

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 625.723

DOI: 10.36535/0236-1914-2022-11-6

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ РОВНОСТИ ПОКРЫТИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Буртыль Юрий Валерьевич, Капский Денис Васильевич**  
(Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь)  
burtyl76@mail.ru, d.kapsky@gmail.com

**Ларин Олег Николаевич**  
(Российский университет транспорта, Москва, Россия)  
larin\_on@mail.ru

***Аннотация.** Степень ровности поверхностей дорожных покрытий является важным параметром современных магистралей, от которого зависит безопасность и удобство движения. Проезд автомобиля по покрытию с различной формой неровностей сопровождается ударами, колебаниями колес и кузова автомобиля, что увеличивает динамические нагрузки на дорожные конструкции и в последствии приводит к преждевременным разрушениям. Предложена модель прогнозирования ровности с учётом прочности дорожной конструкции. Данное решение позволит более оперативно устанавливать прочностной ресурс дорожных конструкций на сетевом уровне.*

***Ключевые слова:** автомобильная дорога, ровность дорожных покрытий, безопасность движения, прогнозирование, моделирование*

***Для цитирования:** Буртыль Ю. В., Капский Д. В., Ларин О. Н. Моделирование продольной ровности покрытий при изменении прочности дорожных конструкций / Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2022. № 11. С. 36-39. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-11-6.*

## AUTOMOBILE TRANSPORT

Scientific article

### MODELING OF THE LONGITUDINAL EVENNESS OF COATINGS WHEN CHANGING THE STRENGTH OF ROAD STRUCTURES

**Yuri V. Burtyl, Denis V. Kapsky**  
(Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus)  
burtyl76@mail.ru, d.kapsky@gmail.com

**Oleg N. Larin**  
(Russian University of Transport, Moscow, Russia)  
larin\_on@mail.ru

***Abstract.** The degree of evenness of road surfaces is an important parameter of modern highways, on which the safety and convenience of traffic depends. The passage of a car on a surface with various forms of irregularities is accompanied by shocks, vibrations of the wheels and the car body, which increases the dynamic loads on road structures and subsequently leads to premature failure. A model for predicting evenness is proposed, taking into account the strength of the road structure. This solution will make it possible to more quickly establish the strength resource of road structures at the network level.*

***Keywords:** automobile road, evenness of road surfaces, traffic safety, forecasting, modeling*

***For citation:** Burtyl Yu. V., Kapsky D. V., Larin O. N. Modeling of the longitudinal evenness of coatings when changing the strength of road structures / Transport: science, technology, management. Scientific information collection. 2022. No. 11. P. 36-39. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-11-6.*

### Введение

Результаты исследований и современная практика подтверждают взаимосвязь процессов формирования дефектов и деформаций с возникновением неровностей на дорожном покрытии [1, 2]. Деформации материала являются определяющим фактором снижения его проч-

ностных характеристик. Суммарный объем неровностей отражает все виды разрушений и может служить интегрированным показателем эксплуатационного и безопасного состояния дорог с асфальтобетонным покрытием. Фактические данные о формировании деформаций при ухудшении ровности и при снижении проч-

ности дорожных конструкций определяют актуальность исследования наличия взаимозависимостей между данными явлениями.

**Постановка задачи**

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 в настоящее время основой для оценки прочности дорожных одежд в процессе их эксплуатации.

Накопление деформаций в дорожной одежде, следует также рассматривать как деформационное разрушение, описываемое посредством соответствующего изменения макро-свойств объема материала, сопровождающееся накоплением неровностей. Таким образом, неровности, отраженные на покрытии, могут характеризовать общее снижение как прочности отдельных материалов, так и надежность конструкции в целом. В последнее время в качестве оценочного параметра ровности во многих странах используется индекс IRI [3-5].

При стабильной работе уплотненных слоев покрытия и основания формирование неровностей к концу расчетного срока проходит в установленных уровнем надежности пределах. В этом случае надежность дорожной конструкции по условиям безопасности в течение всего срока службы по ровности обеспечена при условии (1):

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

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

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

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

Таблица 1

**Нормативные требования к ровности асфальтобетонных покрытий (IRI) после ремонта (строительства, возведения) (по данным международных стандартов)**

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	-	-

**Нормативные требования к ровности асфальтобетонных покрытий (IRI) по условиям безопасности движения (по данным международных стандартов)**

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

Для выражения (1) ровность покрытия не должна превышать нормативную по условиям безопасности в течение расчетного срока службы. В таблицах 1 и 2 приведены нормативные требования к ровности асфальтобетонных покрытий (IRI) после ремонта (строительства, возведения) и условиям безопасности движения.

По условию накопления усталостных повреждений асфальтобетонного покрытия надежность дорожной конструкции зависит от фактического и допустимого количества приложенных расчетных нагрузок [9]. На основании этой гипотезы с точки зрения линейного накопления усталостных деформаций во времени коэффициент надежности дорожной конструкции определяется выражением (2):

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

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

$n$  – количество приложений расчетной нагрузки в течение периода, ед.;

$N$  – максимальное количество приложений расчетной нагрузки, которые могут выдержать дорожные одежды для обеспечения заданной надежности, ед.

В Республике Беларусь и странах СНГ допустимое количество расчетных автомобилей ( $N$ ) устанавливается исходя из суточной интенсивности движения, приведенной к расчетной с учетом ежегодного прироста за срок службы.

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 (3):

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

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

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

Для определения покрытия с учетом начальных параметров значение ровности заменим как изменение ровности (5):

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

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

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

При увеличении количества расчетных автомобилей увеличивается требования к модулю упругости конструкции дорожной одежды (6):

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

где  $E_{тр}$  – требуемый модуль упругости дорожной конструкции, МПа;

$A, B, C$  – параметры уравнения [10-12].

Тогда фактическая ровность покрытия для эксплуатационного состояния при отношении фактического и требуемого модулей упругости составит:

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

где  $E_{факт}$  – фактический измеренный модуль упругости дорожной конструкции, МПа.

Согласно [13], отношение модулей упругости определяется как коэффициент прочности дорожной конструкции:

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

где  $K_{пр}$  – коэффициент прочности дорожной конструкции.

С учетом отношения (8) и текущего эксплуатационного состояния фактическая ровность составит:

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

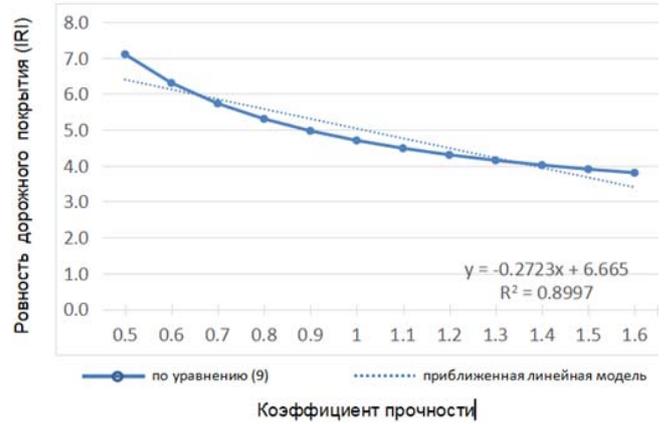
Построим график изменения коэффициента прочности и фактической ровности для дорог различных категорий, используя уравнения (9) и аппроксимированную линейную функцию (рис. 1-2).

В различных исследованиях предлагались модели зависимости ровности от прочностных характеристик. В работе [14], при отсутствии данных об интенсивности движения минимальный модуль упругости предлагается определять исходя из максимально допустимой ровности покрытия:

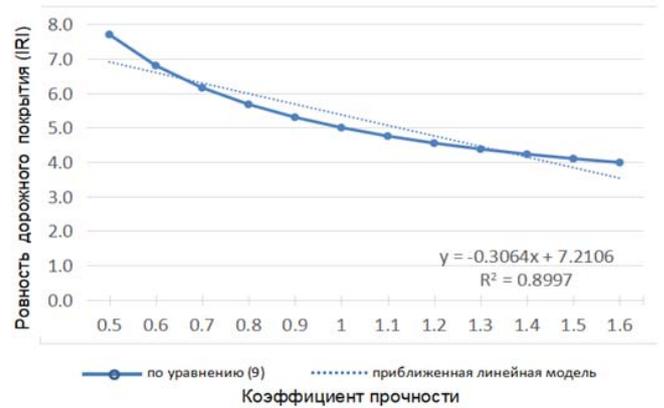
$$E_{мин} = -11,477 \cdot S + 294,77. \quad (10)$$

где  $E_{мин}$  – минимальный требуемый модуль упругости дорожной конструкции, МПа;

$S$  – допустимая ровность покрытия к концу срока службы дорожной одежды, мм.



а) II категория



б) III категория

Рис. 1. Прогнозное изменение ровности дорожного покрытия при различных состояниях по прочности дорожной конструкции для дорог II-III категории

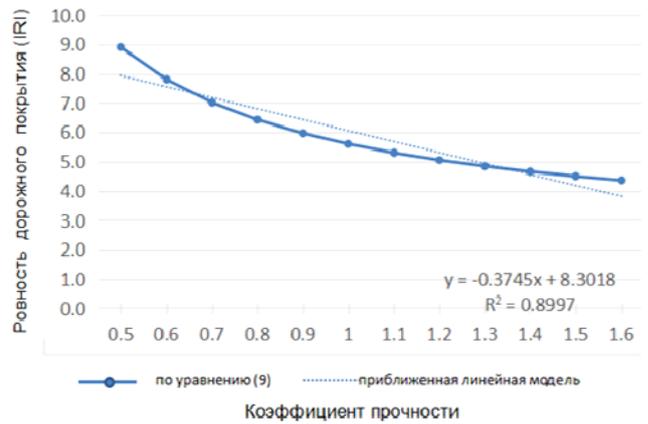


Рис. 2. Прогнозное изменение ровности дорожного покрытия при различных состояниях по прочности дорожной конструкции для дорог IV категории

В работе [15] установлено, что величина относительного изменения ровности покрытия зависит от прочности и однородности дорожной одежды  $S_t$ , характеризуемой стандартом отклонения модуля упругости, а также суммарной интенсивностью движения:

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

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.

На основе результатов расчетов по (5) и критериев определяется запас надежности конструкции и обосновывается проведение ремонтных мероприятий и сроков их выполнения.

### Заключение

Предложена модель прогнозирования степени ровности дорожного покрытия при изменении прочности дорожных конструкций. Определены основные критерии запаса надежности конструкции. Применение данной методики позволит улучшить эксплуатационные характеристики дорожного покрытия, следовательно, повысить уровень безопасности дорог.

### Список источников

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. – 19 (6). – pp. 1-10.

2. Múčka, P International Roughness Index specifications around the world / Peter Múčka // Road materials and pavement design. – 2016. – 18(4). – pp. 929-965.

3. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог : ОДМ 218.4.039–2018. – Введ. 04.07.2018. – Москва : Росавтодор, 2018. – 59 с.

4. Автомобильные дороги. Правила устройства : ТКП 059.1-2020. – Введ. 01.09.20. – Минск : ГП «БелдорНИИ», 2020. – 76 с.

5. Инструкция по оценке ровности дорожных покрытий : ПР РК 218-03-2016. – Введ. 26.02.16. – Астана : АО «КаздорНИИ», 2016. – 14 с.

6. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля : ГОСТ Р 50597-2017. – Введ. 26.09.2017. – Москва : ФАУ «РосдорНИИ», 2017. – 27 с.

7. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения : СТБ 1291-2016. – Введ. 14.12.16. – Минск : ГП «БелдорНИИ», 2017. – 25 с.

8. Автомобильные дороги и улицы. Нормы и требования к эксплуатационному состоянию : СТ РК 1912-2009. – Введ. 01.07.2010. – Астана : РГП "КазИнСт", АО «КаздорНИИ», 2010. – 36 с.

9. Fatigue performance of IDOT mixtures : Research report / Illinois Center for Transportation ; Author S. H. Carpenter – Urbana, 2006. – 40 p. – FHWA-ICT-07-007.

10. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд : ПНСТ 265-2018. – Введен 15.05.2015. – М. : Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса (АНО "НИИ ТСК"), 2015. – 73 с.

11. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-112-2008 (02250) – Введ. 19.11.08 (с отменой на территории Республики Беларусь Пособия 3.03.01-96 к СНиП 2.05.02-85). – Мн. : Минстройархитектуры, 2009. – 85 с.

12. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа: СП РК 3.03-104-2014. – Введ. 29.12.2014. – Астана: АО «КазНИИСА», 2015. – 17 с.

13. Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог: ГОСТ 33100-2014. – Введ. 06.09.2016. – Мн.: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2017. – 31 с.

14. 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.

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

### Информация об авторах

**Буртыль Ю. В.** – старший преподаватель кафедры «Транспортные системы и технологии».

**Капский Д. В.** – доктор технических наук, профессор, декан Автотракторного факультета.

**Ларин О. Н.** – доктор технических наук, профессор кафедры «Логистические транспортные системы и технологии».

### Information about the author

**Burtily Yu. V.** - senior lecturer of the department "Transport systems and Technologies".

**Kapski D. V.** - Doctor (Tech.), Professor, Dean of the Faculty of Automotive Engineering.

**Larin O. V.** - Doctor (Tech.), Professor of the Department of Logistics Transport Systems and Technologies.

Статья поступила в редакцию 27.07.2022, одобрена после рецензирования 15.08.2022, принята к публикации 29.08.2022.

The article was submitted 27.07.2022, approved after reviewing 15.08.2022, accepted for publication 29.08.2022.

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

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.