

УДК 625.723-023.711

Жустарёва Елена Владимировна, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, joustareva@mail.ru

Бочкарев Владимир Ильич, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, sed@madi.ru

Танатова Анна Муратовна, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, sed@madi.ru

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОДОЛЬНОЙ РОВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПО МИКРОПРОФИЛЮ

Аннотация. Актуальность рассматриваемого вопроса связана с введением ГОСТ 33101-2014 «Автомобильные дороги общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения ровности». Данный ГОСТ предусматривает оценку ровности покрытия автомобильных дорог Международным индексом ровности IRI на основании измерения продольного микропрофиля. В современных условиях сбора и анализа статистических данных существует необходимость сопоставления результатов измерений, полученных различными установками, и приведение их к единому показателю. В статье представлен анализ существующих функциональных зависимостей между показателями продольной ровности, такими как показатели по ПКРС и IRI. Приведены результаты статистической обработки данных, полученных при измерении продольной ровности профилометрической установкой и ПКРС на платной автомобильной дороге «Новый выход на Московскую кольцевую автомобильную дорогу с федеральной автомобильной дороги М-1 «Беларусь» (Северный обход города Одинцово). На основании этих исследований предложен новый вид зависимости между показателями IRI и ПКРС для участков с хорошей ровностью.

Ключевые слова: продольная ровность, показатель ровности по ПКРС, международный показатель ровности IRI, микропрофиль, автомобильная дорога.

Zhustareva Elena V., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, joustareva@mail.ru

Bochkarev Vladimir I., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, sed@madi.ru

Tanatova Anna M., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, sed@madi.ru

COMPUTATION OF ESTIMATED INDICES OF ROAD LONGITUDINAL EVENNESS USING MICROPROFILE

Abstract. The article becomes topical in connection with the introduction of GOST 33101-2014 "Automobile roads of the general use. Road pavement. Roughness

measurement methods". GOST 33101-2014 provides for estimation of the road longitudinal smoothness by the International Roughness Index IRI on the basis of measuring the longitudinal microprofile. Under present conditions of gathering and analyzing statistical data it's necessary to compare measurement results obtained by different measuring instruments and to reduce them to a single index. The article presents the analysis of existing analytical dependencies between the indices of longitudinal smoothness such as indices according to PKRS and IRI. The results of the data statistical processing obtained when measuring the longitudinal smoothness using the profilometer and the PKRS on the toll road "New exit to the Moscow ring road from the federal highway M-1 "Belarus" (Northern bypass of the Odintsovo city) are given. On the basis of these studies a new dependence between the IRI and the PKRS indices for good smooth roads is offered.

Key words: longitudinal evenness, PKRS Roughness index, the International Roughness Index IRI, microprofile, automobile roads.

Введение

В рамках гармонизации базы нормативных документов стран-участниц Таможенного союза был разработан и введен ГОСТ 33101-2014 «Автомобильные дороги общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения ровности» [1], который расширяет перечень оценочных показателей и методов контроля продольной ровности автомобильных дорог, а также вводит новый подход к оценке ровности покрытия автомобильных дорог, который заключается в измерении продольного микропрофиля в виде массива ординат.

Для измерения микропрофиля необходимы специальные установки – профилометры. Несмотря на то, что такие установки существуют, их распространение на территории Российской Федерации ограничено. В настоящее время для оценки продольной ровности покрытий автомобильных дорог довольно широко используют установки ПКРС-2У и толчкомеры (ТХК). Такая практика обусловлена традиционным подходом к измерению и оценке ровности, но приводит к существенным противоречиям:

– некоторые установки морально и физически устаревают, и результаты их измерений без соответствующей адаптации невозможно использовать для создания информационных баз данных;

– на федеральных автомобильных дорогах, к которым предъявляются самые высокие требования, при эксплуатации необходимо применять самое современное оборудование и передовые методы измерений;

– для разработки систем управления автомобильными дорогами требуется не только информация об изменении ровности автомобильных дорог, но и возможность сопоставления этих измерений. Однако большое разнообразие применяемых для измерения ровности методов, установок и приборов значительно усложняет эту задачу.

Основная часть

Решением перечисленных выше противоречий является разработка алгоритмов приведения результатов измерений, полученных различными установками, к единому показателю. Таким показателем может быть выбран Международный индекс ровности *IRI* (*International Roughness Index*), который стал официальным оценочным показателем продольной ровности в РФ благодаря введению ГОСТ 33101-2014 [1].

За рубежом широко применяются зависимости, выражающие связь между различными оценочными показателями продольной ровности [7, 8, 9, 10]. В РФ такими исследованиями занимались В.П. Жигарев [2], О.А. Красиков [3], А.П. Васильев [4], Н.А. Лушников [5] и другие.

В настоящее время существуют два нормативных документа, в которых предложены зависимости между показателями *IRI* и ПКРС.

В «Рекомендациях по адаптации исходных данных в модели *HDM-4* к российским условиям» [4] предложена линейная зависимость между *IRI* и показателем ровности, вычисленным установкой ПКРС:

$$IRI = 0,0073 \text{ ПКРС} - 0,33, \quad (1)$$

где *IRI* – Международный индекс ровности, м/км; ПКРС – показатель прибора ПКРС, см/км.

Согласно проекту «Управление дорогами Северо-Запада России» [6] предложена степенная функция для оценки зависимости между IRI и ПКРС:

$$IRI = 1,02 + 0,003564(PKRS)^{0,9}, \quad (2)$$

где $PKRS$ – показатель прибора ПКРС, см/км.

Математический анализ формулы (1) показал, что при определенных значениях ровности по ПКРС возможны отрицательные значения показателя IRI , что противоречит физической сущности показателя IRI . По мнению разработчиков модели (2), показатель степени 0,9 был введен в уравнение для уменьшения влияния чрезмерно высоких показаний ровности по ПКРС [6]. Поэтому эта зависимость не может считаться корректной. Таким образом, уточнение функциональных зависимостей с учетом результатов фактических измерений является важной научно-практической задачей.

Настоящие исследования были выполнены на основании данных по ежегодному мониторингу транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги «Новый выход на Московскую кольцевую автомобильную дорогу с Федеральной автомобильной дороги М-1 «Беларусь» (Северный обход города Одинцова). Данные были предоставлены ГК «Автодор».

Данная автодорога является платным дублёром существующей автотрассы М-1 «Беларусь» и была открыта 26 ноября 2013 года. Технические параметры рассматриваемой автомобильной дороги: категория автомобильной дороги – ІБ, длина дороги – 18,5 км. В ходе мониторинга измерение продольной ровности проводилось установкой «Комплекс измерительной аэродромно-дорожной лаборатории КИ-514 РДТ». По результатам измерений продольной ровности установкой ПКРС-2У, а также профилометрической установкой были получены значения показателей ПКРС (см/км) и IRI (м/км).

Для предварительного анализа по формулам (1) и (2) были вычислены значения ПКРС на основании фактических значений показателя *IRI*. Сопоставление фактических данных с результатами, вычисленными по зависимостям 1 и 2, показано на рис. 1.

Результаты, вычисленные по зависимости 2, хорошо ложатся в поле фактических данных при значении *IRI* до 3 м/км, но совсем не совпадают с фактическими данными при больших значениях. Результаты, вычисленные по зависимости 1, лучше отражают общую динамику изменения показателей *IRI* и ПКРС, но имеют явное смещение в область малых значений ПКРС. Следовательно, необходимо установить новую зависимость или уточнить существующие по фактическим данным.

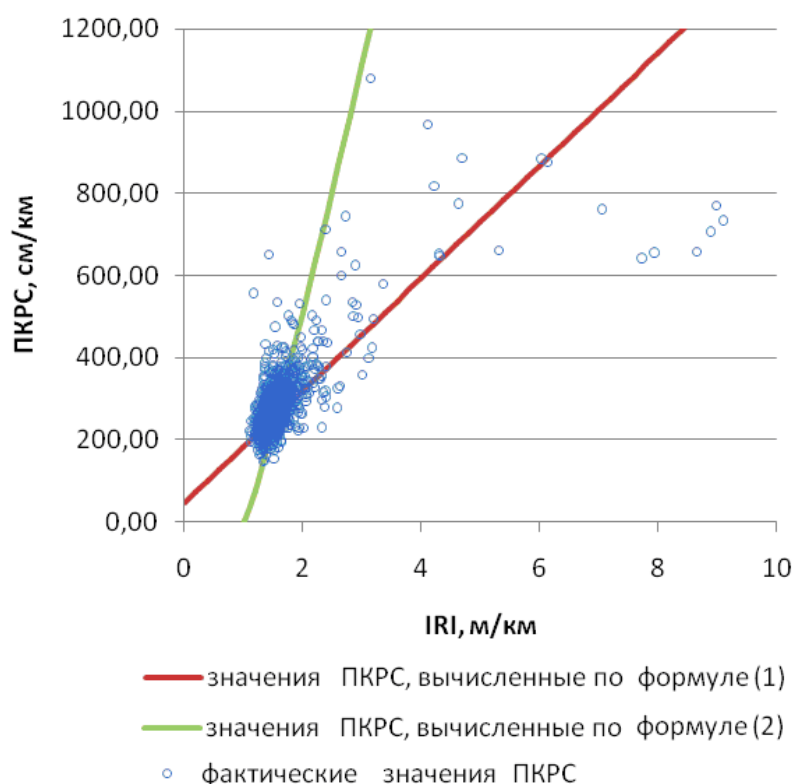


Рис. 1. Соотношение рассматриваемых зависимостей и фактических данных

Подбор зависимости осуществлялся с помощью программы "Statistica" по следующим направлениям: уточнение линейной зависимости, уточнение степенной зависимости, подбор функциональной зависимости другого типа.

Результаты вычислений представлены в табл. 1. Наибольший коэффициент корреляции соответствует полиномиальной зависимости. Однако при значении IRI более 7 м/км значения ПКРС снижаются, что противоречит сути описываемого процесса. Линейная и экспоненциальная зависимости имеют наименьшие коэффициенты корреляции. Логарифмическая и степенная зависимости имеют приблизительно одинаковые коэффициенты корреляции. Предпочтительной является степенная зависимость, так как в ней отсутствует свободный член, который вносит погрешность в вычисления при значениях показателей близких к нулю.

Таблица 1

№ п/п	Функция	Коэффициент корреляции R
1	$ПКРС = 161,25 \cdot IRI$	0,420
2	$ПКРС = 136,64 + 92,51 \cdot IRI$	0,725
3	$ПКРС = 209,99 \cdot IRI^{0,67}$	0,754
4	$ПКРС = -2877,08 + 3034,39 \cdot IRI^{0,09}$	0,777
5	$ПКРС = -36,04 + 227,59 \cdot IRI - 15,38 \cdot IRI^2$	0,791
6	$ПКРС = 149,47 + 700,84 \cdot \log_{10}(IRI)$	0,776
7	$ПКРС = 222,35 \cdot \exp(0,16 \cdot IRI)$	0,643

Таким образом, выбранная зависимость имеет вид:

$$ПКРС = 209,99 \cdot IRI^{0,67}, \quad (3)$$

где $PKRS$ – показатель прибора ПКРС, см/км.

На рис. 2 представлено графическое сравнение рассматриваемых зависимостей 1, 2, 3 и фактических данных.

Сравнительная оценка точности по величинам средней абсолютной и средней относительной ошибок (табл. 2) показала, что зависимости (3) соответствует меньшая абсолютная погрешность при приблизительно

одинаковой средней относительной погрешности по сравнению с зависимостью (1).

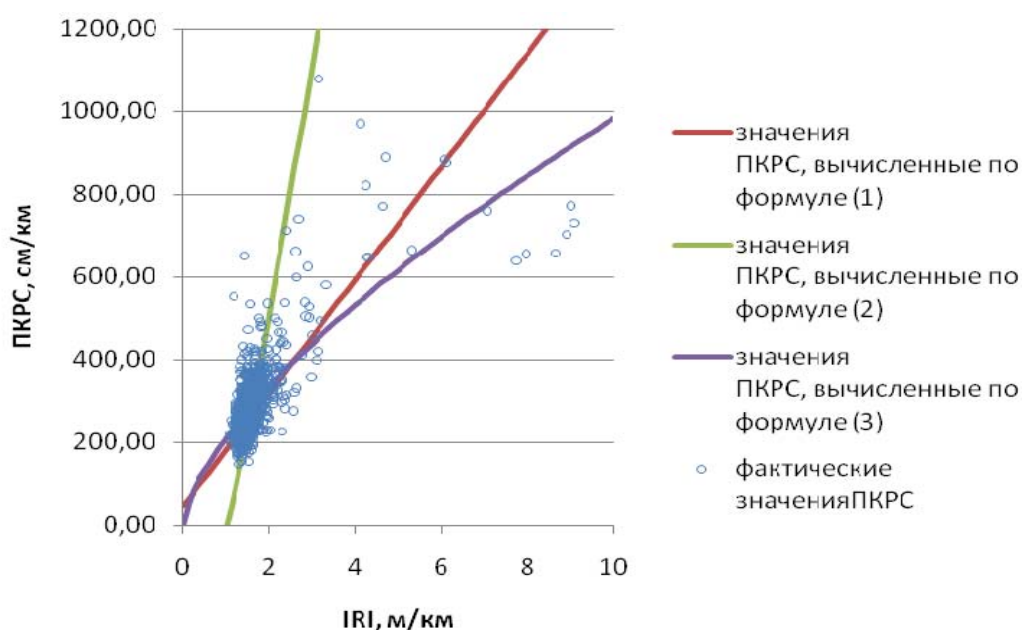


Рис. 2. Сравнение зависимостей 1, 2 и 3 и фактических данных

Таблица 2

№ формулы	Вид функции	Средняя абсолютная ошибка, см/км	Средняя относительная ошибка, %
1	$IRI = 0,0073 \text{ ПКРС} - 0,33$	44,01	13,51
2	$IRI = 1,02 + 0,003564(PKRS)^{0,9}$	133,20	36,39
3	$ПКРС = 209,99 \cdot IRI^{0,67}$	41,54	14,09

Заключение

Предложенная зависимость в исследуемом диапазоне значений более точно выражает связь между такими оценочными показателями продольной ровности, как показатели ПКРС и *IRI*.

Следует обратить внимание на то, что исследуемая автомобильная дорога является платной и имеет высокий уровень содержания. Продольная ровность на данной дороге в среднем имеет значения показателя *IRI* от 1 до 3 м/км, что соответствует хорошей ровности.

Участки с плохой или неудовлетворительной ровностью практически отсутствуют. Поэтому предложенная степенная зависимость может быть скорректирована с учетом новых данных для участков с неудовлетворительной ровностью. Рекомендуется проводить дальнейшие исследования на участках со значениями показателя IRI более 3 м/км.

Список литературы

1. ГОСТ 33101-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности. – Введ. 01-08-2016. – М.: Стандартинформ, 2016. – 17 с.
2. Борисевич, В.Б. Оценка ровности дорожной поверхности международным индексом ровности и показателем прибора ПКРС / В.Б. Борисевич, В.П. Жигарев // Расчетные и экспериментальные исследования вибронагруженности и прочности элементов конструкции автотранспортных средств: сб. науч. тр. – М.: МАДИ, 1999. – С. 4–18.
3. ОДМ 218.11.001-2015. Методические рекомендации по учету увеличения динамического воздействия нагрузки по мере накопления неровностей и определению коэффициента динамичности в зависимости от показателя ровности. – М.: Росавтодор, 2015.
4. Рекомендации по адаптации исходных данных в модели HDM-4 к российским условиям: отраслевой дорожный методический документ. – М.: Росавтодор, 2004.
5. Могильный, К.В. Международный индекс ровности дорожных покрытий и его использование в странах Таможенного союза / К.В. Могильный, Н.А. Лушников, О.А. Красиков // Дороги и мосты. – 2013. – № 1. – С. 92–112.
6. Управление дорогами Северо-Запада России: технический отчет 8. «Руководство по HDM-4 и Генеральный план ремонтных работ». Окончат. версия 31 дек. 2002 г.

7. Paterson, W.D. International Roughness Index: Relationship to Other Measures of Roughness and Riding Quality / W.D. Paterson // Transportation Research Record. – 1986. – N 1084.
8. Susilo, Y.O. The comparison of roughness measurement between NAASRA, ROMDAS, and MERLIN devices / Y.O. Susilo, B.I. Siswosoebroto, S. Hendarto // The 4th Indonesian National Symposium of Inter-University Transportation Study Forum, Udayana University, Denpasar, Indonesia, 2001. – URL: <http://eprints.uwe.ac.uk/10071>
9. Development of Relationship between Roughness (IRI) and Visible Surface Distresses: a Study on PMGSY Roads / J.R. Prasada, S. Kanugantib, P.N. Bhanegaonkarc, A.K. Sarkar, S. Arkatkar // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – Vol. 104. – P. 322–331.
10. Smith, K.L. Pavement Smoothness Index Relationships / K.L. Smith, L. Titus-Glover, L.D. Evans // Final Report (FHWA-RD-02-057). – Federal Highway Administration, McLean, Virginia. October 2002. – P. 1.

References

1. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Pokrytiya dorozhnye. Metody izmereniya rovnosti, GOST 33101-2014 (Public roads. Road surface. Methods for measuring evenness, State Standart 33101-2014), Moscow, Standartinform, 2016, 17 p.
2. Borisevich V.B., Zhigarev V.P. *Raschetnye i ehksperimental'nye issledovaniya vibronagruzhennosti i prochnosti ehlementov konstrukcii avtotransportnyh sredstv*, Sbornik nauchnyh trudov, Moscow, MADI, 1999, pp. 4–18.
3. *ODM 218.11.001-2015. Metodicheskie rekomendacii po uchetu uvelicheniya dinamicheskogo vozdejstviya nagruzki po mere nakopleniya nerovnostej i opredeleniyu koehfficienta dinamichnosti v zavisimosti ot pokazatelya rovnosti* (ODM 218.11.001-2015. Methodical recommendations

for accounting of increase in dynamic impact loads on the accumulation of irregularities and the determination of the dynamic factor depending on the indicator of flatness), Moscow, Rosavtodor, 2015.

4. *Rekomendacii po adaptacii iskhodnyh dannyh v modeli HDM-4 k rossijskim usloviyam: otraslevoj dorozhnyj metodicheskij document* (Recommendations for adapting the source data model HDM-4 to the Russian environment: branch road methodological document), Moscow, Rosavtodor, 2004.

5. Mogil'nyj K.V., Lushnikov N.A., Krasikov O.A. *Dorogi i mosty*, 2013, no. 1, pp. 92–112.

6. *Upravlenie dorogami Severo-Zapada Rossii: tekhnicheskij otchet 8. «Rukovodstvo po HDM-4 i General'nyj plan remontnyh rabot». Okonchat. versiya 31 dek. 2002 g.* (Road management in North-West Russia: technical report 8. "Manual for the HDM-4 and the General plan for repairs". Graduate. version 31 Dec. 2002).

7. Paterson W.D. International Roughness Index: Relationship to Other Measures of Roughness and Riding Quality, Transportation Research Record, 1986, no. 1084.

8. Susilo Y.O., Siswosoebroto B.I., Hendarto S. The comparison of roughness measurement between NAASRA, ROMDAS, and MERLIN devices, The 4th Indonesian National Symposium of Inter-University Transportation Study Forum, Udayana University, Denpasar, Indonesia, 2001, URL: <http://eprints.uwe.ac.uk/10071>

9. Prasada J.R., Kanugantib S., Bhanegaonkar P.N., Sarkar A.K., Arkatkar S. Development of Relationship between Roughness (IRI) and Visible Surface Distresses: a Study on PMGSY Roads, Procedia – Social and Behavioral Sciences, 2013, vol. 104, pp. 322–331.

10. Smith K.L., Titus-Glover L., Evans L.D. Pavement Smoothness Index Relationships, Final Report (FHWA-RD-02-057), Federal Highway Administration, McLean, Virginia, October 2002, p. 1.