

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-1-355

EDN: QBSOXN

УДК 625.7:656



Научная статья | Управление процессами перевозок

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВАНИИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

*Ю.В. Буртыль, Д.В. Капский,  
Н.А. Филиппова, А.А. Неретин*

### *Аннотация*

**Обоснование.** Основная цель исследования заключалась в создании модели, позволяющей более точно оценивать эксплуатационные характеристики автомобильных дорог, используя данные, собранные в течение более 20 лет. В качестве обоснования для данного исследования служит необходимость улучшения методов оценки состояния дорожных покрытий, особенно в контексте возрастающих требований к безопасности и качеству транспортной инфраструктуры. Оценка состояния дорог является важной задачей для нормирования и планирования их ремонта и обслуживания, что в свою очередь влияет на безопасность дорожного движения и экономию бюджетных средств.

**Цель** – практическое улучшения методов работы с дорожной инфраструктурой, повышения её надежности и безопасности, что крайне важно для всех пользователей дорог.

**Материалы и методы.** На основании теоретико-экспериментальных исследований разработана линейная модель расчета надежности дорожного покрытия. Данная предлагаемая линейная модель получила и экспериментальное подтверждение, в результате которого установлены расчетные коэффициенты корреляции для закона распределения.

**Результаты.** Была разработана надежная линейная модель, которая была экспериментально подтверждена. В ходе работы были установлены расчетные коэффициенты корреляции для закона распределения, что позволяет применять полученные результаты в реальных условиях эксплуатации дорожных покрытий. Модель учитывает различные факторы, такие как нагрузки и влияние погодных условий, что делает ее практически применимой для оценки состояния дорожных покровов и определения необходимых мероприятий по их ремонту.

**Ключевые слова:** дорога; покрытие; оценка состояния; исследования; параметры; нагрузки; погодно-климатические факторы; дефекты

**Для цитирования.** Буртыль, Ю. В., Капский, Д. В., Филиппова, Н. А., & Неретин, А. А. (2025). Разработка модели расчета надежности покрытия на основании измерения эксплуатационного состояния автомобильной дороги. *International Journal of Advanced Studies*, 15(1), 198–213. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-1-355>

Original article | Transportation Process Management

## SELECTION OF PARAMETERS FOR THE STUDY AND ASSESSMENT OF THE TRANSPORT AND OPERATIONAL STATE OF THE ROAD

*Yu.V. Burtyl, D.V. Kapski, N.A. Filippova, A.A. Neretin*

### *Abstract*

**Background.** The main objective of the study was to create a model that allows more accurate assessment of the performance characteristics of roads using data collected over more than 20 years. The rationale for this study is the need to improve methods for assessing the condition of road surfaces, especially in the context of increasing requirements for the safety and quality of transport infrastructure. Assessing the condition of roads is an important task for standardizing and planning their repair and maintenance, which in turn affects road safety and budget savings.

**Purpose.** Practical improvement of methods of working with road infrastructure, increasing its reliability and safety, which is extremely important for all road users.

**Materials and methods.** Based on theoretical and experimental studies, a linear model for calculating the reliability of road surfaces has been developed. This proposed linear model has also received experimental confirmation, as a result of which the calculated correlation coefficients for the distribution law have been established.

**Results.** Based on theoretical and experimental studies, a linear model for calculating the reliability of road surfaces has been developed. This proposed linear model has also received experimental confirmation, as a result of which the calculated correlation coefficients for the distribution law have been established.

**Keywords:** road; surface; condition assessment; research; parameters; loads; weather and climatic factors; defects

**For citation.** Burtul, Yu. V., Kapski, D. V., Filippova, N. A., & Nere-tin, A. A. (2025). Selection of parameters for the study and assessment of the transport and operational condition of the road. *International Journal of Advanced Studies*, 15(1), 198–213. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-1-355>

Градация значения ровности по IRI при изменении эксплуатационного состояния. Фактическое значение ровности покрытия не должно превышать нормативное требование (1) с возможным допуском превышения (в некоторых странах до 10 %) [1].

$$IRI_{\phi} \leq IRI_{\text{норм}} \quad (1)$$

где  $IRI_{\phi}$  – фактическое измеренное значение ровности покрытия, м/км;

$IRI_{\text{норм}}$  – нормативное значение ровности покрытия, м/км;

Численные значения индекса IRI в международной классификации приведены в таблице 1.

Градация IRI приводится с разделением по уровням требований (уровням эксплуатационного состояния) и категориям дорог

для следующих уровней: при приемочном контроле (наилучшие значения); при эксплуатации дорог; для обеспечения безопасности движения (предельно допустимые) [4; 5].

Таблица 1.

**Международная градация ровности дорог по IRI [2; 3]**

| Страна    | Требования к ровности дорожных покрытий (IRI), м/км |         |         |           |                      |
|-----------|-----------------------------------------------------|---------|---------|-----------|----------------------|
|           | отличная                                            | хорошая | средняя | низкая    | неудовлетворительная |
| Австрия   | до 1,0                                              | 1,0-1,8 | 1,8-3,0 | 3,0-4,5   | более 4,5            |
| Бельгия   | до 2,0                                              | 2,0-4,0 | 4,0-6,0 | более 6   | -                    |
| Дания     | до 1,5                                              | 1,5-2,5 | -       | 2,5-5,0   | более 5,0            |
| Финляндия | до 1,7                                              | 1,7-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-4,1   | более 4,1            |
| Германия  | до 1,5                                              | 1,5-3,5 | -       | более 3,5 | -                    |
| Польша    | -                                                   | до 2,0  | 2 - 4,3 | 4,3 - 5,7 | более 5,7            |
| Хорватия  | до 1,5                                              | 1,5-2,5 | 2,5-3,5 | 3,0-5,0   | более 5,0            |
| Италия    | до 1,5                                              | 1,5-2,0 | 2,0-2,5 | 2,5-3,0   | более 3,0            |
| Сербия    | до 1,0                                              | 1,0-2,5 | 2,5-3,5 | 3,5-5,5   | более 5,5            |

Нормативные требования для ровности дорожных асфальтобетонных покрытий после проведения ремонта, при строительстве (возведении) в зависимости от категории дороги при наилучших показателях национальных стандартов приведены в таблице 2 [3].

Таблица 2.

**Нормативные требования к ровности асфальтобетонных покрытий (IRI) после ремонта (возведения)**

| Страна (стандарт, рекомендации)                  | Ровность по IRI для категории автомобильной дороги, м/км |     |     |     |   |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----|-----|-----|---|
|                                                  | I                                                        | II  | III | IV  | V |
| Беларусь, ТКП 059.1<br>– возведение [113, с. 56] | 1,5                                                      | 1,8 | 1,8 | 2,5 | - |
| – реконструкция и капитальный ремонт             | 2,0                                                      | 2,0 | 2,0 | 2,5 | - |
| Казахстан, ПР РК 218-49 [114, с. 4]              | 2,3                                                      | 2,8 | 2,8 | -   | - |
| Россия, СП 78.13330.2012 [115, с. 58]            | 2,2                                                      | 2,2 | 2,6 | 2,6 | - |
| Украина, ДБН В.2.3-4 [116, с. 85]                | 1,7                                                      | 1,8 | 1,9 | 2,0 | - |

По результатам изучения международных и национальных требований для дальнейших исследований принимаем начальное зна-

чение ровности ( $IRI_0$ ) в зависимости от категории дороги после капитального ремонта: I-III категории – 2,0 м/км, для остальных категорий 2,5 м/км, что также соответствует общемировому опыту. Категория дороги устанавливается в зависимости от интенсивности движения автомобилей, т.е. величины нагрузки по таблице 3.

Таблица 3.

**Классификация автомобильных дорог [6]**

| Категория дороги                 | I        | II         | III       | IV       | V         |
|----------------------------------|----------|------------|-----------|----------|-----------|
| Расчетная скорость, км/ч         | 120      | 120        | 100       | 80       | до 60     |
| Расчетная интенсивность, ед./сут | св.10000 | 5000-10000 | 2000-5000 | 200-2000 | менее 200 |

Нормативные требования к IRI для автомобильных дорог при эксплуатации и контролируемые в процессе диагностики при формировании программы ремонтных мероприятий приведены в таблице 4.

Таблица 4.

**Нормативные требования к ровности асфальтобетонных покрытий (IRI) при эксплуатации и диагностике**

| Страна (стандарт, рекомендации)         | Ровность по IRI для категории автомобильной дороги, м/км |     |     |     |     |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                                         | I                                                        | II  | III | IV  | V   |
| Беларусь, ТКП 140                       | 3,6                                                      | 4,8 | 5,5 | 6,2 | 6,2 |
| Казахстан, ПР РК 218-03                 | 2,5                                                      | 3,0 | 3,0 | 4,9 | 4,9 |
| Международный, ГОСТ 33388               | 2,6                                                      | 3,1 | 3,3 | 5,0 | -   |
| Россия, ОДМ 218.4.039                   | 4,0                                                      | 4,5 | 5,0 | 6,0 | 7,5 |
| Украина (Р В.2.3-218-02071168-385-2004) | 2,5                                                      | 4,0 | 5,5 | 6,5 | 8,0 |

В случае нарушения требований по ровности по условиям безопасности, на автомобильной дороге для транспорта вводятся ограничения весового и скоростного режимов. В соответствии с международными требованиями ровность по IRI не должна превышать значения, указанные в таблице 5 для категорий дорог [15], но для уровней эксплуатационного состояния должна соответствовать требованиям национальных стандартов государств.

Таблица 5.

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

| Страна (стандарт, рекомендации) | Ровность по IRI для категории (уровня требований) автомобильной дороги, м/км |       |         |       |      |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|-------|------|
|                                 | I(1)                                                                         | II(2) | III (3) | IV(4) | V(5) |
| Международный, ГОСТ 32220       | 4,0                                                                          | 4,5   | 5,5     | 6,5   | -    |
| Беларусь, СТБ 1291              | 4,1                                                                          | 5,5   | 6,2     | 7,3   | 7,5  |
| Россия, ГОСТ Р 50597            | 4,0                                                                          | 4,5   | 5,0     | 6,0   | 7,5  |
| Казахстан, СТ РК 1912           | 3,4                                                                          | 4,7   | 5,0     | 5,6   | 5,6  |

Предельное значение ровности для дальнейших расчетов принимаем по категориям дороги, указанных в международных требованиях. Учитывая при построении модели требования актуальных нормативных документов, результаты будут иметь наиболее приближенное практическое значение.

Надежность дорожной конструкции в течении расчетного срока службы. Изучение опыта и нормативная практика подтверждают, что надежность дорожной конструкции зависит от интенсивности формирования усталостных (остаточных) деформаций, величина которых определяется изменением ровности покрытия в течение срока службы [7; 8]. Введем понятие коэффициента эксплуатационной надежности дорожной конструкции ( $K_{н.р.}$ ), значение которого напрямую связано с изменением ровности покрытия ( $\Delta IRI$ ) (2) [9]:

$$K_{н.р.} = f(\Delta IRI). \quad (2)$$

На основании принятых для исследований нормативных требований устанавливаем допустимый прирост неровностей по IRI для автодорог по категориям, принимая в качестве начального требования к ровности ровность после ремонта (строительства) и максимального допустимого значения – требования для проведения ремонта. Результат расчета допустимого прироста неровностей приведен в таблице 6.

Дорожная конструкция проектируется под заданную нагрузку и соответственно коэффициент надежности будет зависеть от срока службы дорожной конструкции ( $T_p$ ) в течении которого обеспечивается проектный уровень надежности [10].

Таблица 6.

**Допустимый прирост неровностей по установленным нормативным требованиям в Республике Беларусь**

| Характеристика ровности дорожного покрытия                                        | Категория автомобильной дороги |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                                                                                   | I                              | II  | III | IV  | V   |
| Начальное значение ровности ( $IRI_0$ ), м/км                                     | 2,0                            | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,5 |
| Максимальное допустимое значение ровности ( $IRI_n$ ) по безопасности, м/км       | 3,6                            | 4,8 | 5,5 | 6,2 | 6,2 |
| Нормативный прирост неровностей ( $\Delta IRI_n$ ) за расчетный срок службы, м/км | 1,6                            | 2,8 | 3,5 | 3,7 | 3,7 |

Тогда коэффициент эксплуатационной надежности будет зависеть от объема накопленных деформаций и предлагаемых в работе определять по изменению ровности покрытия  $\Delta IRI_t$  за расчетный срок службы  $T_p$  (3)

$$K_{H.p.} = f(\Delta IRI_t, T_p). \quad (3)$$

Расчетный срок службы после проведения капитального ремонта определен нормативными требованиями по категориям дорог или устанавливается при проектировании в системах автоматизированного проектирования [11]. При известном значении срока службы рассчитываем допустимый ежегодный прирост неровностей ( $R_H$ ) по (4), исходя из начального и предельно допустимого значений ровности по таблице 6

$$R_H = \frac{(IRI_n - IRI_0)}{T_p}, \quad (4)$$

где  $IRI_n$  – нормативное значение ровности по таблице 6, м/км;

$IRI_0$  – начальное значение ровности по таблице 6, м/км;

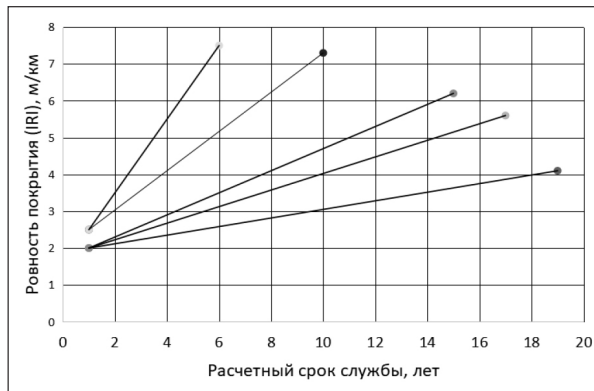
$T_p$  – расчетный срок службы дорожной конструкции для заданного уровня надежности по таблице 7, лет.

На основании полученной зависимости (4) устанавливаем допустимый ежегодный прирост неровностей. Результаты расчета ежегодного прироста неровностей для установленных значений ровности и срока службы по (4), предполагая что изменения происходят линейно, сводим в таблицу 7. Для нормативной модели построим график изменения ровности во времени за максимальный срок службы, выдвигая гипотезу о линейной функции прироста неровностей (рисунок 1).

Таблица 7.

**Допустимый ежегодный прирост неровностей покрытия для различных рекомендуемых сроков службы дорожных одежд в Беларуси**

| Категория дороги | Расчетный срок службы ( $T_p$ ), лет | Ежегодный нормативный ( $R_H$ ) прирост неровностей, м/(км год) |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| I                | 19                                   | 0,08                                                            |
|                  | 14                                   | 0,11                                                            |
| II               | 17                                   | 0,16                                                            |
|                  | 13                                   | 0,21                                                            |
| III              | 15                                   | 0,23                                                            |
|                  | 12                                   | 0,29                                                            |
|                  | 11                                   | 0,32                                                            |
| IV               | 10                                   | 0,37                                                            |
|                  | 9                                    | 0,41                                                            |
|                  | 8                                    | 0,46                                                            |
|                  | 7                                    | 0,53                                                            |
|                  | 6                                    | 0,62                                                            |
| V                | 6                                    | 0,62                                                            |
|                  | 5                                    | 0,74                                                            |
|                  | 4                                    | 0,93                                                            |



Категории дорог: 1-I; 2-II; 3-III; 4-IV; 5-V

**Рис. 1.** Нормативная модель изменения ровности за расчетный срок службы для категорий дорог (по условиям безопасности)

При стабильной работе уплотненных слоев покрытия и основания суммарный прирост неровностей  $\Delta IRI_t$  от момента устройства покрытия до расчетного года не превышает суммарного нормативного прироста за весь расчетный период  $\Delta IRI_H$ .



Условие надежной работы дорожной конструкции в течение всего срока службы определяется выражением (5)

$$\frac{\Delta IRI_H}{\Delta IRI_t} > 1. \quad (5)$$

Рассматривая накопление усталостных повреждений асфальто-бетонного покрытия с точки зрения гипотезы Пальмгрена – Майнера, принимаем, что надежность конструкции зависит от фактического ( $N_f$ ) и допустимого количества приложенных расчетных нагрузжений ( $N_H$ ). Проектная надежность дорожной конструкции, по условию формирования усталостных разрушений от воздействия транспорта [16], в течение срока службы должна соответствовать условию (6) [12]:

$$\frac{N_H}{N_t} > 1, \quad (6)$$

где  $N_t$  – количество расчетных воздействий за период от момента устройства покрытия до расчетного года  $t$ , ед.;

$N_H$  – количество расчетных воздействий за весь расчетный период, ед.

Эксплуатационная надежность должна быть обеспечена в соответствии с проектной до окончания расчетного срока службы, следовательно, выражения (5) и (6) тождественны и их можно представить в виде (7)

$$\frac{\Delta IRI_H}{\Delta IRI_t} = \frac{N_H}{N_t}. \quad (7)$$

Тогда прирост неровностей для расчетного года в период срока службы дорожной конструкции определяется по (8)

$$\Delta IRI_t = \Delta IRI_H \cdot \frac{N_t}{N_H}. \quad (8)$$

Соотношение фактической и нормативной интенсивности транспортной нагрузки, устанавливает срок службы дорожной конструкции в соответствии с требованиями национальных стандартов.

К окончании расчетного срока службы, при планировании, количество расчетных нагрузок будет соответствовать фактическому ( $N_t = N_H$ ). Следовательно, суммарное воздействие не должно превышать расчетное количество за любой другой, меньший период.

Тогда фактический период эксплуатации дорожной конструкции предлагается рассчитывать по (9) [13]:

$$T_t = T_p \cdot \frac{N_t}{N_H}, \quad (9)$$

где  $T_t$  – фактический срок службы, лет;

$T_p$  – расчетный срок службы, по таблице 7, лет;

Теория взаимосвязи срока службы конструкции с количеством расчетных воздействий по модели (10) подтверждается в научных работах Г. С. Бахраха, Д. А. Скоробогатченко [14]:

$$T_t = B \cdot \frac{N_t}{N_H}, \quad (10)$$

где  $T_t$  – фактический срок службы дорожной конструкции, лет;

$B$  – эмпирический коэффициент;

Тогда выражение (8) с учетом предложенной зависимости (19) для расчета прироста неровностей за определенный период принимает вид (11)

$$\Delta IRI_t = \Delta IRI_H \cdot \frac{T_t}{T_p}, \quad (11)$$

Изменение ровности в период времени ( $\Delta IRI_t$ ) определяется как разница между фактическим значением ( $IRI_t$ ) в последний год периода ( $T_t$ ) и начальными значениями ровности ( $IRI_0$ ). Тогда выражение (11) примет вид (12)

$$IRI_t = \Delta IRI_H \cdot \frac{T_t}{T_p} + IRI_0. \quad (12)$$

Подставляя в выражение (12) значение ежегодного прироста неровностей ( $R_H$ ), рассчитанного по выражению (14), получаем теоретическую модель изменения ровности во времени (13).

$$IRI_t = R_H \cdot T_t + IRI_0. \quad (13)$$

По полученной модели рассчитывается прогнозируемое значение ровности по  $IRI$  на расчетный год с установленным нормативным ежегодным приростом  $R_H$ .

Тогда коэффициент эксплуатационной надежности с учетом требований к начальному значению ровности представим в виде (14)

$$K_{H.P.} = f(R_H, T_t). \quad (14)$$

## Выводы

Разработана линейная модель расчета надежности покрытия на основании изменения эксплуатационного состояния автомобильной дороги. Получено экспериментальное подтверждение предложенной линейной модели с приведением расчетных коэффициентов корреляции для установленного закона распределения.

## Список литературы

1. International roughness index. Uses and comparison with other jurisdictions: Report of Infrastructure System Engineer: Alberta Infrastructure Transportation and Civil Engineering Division; Director Roy Jurgens; prepared by Moh Ashraf. (2000). Edmonton. 12 p.
2. Hadiwardoyo, S. P., Correia, A. G., & Pereira, P. (2015). Road Deterioration Analysis for the National Roads of Indonesia. In *Materials of the 14th International Conference on QIR (Quality in Research)* (pp. 32–41). Lombok.
3. ТКП 059-2007. Автомобильные дороги. Правила устройства. (2007). Введ. 27.03.07. Минск: Минстройархитектуры. 68 с.
4. Капский, Д. В., Филиппова, Н. А., Трофименко, Ю. В., & др. (2023). *Оценка воздействия изменения климата и климатических рисков в транспортных системах*. Москва: Техполиграфцентр. 248 с. EDN: <https://elibrary.ru/ZIONTO>
5. Капский, Д. В., Пегин, П. А., & Буртыль, Ю. В. (2023). Особенности проектирования многослойных плоскостных конструкций. *Бюллетень строительной техники*, (9), 22–25. EDN: <https://elibrary.ru/PCDIVV>
6. СН 3.03.04-2019. Автомобильные дороги. (2020). Введ. 26.12.2019. Минск: ГП «Белгипродор». 62 с.
7. Капский, Д. В., Богданович, С. В., & Буртыль, Ю. В. (2023). Чувствительность транспортной отрасли к изменению климата. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки*, (1), 54–59. <https://doi.org/10.52928/2070-1616-2023-47-1-54-59> EDN: <https://elibrary.ru/YBWQOZ>

8. Пугачев, И. Н., Каменчуков, А. В., Капский, Д. В., & др. (2022). *Управление безопасностью дорожной инфраструктуры*. Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения. 147 с. EDN: <https://elibrary.ru/VMPPFE>
9. De Luca, M. (2020). Evaluation of Runway Bearing Capacity Using International Roughness Index. *Transportation Research Procedia*, (45), 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.096> EDN: <https://elibrary.ru/JXZXHN>
10. Bazhanov, A. P. (2019). General Issues of Assessing Reliability of Roads. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 632(1), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/632/1/012012> EDN: <https://elibrary.ru/NQALRM>
11. Буртыль, Ю. В. (2019). Автоматизированные системы проектирования дорожных одежд и особенности их использования в современных условиях. *Автомобильные дороги и мосты*, (2), 7–15.
12. Нгуен, К. Т., & Северцев, Н. А. (2020). Модели расходования ресурсов при оценке остаточного ресурса технических объектов. *Вопросы теории безопасности и устойчивости систем*, (22), 120–135. EDN: <https://elibrary.ru/JRLLDU>
13. Гончаренко, В. В., & Ромасюк, Е. А. (2012). О критериях оценки усталостной прочности дорожных асфальтобетонов. *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*, (93), 172–178. EDN: <https://elibrary.ru/AAPECT>
14. Бахрах, Г. С. (2008). Теоретические основы ремонта дорожных одежд нежесткого типа. В *Дороги и мосты: сборник статей* (вып. 20/2, с. 105–120). Москва: ФГУП «РОСДОРНИИ». EDN: <https://elibrary.ru/JWEZSB>
15. Филиппова, Н. А. (2024). Научные пути решения проблем организации и планирования перевозок грузов в районах Крайнего Севера и Арктической зоны России. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*, (2), 11–22. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-2-11> EDN: <https://elibrary.ru/NWBZUF>
16. Филиппова, Н. А., Якубенко, Д. О., & Антонова, А. Л. (2019). Обеспечение безопасности перевозок грузов средствами монито-

ринга в Московском регионе по дорогам федерального значения. В *Материалы XXI Всероссийской с международным участием научно-практической конференции молодых ученых, студентов и учащихся «Наука и образование: проблемы и перспективы»* (с. 82–88). Бийск: Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет имени В.М. Шукшина. EDN: <https://elibrary.ru/XCJIQT>

### References

1. International roughness index. Uses and comparison with other jurisdictions: Report of Infrastructure System Engineer: Alberta Infrastructure Transportation and Civil Engineering Division; Director Roy Jurgens; prepared by Moh Ashraf. (2000). Edmonton. 12 p.
2. Hadiwardoyo, S. P., Correia, A. G., & Pereira, P. (2015). Road Deterioration Analysis for the National Roads of Indonesia. In *Materials of the 14th International Conference on QIR (Quality in Research)* (pp. 32–41). Lombok.
3. ТКР 059-2007. Avtomobil'nye dorogi. Pravila ustroystva [Roads. Installation Rules]. (2007). Minsk: Ministry of Construction and Architecture. 68 p.
4. Kapsky, D. V., Filippova, N. A., Trofimenko, Yu. V., et al. (2023). *Assessment of Climate Change Impact and Climate Risks in Transport Systems*. Moscow: Tekhpologocentr. 248 p. EDN: <https://elibrary.ru/ZIONTO>
5. Kapsky, D. V., Pegin, P. A., & Burtyl', Yu. V. (2023). Characteristics of Multilayer Plane Structures Design. *BST: Bulletin of Construction Technology*, (9), 22–25. EDN: <https://elibrary.ru/PCDIVV>
6. SN 3.03.04-2019. Avtomobil'nye dorogi [Highways]. (2020). Minsk: Belgiprodor. 62 p.
7. Kapsky, D. V., Bogdanovich, S. V., & Burtyl', Yu. V. (2023). Sensitivity of Transport Sector to Climate Change. *Polotsk State University Bulletin. Series B. Industry. Applied Sciences*, (1), 54–59. <https://doi.org/10.52928/2070-1616-2023-47-1-54-59> EDN: <https://elibrary.ru/YBWQOZ>

8. Pugachev, I. N., Kamenchukov, A. V., Kapsky, D. V., et al. (2022). *Road Infrastructure Safety Management*. Khabarovsk: DVG TU. 147 p. EDN: <https://elibrary.ru/VMPPFE>
9. De Luca, M. (2020). Evaluation of Runway Bearing Capacity Using International Roughness Index. *Transportation Research Procedia*, (45), 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.096> EDN: <https://elibrary.ru/JXZXHN>
10. Bazhanov, A. P. (2019). General Issues of Road Reliability Assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 632(1), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/632/1/012012> EDN: <https://elibrary.ru/NQALRM>
11. Burtyl', Yu. V. (2019). Automated Systems for Pavement Design and Their Usage in Modern Conditions. *Avtomobil'nye dorogi i mosty*, (2), 7–15.
12. Nguyen, K. T., & Severtsev, N. A. (2020). Models of Resource Consumption When Assessing the Remaining Resource of Technical Objects. *Problems of Safety and Stability of Systems Theory*, (22), 120–135. EDN: <https://elibrary.ru/JRLLDU>
13. Goncharenko, V. V., & Romasyuk, E. A. (2012). Fatigue Strength Criteria for Road Asphalt Concrete. *Visnyk Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, (93), 172–178. EDN: <https://elibrary.ru/AAPECT>
14. Bahrakh, G. S. (2008). Theoretical Basis of Repairing Flexible Pavements. *Roads and Bridges*, (20/2), 105–120. EDN: <https://elibrary.ru/JWEZSB>
15. Filippova, N. A. (2024). Scientific Approaches to Addressing Cargo Transportation Problems in Russia's Arctic Zone. *Intelligence. Innovations. Investments*, (2), 11–22. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-2-11> EDN: <https://elibrary.ru/NWBZUF>
16. Filippova, N. A., Yakubenko, D. O., & Antonova, A. L. (2019). Ensuring Freight Transportation Safety Through Monitoring on Federal Roads in Moscow Region. In *Proceedings of the XXI All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Students and Learners with International Participation* (pp. 82–88). Biysk: Altay State Humanitarian Pedagogical University. EDN: <https://elibrary.ru/XCJIQT>

## **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Буртыль Юрий Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Транспортные системы и технологии»  
*Белорусский национальный технический университет*  
*пр. Независимости, 65, Минск, Минская область, Беларусь*  
*burtyl76@mail.ru*

**Капский Денис Васильевич**, доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Транспортные системы и технологии»  
*Белорусский национальный технический университет*  
*пр. Независимости, 65, Минск, Минская область, Беларусь*  
*d.kapsky@gmail.com*

**Филиппова Надежда Анатольевна**, доктор технических наук,  
профессор  
*ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет*  
*им. М. К. Аммосова»;* *ФГБОУ ВО «Московский автомобиль-*  
*но-дорожный государственный технический университет*  
*(МАДИ)»; Якутский научный центр Сибирского отделения*  
*Российской академии наук (ФИЦ ЯНЦ СО РАН)*  
*ул. Белинского, 58, г. Якутск, Республика Саха (Якутия),*  
*677000, Российская Федерация;* *Ленинградский проспект,*  
*64, г. Москва, 125319, Российская Федерация;* *ул. Петров-*  
*ского, 2, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677027, Рос-*  
*сийская Федерация*  
*umen@bk.ru*

**Неретин Александр Андреевич**, кандидат технических наук, доцент  
*ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государ-*  
*ственный технический университет (МАДИ)»*  
*Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская*  
*Федерация*  
*neretin.sasha@gmail.com*

## DATA ABOUT THE AUTHORS

**Yuri V. Burtyl**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Department of “Transport Systems and Technologies”  
*Belarusian National Technical University*  
65, Nezavisimosti Ave., Minsk, Minsk Region, Belarus  
*burtyl76@mail.ru*  
SPIN-code: 4386-2676

**Denis V. Kapski**, Doctor of Science, Professor, Professor, Department  
of “Transport Systems and Technologies”  
*Belarusian National Technical University*  
65, Nezavisimosti Ave., Minsk, Minsk Region, Belarus  
*d.kapsky@gmail.com*  
SPIN-code: 5383-4582

**Nadezhda A. Filippova**, Doctor of Science, Professor  
*North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov;*  
*Moscow Automobile and Road State Technical University*  
*(MADI); Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the*  
*Russian Academy of Sciences*  
58, Belinskogo Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia),  
677000, Russian Federation; 64, Leningradsky prospect, Mos-  
cow, 125319, Russian Federation; 2, Petrovsky Str., Yakutsk, Re-  
public of Sakha (Yakutia), 677027, Russian Federation  
*umen@bk.ru*  
SPIN-code: 3782-8051

**Alexander A. Neretin**, Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor  
*Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)*  
64, Leningradsky prospect, Moscow, 125319, Russian Federation  
*neretin.sasha@gmail.com*  
SPIN-code: 3474-3633

Поступила 01.03.2025  
После рецензирования 15.03.2025  
Принята 21.03.2025

Received 01.03.2025  
Revised 15.03.2025  
Accepted 21.03.2025