

УДК 625.7+625.8.001.5

Разработка методики оценки продольной ровности дорожного покрытия при изменении прочности дорожных конструкций

П. А. Пегин¹, Д. В. Капский², Ю. В. Буртыль²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²Белорусский национальный технический университет, 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Для цитирования: Пегин П. А., Капский Д. В., Буртыль Ю. В. Разработка методики оценки продольной ровности при изменении прочности дорожных конструкций // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 4. — С. 37–47. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-4-37-47

Аннотация

Цель: Разработать методику прогнозирования изменения продольной ровности дорожного покрытия в зависимости от изменения прочности дорожных конструкций (дорожной одежды и земляного полотна) на основе анализа существующей практики оценивания взаимосвязи между внутренними деформациями и возникновением неровности на дорожном покрытии. **Методы:** Статистические и аналитические. Применение гипотезы Пальмгрена — Майнера о зависимости надежности дорожных конструкций от фактического и допустимого количества приложенных расчетных нагрузжений. **Результаты:** На основании гипотезы Пальмгрена — Майнера предложено уравнение определения коэффициента надежности дорожных конструкций с учетом линейного накопления усталостных деформаций во времени. Выполнены расчеты и теоретически обоснованы полученные результаты. Определены зависимости изменения фактической ровности дорожного покрытия от изменения коэффициента прочности дорожных конструкций для автомобильных дорог II, III и IV категорий. Разработана методика оперативного определения прочностного ресурса дорожных конструкций. **Практическая значимость:** Методика позволяет определить значение и перспективное изменение ровности дорожного покрытия на расчетный период эксплуатации автомобильной дороги (на межремонтный срок службы).

Ключевые слова: Автомобильная дорога, дорожная одежда, ровность, индекс ровности, IRI, коэффициент надежности, расчетная нагрузка, модуль упругости.

Введение

Изучение применяемых в настоящее время способов и методов оценки процессов формирования дефектов и деформаций в дорожной конструкции подтвердило взаимосвязь с возникновением неровностей на дорожном покрытии [1–3]. Деформации материала являются определяющим фактором снижения его прочностных

характеристик. Суммарный объем неровностей отражает все виды разрушений и может служить интегрированным показателем эксплуатационного и безопасного состояния дорог с асфальтобетонным покрытием. Факт формирования деформаций при ухудшении ровности и при снижении прочности дорожных конструкций предполагает наличие их взаимозависимости.

Использование упругого прогиба конструкции в расчете дорожных одежд представлялось достаточно целесообразным и удобным, учитывая накопленный фактический материал, имеющийся в дорожной отрасли в отношении этого критерия. Этот показатель длительное время являлся и является основой для оценки прочности дорожных одежд в процессе их эксплуатации.

Ровность дорожных покрытий — это критерий прежде всего безопасности и удобства движения. Накопление деформаций в дорожной одежде и земляном полотне следует рассматривать как деформационное разупрочнение, описываемое посредством соответствующего изменения макросвойств объема материала, сопровождающееся накоплением неровностей. Таким образом, неровности дорожного покрытия, как результат отраженных неровностей конструкций дороги, могут характеризовать общее снижение как прочности отдельных материалов, так и надежности дорожных конструкций в целом. В качестве оценочного параметра ровности последние десятилетия во многих странах использовался международный индекс ровности IRI [4–7].

Движение по покрытию с различной формой неровностей сопровождается ударами, колебаниями колес и кузова автомобиля, что вызывает увеличение динамических нагрузок на дорожные конструкции и впоследствии преждевременные разрушения. Таким образом, разработка модели прогнозирования ровности от прочности дорожной конструкции позволит более оперативно устанавливать прочностной ресурс дорожных конструкций на сетевом уровне.

Основная часть

При стабильной работе уплотненных слоев покрытия и основания формирование неровностей к концу расчетного срока проходит в установленных уровнях надежности пределах. В этом случае надежность дорожной конструкции по условиям безопасности в течение всего срока службы по ровности обеспечена при условии соответствия формуле:

$$K_{\text{н.р.}} = \frac{IRI_{\text{норм}}}{IRI_{\text{факт}}} \geq 1, \quad (1)$$

где $K_{\text{н.р.}}$ — коэффициент надежности по условиям безопасности дорожного движения;

$IRI_{\text{норм}}$ — нормативное значение ровности дорожного покрытия по условиям безопасности дорожного движения, м/км [6, 8–10];

$IRI_{\text{факт}}$ — значение ровности дорожного покрытия на участке дороги к концу расчетного срока службы, м/км.

Для выражения (1) ровность покрытия не должна превышать нормативную по условиям безопасности в течение расчетного срока службы.

По условию накопление усталостных повреждений асфальтобетонного покрытия с точки зрения гипотезы Пальмгрена — Майнера, надежность дорожной конструкции зависят от фактического и допустимого количества приложенных расчетных нагрузок [11]. На основании этой гипотезы с точки зрения линейного накопления усталостных деформаций во времени коэффициент надежности дорожной конструкции определяется по формуле:

$$K_{\text{н.р}} = \frac{n}{N} \geq 1, \quad (2)$$

где $K_{\text{н.р}}$ — коэффициент надежности по условиям работоспособности дорожной конструкции;

N — количество приложений расчетной нагрузки в течение периода эксплуатации, ед.;

n — максимальное количество приложений расчетной нагрузки, которые могут выдержать дорожные конструкции для обеспечения заданной надежности, ед.

Работоспособность и безопасность дорожного покрытия, дорожной одежды зависят от изменения ровности покрытия и количества приложенных расчетных нагрузок, определяющих величину коэффициента надежности. Следовательно, выражения (1) и (2) тождественны и взаимозависимы, при обеспечении срока службы приравнены в соответствии с формулой:

$$\frac{IRI_{\text{норм}}}{IRI_{\text{факт}}} = \frac{n}{N}. \quad (3)$$

Тогда из выражения (3) фактическое значение к концу срока службы определяется выражением (4):

$$IRI_{\text{факт}} = \frac{N}{n} \cdot IRI_{\text{норм}}. \quad (4)$$

Для определения ровности покрытия с учетом начальных параметров значение ровности заменим как изменение ровности:

ТАБЛИЦА 1. Нормативные требования к ровности асфальтобетонных покрытий (IRI) после ремонта (строительства, возведения)

Страна (стандарт, рекомендации)	Категория автомобильной дороги				
	I	II	III	IV	V
Беларусь (таблица 15 ТКП 059—2012), возведение и реконструкция	1,5	1,5	1,8	2,5	2,5
Россия (п. 16.5 СП 78.13330.2012)	2,2	2,2	2,6	2,6	—
Россия (приложение ТР 134-03, рекомендации)	1,4	1,6	1,6	1,8	2,1
Казахстан (п. 6 ПР РК 218-03—2016, отлично)	1,8	2,3	2,3	2,3	2,3
Казахстан (п. 4.1.4 ПР РК 218-49—2005)	2,3	2,8	2,8	—	—

ТАБЛИЦА 2. Нормативные требования к ровности асфальтобетонных покрытий (IRI) по условиям безопасности движения

Страна (стандарт, рекомендации)	Категория (уровень требований/состояния) автомобильной дороги				
	I(1)	II(2)	III (3)	IV(4)	V(5)
Беларусь (п. 6.1.1 СТБ 1291—2016, по уровням требований)	4,1	5,5	6,2	7,3	7,5
Россия (таблица 5.1 ГОСТ Р 50597—2017)	4,0	4,5	5,0	6,0	7,5
Казахстан (п. 5.2.4 СТ РК 1912—2009, по уровню эксплуатационного состояния)	3,4	4,7	5,0	5,6	5,6

$$IRI_{\text{факт}} - IRI_0 = \frac{N}{n} \cdot (IRI_{\text{норм}} - IRI_0), \quad (5)$$

где IRI_0 — начальное значение ровности при вводе объекта в эксплуатацию по требованию приемочного контроля, м/км (табл. 1);

$IRI_{\text{норм}}$ — нормативное значение ровности по условиям безопасности дорожного движения, м/км (табл. 2).

В странах СНГ допустимое количество расчетных автомобилей (N) устанавливается исходя из суточной интенсивности движения, приведенной к расчетной с учетом ежегодного прироста за срок службы. С увеличением количества расчетных автомобилей необходимо увеличивать требуемый модуль конструкции дорожной одежды:

$$E_{\text{тр}} = A + B \cdot (\lg \sum N_p - C), \quad (6)$$

где $E_{\text{тр}}$ — требуемый модуль упругости дорожной конструкции, МПа;
 A, B, C — параметры уравнения, равные $A = 120$ МПа; $B = 74$ МПа; $C = 4,0$ (4,5);
 $\sum N_p$ — расчетное суммарное количество приложений расчетной нагрузки, авт/сут [12–14].

Для определения расчетных (эмпирических) параметров ровности дорожного покрытия в период эксплуатации автомобильной дороги, с учетом отношения фактического и требуемого модулей упругости, необходимо преобразовать выражение формулы (6) в формулу (7):

$$IRI_{\text{факт}} = \frac{E_{\text{тр}}}{E_{\text{факт}}} \cdot IRI_{\text{норм}} + IRI_0 \left(1 - \frac{E_{\text{тр}}}{E_{\text{факт}}} \right), \quad (7)$$

где $E_{\text{факт}}$ — фактический измеренный модуль упругости дорожной конструкции, МПа.

Отношение модулей упругости, согласно методике на проектирование нежестких дорожных одежд, определяется как коэффициент прочности дорожной конструкции (8), для данного случая фактический коэффициент прочности [15]:

$$K_{\text{пр}} = \frac{E_{\text{факт}}}{E_{\text{тр}}}, \quad (8)$$

где $K_{\text{пр}}$ — коэффициент прочности дорожной конструкции.

С учетом известного отношения (8) определение расчетной (фактической) ровности с учетом текущего эксплуатационного состояния преобразуется в формулу:

$$IRI_{\text{факт}} = \frac{1}{K_{\text{пр}}} \cdot IRI_{\text{норм}} + IRI_0 \left(1 - \frac{1}{K_{\text{пр}}} \right). \quad (9)$$

Построим график изменения коэффициента прочности и фактической ровности для дорог различных категорий, используя уравнение (9), и на основании полученных данных определим аппроксимированную линейную функцию (рис. 1–3).

Анализ графиков указывает на то, что на автомобильной дороге II категории ровность дорожного покрытия лучше, чем на дороге IV категории, при одинаковом коэффициенте прочности конструкции автомобильной дороги. Например, при коэффициенте прочности, равном 1,0, на дороге II категории ровность равна 4,7; на дороге III категории — 5,0; на дороге IV категории — 5,6.

В научно-прикладной практике учеными предлагались модели зависимости ровности от прочностных характеристик [16]. При отсутствии данных об интенсивности движения минимальный модуль упругости в исследованиях Е. В. Каленовой предлагается определять исходя из максимально допустимой ровности покрытия [17]:

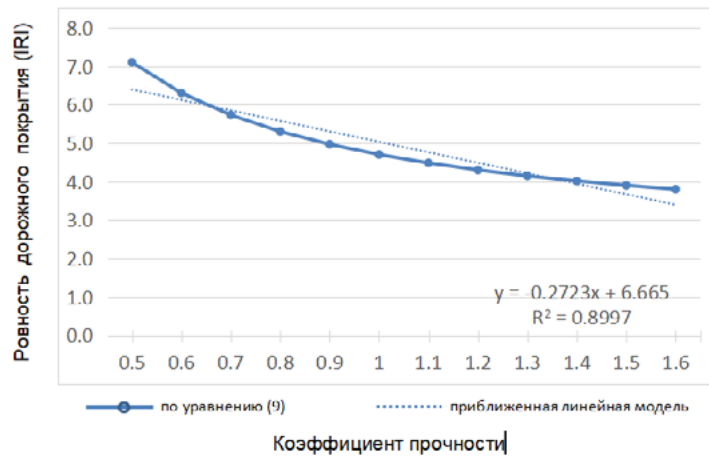


Рис. 1. График зависимости коэффициента прочности от ровности дорожного покрытия для дорог II категории

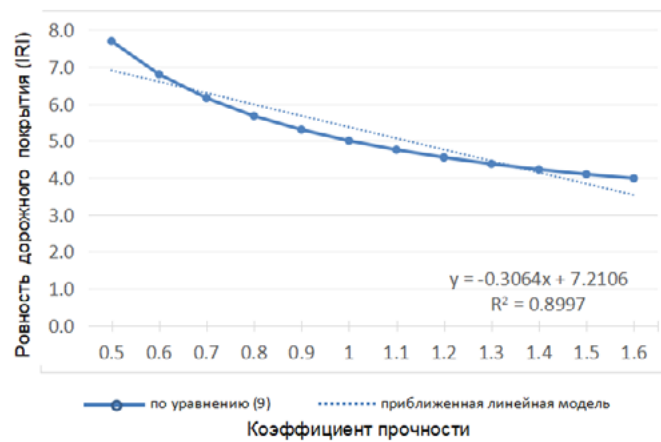


Рис. 2. График зависимости коэффициента прочности от ровности дорожного покрытия для дорог III категории

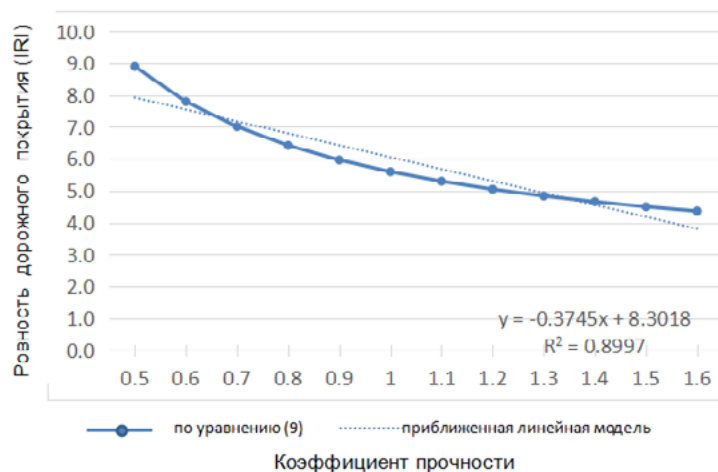


Рис. 3. График зависимости коэффициента прочности от ровности дорожного покрытия для дорог IV категории

$$E_{\min} = A \cdot S + B, \quad (10)$$

где E_{\min} — минимальный требуемый модуль упругости дорожной конструкции, МПа;
 S — допустимая ровность покрытия к концу срока службы дорожной одежды, измеренная по 3-метровой рейке, мм;
 A и B — коэффициенты перевода в МПа, равные соответственно –11,477 и 294,77.

О. А. Красиков установил, что величина относительного изменения ровности покрытия зависит от прочности и однородности дорожной одежды (11), характеризуемой стандартом отклонения модуля упругости, а также суммарной интенсивностью движения расчетных автомобилей [18]:

$$S_t = S_0 \left[1 + c \cdot E_{\min}^d \cdot N_c(t)^{a \cdot E_{\min}^b} \right], \quad (11)$$

где S_0 — начальное значение ровности покрытия, см/км;
 E_{\min}^d — минимальный модуль упругости с заданной надежностью при односторонней доверительной вероятности, МПа;
 $N_c(t)$ — суммарная интенсивность, приведенная к расчетной нагрузке, авт/сут;
 t — время службы дорожной одежды, лет;
 a, b, c, d — параметры, значения которых устанавливаются на основании эксперимента.

Предлагаемое авторское уравнение для конструкций автомобильной дороги и уравнение О. А. Красикова для дорожной одежды позволяют получать достоверные значения зависимости ровности и надежности конструкций, а также делать прогнозные расчеты их изменения.

Заключение

На основании полученных расчетов и сравнения их с фактическим состоянием можно утверждать, что предлагаемая формула позволяет определить более точный коэффициент прочности дорожных конструкций автомобильной дороги и более точно прогнозировать изменение ровности дорожного покрытия в зависимости от ее категории.

Библиографический список

1. Soncim S. P. Development of probabilistic models for predicting roughness in asphalt pavement / S. P. Soncim, I. C. Oliveira, F. B. Santos // Road materials and pavement design. — 2017. — Iss. 19(6). — Pp. 1–10.

2. Múčka P. International Roughness Index specifications around the world / P. Múčka // Road materials and pavement design. — 2016. — Iss. 18(4). — Pp. 929–965.
3. Пегин П. А. Обеспечение безопасности дорожного движения в сложных погодноклиматических условиях / П. А. Пегин, В. Ф. Карев, В. В. Карева. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. — 272 с.
4. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог: ОДМ 218.4.039—2018. — Введ. 4 июля 2018 г. — М.: Росавтодор, 2018. — 59 с.
5. Автомобильные дороги. Правила устройства: ТКП 059.1—2020. — Введ. 1 сентября 2020 г. — Минск: ГП «БелдорНИИ», 2020. — 76 с.
6. Инструкция по оценке ровности дорожных покрытий: ПР РК 218-03—2016. — Введ. 26 февраля 2016 г. — Астана: АО «КаздорНИИ», 2016. — 14 с.
7. Капский Д. В. Аудит дорожного движения — инструмент повышения безопасности движения / Д. В. Капский, П. А. Пегин, А. К. Головнич и др. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. — 2018. — № 3. — С. 22–33.
8. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля: ГОСТ Р 50597—2017. — Введ. 26 сентября 2017 г. — М.: ФАУ «РосдорНИИ», 2017. — 27 с.
9. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения: СТБ 1291—2016. — Введ. 14 декабря 2016 г. — Минск: ГП «БелдорНИИ», 2017. — 25 с.
10. Автомобильные дороги и улицы. Нормы и требования к эксплуатационному состоянию: СТ РК 1912—2009. — Введ. 1 июля 2010 г. — Астана: РГП «КазИнСт», АО «КаздорНИИ», 2010. — 36 с.
11. Fatigue performance of IDOT mixtures: Research report / Illinois Center for Transportation; Author S. H. Carpenter. — Urbana, 2006. — 40 p. — FHWA-ICT-07-007.
12. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд: ПНСТ 265—2018. — Введ. 15 мая 2015 г. — М.: Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса (АНО «НИИ ТСК»), 2015. — 73 с.
13. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-112—2008 (02250). — Введ. 19 ноября 2008 г. (с отменой на территории Республики Беларусь Пособия 3.03.01—96 к СНиП 2.05.02—85). — Мн.: Минстройархитектуры, 2009. — 85 с.
14. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа: СП РК 3.03-104—2014. — Введ. 29 декабря 2014 г. — Астана: АО «КазНИИСА», 2015. — 17 с.
15. Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог: ГОСТ 33100—2014. — Введ. 6 сентября 2016 г. — Мн.: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2017. — 31 с.
16. Капский Д. В. Прогнозирование аварийности по методу конфликтных зон на пешеходных переходах в зоне искусственных неровностей / Д. В. Капский, П. А. Пегин, А. И. Рябчинский // Мир транспорта и технологических машин. — 2015. — № 1(48). — С. 111–118.

17. Каленова Е. В. Совершенствование методики расчета при проектировании нежестких дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 19.03.09 / Е. В. Каленова; Моск. автом.-дор. гос. техн. ун-т. — М., 2009. — 22 с.

18. Красиков О. А. Обоснование стратегий ремонта нежестких дорожных одежд: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 16.03.00 / О.А. Красиков; Моск. автом.-дор. гос. техн. ун-т. — М., 2000. — 44 с.

Дата поступления: 04.08.2022

Решение о публикации: 31.10.2022

Контактная информация:

ПЕГИН Павел Анатольевич — д-р техн. наук, проф.; p Pavel.khv@ gmail.com

КАПСКИЙ Денис Васильевич — д-р техн. наук, проф.; d.kapsky@gmail.com

БУРТЫЛЬ Юрий Валерьевич — ст. преподаватель; burtyl76@mail.ru

Development of Assessment Methodology for Pavement Longitudinal Evenness When Road Construction Durability Changes

P. A. Pegin¹, D. V. Kapski², Yu. V. Burtyl²

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²Belarusian National Technical University, 65, Independence Avenue, Minsk, 220013, Republic of Belarus

For citation: Pegin P. A., Kapski D. V., Burtyl Yu. V. Development of Assessment Methodology for Pavement Longitudinal Evenness When Road Construction Durability Changes. *Bulletin of scientific research results*, 2022, iss. 4, pp. 37–47. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2022-4-37-47

Summary

Purpose: To develop prognosis methodology for road pavement longitudinal evenness, depending on road construction durability change (of road wearing and ground roadbed) on the basis of the analysis of existing practice of relationship estimation between inner deformations and undulation occurrence on a pavement.

Methods: Statistical and analytical. Application of the Palmgren — Miner hypothesis on the dependence of road construction durability from actual and allowable number of applied calculated loads. **Results:** Based on Palmgren — Miner hypothesis, an equation to determine the coefficients of road construction durability is proposed given linear accumulations of fatigue strains versus time. Calculations are performed and the results obtained are theoretically justified. The dependences of the change of road pavement actual evenness from the changes in the coefficient of road construction durability for highways of II, III and IV categories are determined. Methods of operative definition of road construction durability resource has been developed.

Practical importance: The methods allow to determine the value and prospective change in road pavement evenness for calculated period of highway exploitation (for service life between repairs).

Keywords: Highway, road wearing, evenness, evenness index, IRI, safety factor, estimated load, modulus of elasticity.

References

1. Soncim S. P., Oliveira I. C., Santos F. B. Development of probabilistic models for predicting roughness in asphalt pavement. *Road materials and pavement design*. 2017, I. 19(6), pp. 1–10.
2. Múčka P. International Roughness Index specifications around the world. *Road materials and pavement design*. 2016, I. 18(4), pp. 929–965.
3. Pegin P. A., Karev V. F., Kareva V. V. *Obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v slozhnykh pogodno-klimaticheskikh usloviyakh* [Ensuring road safety in difficult weather and climatic conditions]. Khabarovsk: Izd-vo Tikhookean. gos. un-ta, 2016, 272 p. (In Russian)
4. *Rekomendatsii po diagnostike i otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobil'nykh dorog: ODM 218.4.039—2018* [Recommendations for the diagnosis and assessment of the technical condition of roads: ODM 218.4.039—2018]. Moscow: Rosavtodor Publ., 2018, 59 p. (In Russian)
5. *Avtomobil'nye dorogi. Pravila ustroystva: TKP 059.1—2020* [Highways. Device rules: TKP 059.1—2020]. Minsk: GP “BeldorNII” Publ., 2020, 76 p. (In Russian)
6. *Instruktsiya po otsenke rovnosti dorozhnykh pokrytiy: PR RK 218-03—2016* [Instructions for assessing the evenness of road surfaces: PR RK 218-03-2016]. Astana: AO “KazdorNII” Publ., 2016, 14 p. (In Russian)
7. Kapskiy D. V., Pegin P. A., Golovnich A. K. Audit dorozhnogo dvizheniya — instrument povysheniya bezopasnosti dvizheniya [Road traffic audit — a tool to improve traffic safety]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki* [Bulletin of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science]. 2018, I. 3, pp. 22–33. (In Russian)
8. *Dorogi avtomobil'nye i ulitsy. Trebovaniya k ekspluatatsionnomu sostoyaniyu, dopustimomu po usloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Metody kontrolya: GOST R 50597—2017* [Automobile roads and streets. Requirements for the operational state, admissible under the terms of ensuring road safety. Control methods: GOST R 50597—2017]. Moscow: FAU “RosdorNII” Publ., 2017, 27 p. (In Russian)
9. *Dorogi avtomobil'nye i ulitsy. Trebovaniya k ekspluatatsionnomu sostoyaniyu, dopustimomu po usloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: STB 1291—2016* [Automobile roads and streets. Requirements for the operational state permissible under the terms of road safety: STB 1291—2016]. Minsk: GP “BeldorNII” Publ., 2017, 25 p. (In Russian)
10. *Avtomobil'nye dorogi i ulitsy. Normy i trebovaniya k ekspluatatsionnomu sostoyaniyu: ST RK 1912—2009* [Highways and streets. Norms and requirements for operational condition: ST RK 1912—2009]. Astana: RGP “KazInSt”, AO “KazdorNII”, 2010, 36 p. (In Russian)
11. Fatigue performance of IDOT mixtures: Research report. Illinois Center for Transportation; Author S. H. Carpenter. Urbana, 2006. 40 p. FHWA-ICT-07-007.
12. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Proektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd: PNST 265—2018* [Public automobile roads. Design of non-rigid pavement: PNST 265—2018]. Moscow: Nauchno-issledovatel'skiy institut transportno-stroitel'nogo kompleksa (ANO “NII TSK”) Publ., 2015, 73 p. (In Russian)

13. *Avtomobil'nye dorogi. Nezhestkie dorozhnye odezhdy. Pravila proektirovaniya: TKP 45-3.03-112—2008 (02250)* [Highways. Non-rigid road clothes. Design rules: TKP 45-3.03-112—2008 (02250)]. Minsk: Minstroyarkhitektury Publ., 2009, 85 p. (In Russian)

14. *Proektirovanie dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa: SP RK 3.03-104—2014* [Design of non-rigid pavements: SPRK 3.03-104—2014]. Astana: AO “KazNIISA” Publ., 2015, 17 p. (In Russian)

15. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Pravila proektirovaniya avtomobil'nykh dorog: GOST 33100—2014* [Public automobile roads. Road design rules: GOST 33100—2014]. Minsk: Gosstandart: Belarus. gos. in-t. standartizatsii i sertifikatsii Publ., 2017, 31 p. (In Russian)

16. Kapskiy D. V., Pegin P. A., Ryabchinskiy A. I. Prognozirovanie avariynosti po metodu konfliktnykh zon na peshekhodnykh perekhodakh v zone iskusstvennykh nerovnostey [Prediction of accidents using the method of conflict zones at pedestrian crossings in the zone of artificial irregularities]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [The world of transport and technological machines]. 2015, I. 1(48), pp. 111–118. (In Russian)

17. Kalenova E. V. *Sovershenstvovanie metodiki rascheta pri proektirovanii nezhestkikh dorozhnykh odezhd s asfal'tobetonnyim pokrytiem : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 19.03.09* [Improving the method of calculation in the design of non-rigid pavement with asphalt concrete pavement: abstract of the thesis. dis. ... cand. tech. Sciences: 19.03.09]. Moscow: Mosk. avtom.-dor. gos. tekhn. un-t Publ., 2009, 22 p. (In Russian)

18. Krasikov O. A. *Obosnovanie strategiy remonta nezhestkikh dorozhnykh odezhd: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 16.03.00* [Substantiation of repair strategies for non-rigid pavements: Ph.D. dis. ... Dr. tech. Sciences: 16.03.00]. Moscow: Mosk. avtom.-dor. gos. tekhn. un-t Publ., 2000, 44 p. (In Russian)

Received: August 04, 2022

Accepted: October 31, 2022

Author's information:

Pavel A. PEGIN — Dr. Sci. in Engineering, Professor; ppavel.khv@ gmail.com

Denis V. KAPSKI — Dr. Sci. in Engineering, Professor, Dean of Automotive and Tractor Faculty; d.kapsky@gmail.com

Yury V. BURTYL — Senior Lecturer; burtyl76@mail.ru