прочности дорожных конструкций // Бюллетень результатов научных исследований. 2022. № 4. С. 37–47. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-4-37-47. EDN: UDGHIJ
2. *Углова Е.В., Тиратурян А.Н., Шамраев Л.Г.* Современный подход к оценке транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог государственной компании «Российские автомобильные дороги» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1 (6). С. 38–51. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.7. EDN: XAMXGZ
3. *Маданбеков Н.Ж., Абышев Т.Б.* Совершенствование методов определения ровности дорожных одежд в условиях Кыргызской Республики // Актуальные научные исследования в современном мире. 2017. № 10 (30). С. 72–78. EDN: ZRYLQB
4. *Середович В.А., Алтынцев М.А., Егоров А.К.* Определение индекса ровности дорожного покрытия по данным мобильного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. 2017. Т. 22. № 3. С. 33–44. EDN: ZHICHF
5. *Щербаков В.В., Акимов С.С., Ефимов Н.В.* Приборы для определения ровности покрытия на автомобильных дорогах // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2023. Т. 1. № 1. С. 184–190. DOI: 10.33764/2618-981X-2023-1-1-184-190. EDN: GMLCEW
6. *Корневский В.В., Кнышов А.А., Мордик Е.А.* Оптимизация методов диагностики и оценки технического состояния автомобильных дорог // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2019. № 9. С. 198–202. DOI: 10.23672/SAE.2019.9.36819. EDN: UNIIUV
7. *Щербаков В.В., Конкин А.В., Щербаков И.В., Ковалева О.В.* Средства и методы измерения ровности покрытий автомобильных дорог // Дороги и мосты. 2021. № 1 (45). С. 61–74. EDN: UVQSAA
8. *Щербаков В.В., Акимов С.С.* Совершенствование метода измерения продольной ровности покрытий автомобильных дорог // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 2 (69). С. 106–114. DOI: 10.52170/1815-9265_2024_69_106. EDN: TNDCPN
9. *Уроков А.Х.* Анализ результатов ровности дорожного покрытия, полученных на различных устройствах // Молодой ученый. 2023. № 21 (468). С. 109–111. EDN: SRKDXR
10. *Патент № 2820228 С1* Российская Федерация, МПК G01C 7/04, E01C 23/01. Устройство для определения ровности покрытия автомобильных дорог : № 2023127396 : заявл. 23.10.2023 : опубл. 31.05.2024 / Щербаков В.В., Щербаков И.В., Бунцев И.А., Акимов С.С. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения». 12 с. EDN: WIAJVC

REFERENCES

1. *Pegin P.A., Kapskiy D.V., Burtly Yu.V.* Development of Assessment Methodology for Pavement Longitudinal Flatness at Different Durability of Road Structures. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy*. 2022; 4: 37–47. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-4-37-47. EDN: UDGHIJ (In Russian)
2. *Uglova E.V., Tiraturyan A.N., Shamraev L.G.* A Modern Approach to Assessing Transport and Road Operation of the State Company "Russian Roads". *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog*. 2016; 1 (6): 38–51. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.7. EDN: XAMXGZ (In Russian)
3. *Madanbekov N.Zh., Abyshv T.B.* Improvement of Measuring Road Pavements Flatness in the Kyrgyz Republic. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*. 2017; (10 (30)): 72–78. EDN: ZRYLQB (In Russian)

4. Sereдович V.A., Altyntsev M.A., Egorov A.K. Determination of Road Surface Flatness Index Based on Mobile Laser Scanning Data. *Vestnik of Siberian State University of Geosystems and Technologies*. 2017; 22 (3): 33–44. EDN: ZHICHF (In Russian)
5. Shcherbakov V.V., Akimov S.S., Efimov N.V. Devices for Road Surface Flatness Measurement. *Interesko Geo-Sibir'*. 2023; 1(1): 184–190. DOI: 10.33764/2618-981X-2023-1-1-184-190. EDN: GMLCEW (In Russian)
6. Korenevsky V.V., Knyshov A.A., Mordik E.A. Optimization of Diagnostic and Assessment Methods of Road Technical Conditions. *Gumanitarnye, sotsial'no-ekonomicheskie i obshchestvennye nauki*. 2019; 9: 198–202. DOI: 10.23672 / SAE.2019.9.36819. EDN: UNIIUV (In Russian)
7. Shcherbakov V.V., Konkin A.V., Shcherbakov I.V., Kovaleva O.V. Modern Instruments and Methods for Measuring Road Pavement Flatness. *Dorogi i mosty*. 2021; 1(45): 61–74. EDN: UVQSAA (In Russian)
8. Shcherbakov V.V., Akimov S.S. Improving Measuring Method of Longitudinal Flatness of Road Surfaces. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2024; 2 (69): 106–114. DOI: 10.52170/1815-9265_2024_69_106. EDN: TNDCPN (In Russian)
9. Urokov A.Kh. Measurement Results of Road Pavement Flatness Obtained by Various Devices. *Molodoi uchenyi*. 2023; 21 (468): 109–111. EDN: SRKDXR (In Russian)
10. Shcherbakov V.V., Shcherbakov I.V., Buntsev I.A., Akimov S.S. “Device for Road Flatness Measurement”. Patent Russ. Fed. No. 2820228. 2024. 23 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Щербakov Владимир Васильевич, докт. техн. наук, профессор, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, vvs@stu.ru

Акимов Сергей Сергеевич, инженер-технолог, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ak_s_s@mail.ru

Ковалева Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, kov@stu.ru

Authors Details

Vladimir V. Shcherbakov, DSc, Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, vvs@stu.ru

Sergei S. Akimov, Industrial Engineer, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, ak_s_s@mail.ru

Olga V. Kovaleva, PhD, A/Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, kov@stu.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

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

Статья поступила в редакцию 24.02.2025
Одобрена после рецензирования 08.04.2025
Принята к публикации 21.04.2025

Submitted for publication 24.02.2025
Approved after review 08.04.2025
Accepted for publication 21.04.2025