

Научная статья

УДК 625.7

EDN: HXWKND

DOI: 10.21285/2227-2917-2023-4-677-686



Прогнозирование изменения во времени некоторых переменных параметров состояния автомобильных дорог

Н.А. Слободчикова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы прогнозирования состояния автомобильных дорог во времени. Изменение состояния автомобильной дороги происходит под воздействием внешних факторов на фоне внутренних процессов, происходящих в конструктивных слоях. Большинство математических моделей, прогнозирующих срок службы автомобильных дорог, разработано на основе прочностных характеристик, что в условиях ограниченного финансирования автомобильных дорог регионального и местного значения приводит к определенным трудностям их практического применения. Следовательно, необходима разработка модели изменения состояния дорожных одежд на основе данных об их потребительских свойствах, таких как ровность, коэффициент сцепления и состояние покрытия. Процесс снижения значений ровности, состояния покрытия и коэффициента сцепления во времени можно описать с использованием распределения Вейбулла. В работе приведены математические модели изменения во времени состояния покрытия, коэффициента сцепления и продольной ровности. Для оценки эффективности модели выполнено сопоставление данных, полученных с помощью расчета и по результатам ежегодной диагностики автомобильных дорог. Расчетные и фактические значения продольной ровности, коэффициента сцепления и состояния покрытия имеют высокую сходимость. Предложенный подход оценки изменения состояния покрытия, ровности и коэффициента сцепления позволяет повысить эффективность управления состоянием автомобильных дорог.

Ключевые слова: прогнозирование сроков службы автомобильных дорог, состояние автомобильных дорог, показатели состояния автомобильных дорог

Для цитирования: Слободчикова Н.А. Прогнозирование изменения во времени некоторых переменных параметров состояния автомобильных дорог // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 677–686. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-677-686>. EDN: HXWKND.

Original article

Forecast of temporal variations in some road condition variables

Nadezhda A. Slobodchikova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The article considers issues of forecasting temporal variations in the condition of roads. The road condition is affected by external factors against the background of internal processes, occurring in construction layers. Most mathematical models, forecasting the service life of roads, are developed on the basis of strength characteristics, which, in conditions of limited financing of regional and local significance roads, leads to certain difficulties in their practical application. Therefore, it is necessary to develop a model of variations in the condition of road pavements based on data about their consumer properties, such as evenness, adhesion coefficient and pavement condition. The process of reducing the evenness values, pavement condition, and adhesion coefficient over time can be described using the Weibull distribution. The paper presents mathematical models of temporal variations in the condition of the road pavement, adhesion coefficient and longitudinal evenness. The data of the model and annual road diagnostics, compared for assessing the model effectiveness, demonstrated high

© Слободчикова Н.А., 2023

Том 13 № 4 2023

с. 677–686

Vol. 13 No. 4 2023

pp. 677–686

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость
Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate

ISSN 2227-2917

(print)

ISSN 2500-154X

(online)

677

convergence. The proposed approach to assessing the variations in the pavement condition, evenness and adhesion coefficient makes it possible to increase the efficiency of managing the road condition.

Keywords: forecasting the service life of highways, the condition of highways, indicators of the condition of highways

For citation: Slobodchikova N.A. Forecast of temporal variations in some road condition variables. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):677-686. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-677-686>. EDN: HXWKND.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие отрасли дорожного хозяйства является одним из условий роста экономики Российской Федерации.

Дорожное хозяйство является сложной системой, управление которой должно обеспечивать безопасное, непрерывное, комфортное и эффективное движение транспортных средств.

Важным элементом эффективного управления дорожным хозяйством и, в частности, состоянием автомобильных дорог, является возможность прогнозировать состояние дорожных одежд во времени.

Прогнозирование состояния дорожных одежд во времени позволяет своевременно назначить проведение диагностических и ремонтных мероприятий для обеспечения расчетного срока эксплуатации.

Оценке состояния автомобильных дорог, методам приведения их в нормативное состояние и разработке различных моделей прогнозирования сроков службы автомобильных дорог посвящены работы различных ученых [1–38]. В качестве примера можно привести следующие модели.

1. Модель Ю.М. Яковлева¹. Динамика снижения прочности оценивается по коэффициенту эксплуатационной прочности:

$$K_{э.пр} = \frac{A+B \left(\lg \frac{q^{T_{сл}+1} - q^t}{q^{T_{сл}+1} - 1} N - 1 \right)}{A+B(\lg N - 1)}, \quad (1)$$

где A – параметр, зависящий от типа покрытия, МПа; B – параметр, характеризующий в основном влияние повторяемости нагрузок, МПа; N – перспективная на последний год приведенная к расчетной нагрузке интенсивность движения, ед/сут; q – показатель ежегодного прироста интенсивности грузового движения; $T_{сл}$ – проектный срок службы дорожной одежды; t – год от начала эксплуата-

ции дорожной одежды, на который вычисляется $K_{э.пр}$.

2. Метод М.Г. Горячева². Для оценки степени отклонения прочности дорожной одежды предлагается использовать коэффициент запаса прочности:

$$K_{э.пр} = \frac{K_{э.пр(факт)}}{K_{э.пр(тр)}}, \quad (2)$$

где $K_{э.пр}$ (факт), $K_{э.пр}$ (тр) – фактический на период оценки и требуемый коэффициент эксплуатационной прочности, соответственно.

3. Графоаналитический метод прогнозирования долговечности асфальтобетонных покрытий на основе их усталостной прочности В.А. Осинской [31].

Метод основан на учете свободных затухающих колебаний, возникающих в конструкции автомобильной дороги при воздействии колес транспортных средств:

– рассчитывается теоретическая кривая усталости асфальтобетонного покрытия:

$$\sum N_{p15} = \left(\alpha K_2 (1 - v_R t) \frac{R_0}{R_N} \right)^m, \quad (3)$$

где R_0 – нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе; R_N – предельное растягивающее напряжение; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние погодноклиматических факторов ($K_2 = 0,8$); N_{p15} – коэффициент вариации прочности на растяжение ($v_R = 0,1$); t – коэффициент нормативного отклонения ($t = 1,71$); α – коэффициент уточнения; m – показатель, зависящий от свойств материала.

– рассчитываются кривые нагружения конкретных спроектированных дорожных конструкций:

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{T-1}} T_{р.д.г.} K_n; \quad (4)$$

¹Яковлев Ю.М. Оценка и обеспечение прочности дорожных одежд нежесткого типа в процессе эксплуатации: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1985. 435 с.

²Горячев М.Г. Прогнозирование эксплуатационного состояния нежестких дорожных одежд с учетом процесса накопления остаточных деформаций: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2017. 388 с.

$$K_c = \frac{q^{T-1}}{q-1}, \quad (5)$$

где N_p – интенсивность движения на конец срока службы, авт/сут; ΣN_p – сумма нагрузений за весь период работы, авт.; K_c – коэффициент суммирования; q – показатель приращения интенсивности по годам; $T_{р.д.г.}$ – число расчетных климатических дней в году, дн.; K_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого.

– строится номограмма определения сроков усталостного разрушения дорожного покрытия.

4. Модель П.Б. Рапопорт, Ю.Э. Васильева, А.В. Кочеткова, Н.Е. Кокодеевой [33]. Авторами предложена формула изменения эквивалентного модуля упругости во времени:

$$E_{ЭТ(t)} = E_{ЭТ} \left(1 - \frac{C_V^{ЭТ}}{C_V^{ЭТ(t)}} \cdot \gamma \cdot t \right), \quad (6)$$

где $E_{ЭТ}$ – приведенное к расчетной температуре среднее значение эквивалентного модуля упругости на участке обследования, установленное методами математической статистики, МПа; $C_V^{ЭТ}$ – коэффициент вариации приведенного к расчетной температуре эквивалентного модуля упругости на момент обследования; $C_V^{ЭТ(t)}$ – коэффициент вариации приведенного к расчетной температуре эквивалентного модуля упругости в t -м году; γ – коэффициент, учитывающий снижение однородности эквивалентного модуля упругости во времени, 1/годы; t – период времени, спустя который эквивалентный модуль упругости принимает значение $E_{ЭТ(t)}$, годы. В основе большинства моделей лежит принцип прогно-

зирования состояния на основе значений прочностных характеристик: модуля упругости, коэффициента прочности, угла внутреннего трения и др.

Для автомобильных дорог регионального и местного значения в условиях ограниченного финансирования применение указанных моделей является затруднительным в практической реализации.

Учитывая, что основной задачей дорожного хозяйства является обеспечение спроса пользователей для повышения эффективности управления состоянием автомобильных дорог, необходима разработка модели прогнозирования потребительских свойств дорожных одежд: ровность, коэффициент сцепления и состояние покрытия (наличие дефектов).

МЕТОДЫ

В качестве исходных данных принимаются данные о состоянии автомобильной дороги по материалам ежегодной диагностики: геометрические параметры, интенсивность движения и состав потока, коэффициент сцепления, состояние покрытия, продольная ровность и др.

Изменение состояния покрытия, ровности и коэффициента сцепления во времени является убывающей функцией (рис. 1):

$$\Delta J = f(t_0 + \Delta t) - f(t_0) < 0. \quad (7)$$

Ухудшение состояния автомобильной дороги происходит в результате внешних воздействий и внутренних процессов, развивающихся в конструктивных слоях.

К внешним воздействиям относятся:

- колебания температуры, влажности и солнечной радиации;
- интенсивность движения и состав транспортного потока.

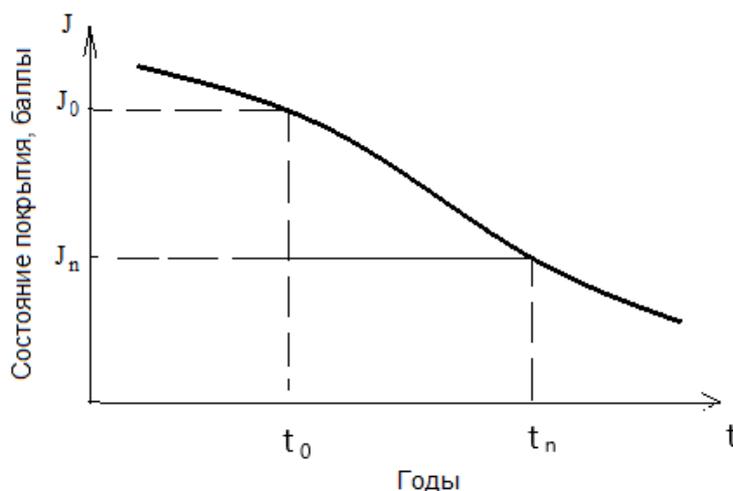


Рис. 1. Изменение состояния покрытия во времени
Fig. 1. Changing the state of coverage over time

К внутренним процессам относятся:

- развитие пластических деформаций материалов и грунтов;
- деградация материалов.

Процесс ухудшения состояния автомобильной дороги можно описать с использованием распределения Вейбулла, которое часто применяют для решения задач теории надежности.

Функция плотности вероятности имеет вид

$$f(t) = \beta \frac{t^{\beta-1}}{\eta^\beta} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}, \quad (8)$$

где t – наработка, рассматриваемая как переменная; η – параметр масштаба (ресурс); β – параметр формы. Для построения графика вероятностей проведено ранжирование данных о наработке до отказа.

На основании полученных данных производится построение графика вероятностей для распределения Вейбулла путем нанесения данных на вероятностную бумагу. График вероятностей представлен на рис. 2. Близость данных к прямой линии указывает на их соответствие распределению Вейбулла.

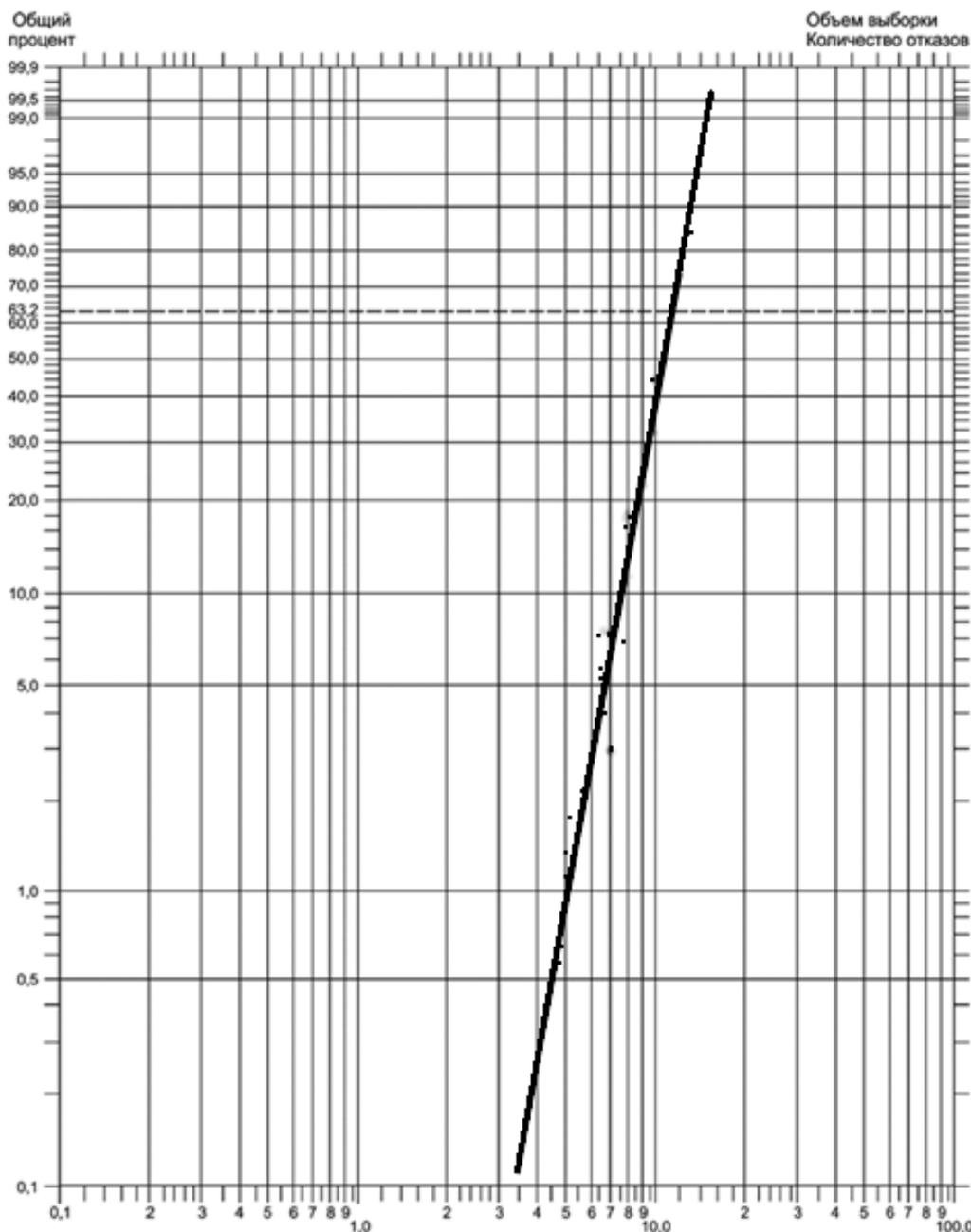


Рис. 2. График вероятностей
Fig. 2. Probability graph

Если принять одинаковым влияние внешних воздействий на параметры состояния автомобильной дороги, то

$$DJ = \beta \frac{t_n^{\beta-1}}{\eta_J^\beta} e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_J}\right)^\beta} - \frac{t_0^{\beta-1}}{\eta_J^\beta} e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_J}\right)^\beta} = \frac{\beta}{\eta_J^\beta} \left(t_n^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_J}\right)^\beta} - t_0^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_J}\right)^\beta} \right). \quad (9)$$

Тогда состояние покрытия в момент времени n можно определить по формуле

$$J_n = J_0 - \frac{\beta}{\eta_J^\beta} \left(t_n^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_J}\right)^\beta} - t_0^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_J}\right)^\beta} \right), \quad (10)$$

где J_0 – состояние покрытия на текущий год эксплуатации, баллы; t_0 – текущий год эксплуатации; t_n – год эксплуатации, на который производится прогноз; η_J – параметр ресурса по показателю состояние покрытия.

Аналогично можно определить изменение ровности и коэффициента сцепления:

$$IRI_n = IRI_0 - \frac{\beta}{\eta_{IRI}^\beta} \left(t_n^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_{IRI}}\right)^\beta} - t_0^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_{IRI}}\right)^\beta} \right); \quad (11)$$

$$C_n = C_0 - \frac{\beta}{\eta_C^\beta} \left(t_n^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_C}\right)^\beta} - t_0^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_C}\right)^\beta} \right), \quad (12)$$

где IRI_0, C_0 – значения ровности и коэффициента сцепления на текущий год эксплуатации; η_{IRI}, η_C – параметры ресурса для ровности и коэффициента сцепления. Для оценки статистической взаимосвязи использован коэффициент корреляции Пирсона, позволяющий измерить линейную корреляцию между двумя наборами данных (расчетных и фактических):

$$r_{XY} = \frac{\sum(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})}{\sqrt{\sum(X-\bar{X})^2 \sum(Y-\bar{Y})^2}}, \quad (13)$$

где X – расчетные значения показателя; Y – фактические значения показателя; \bar{Y}, \bar{X} – средние значения выборок X и Y .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенный подход апробирован на участке автомобильной дороги Р-255 «Сибирь». В качестве исходных данных использованы материалы ежегодной диагностики за 2018–2022 гг. Ввод в эксплуатацию участка автомобильной дороги – 2010 г. Значения параметра масштаба $\eta_{IRI, J, C}$ и параметра формы β определены методом регрессии медиан рангов. Результаты определения значений ровности, коэффициента сцепления и состояния покрытия приведены в таблице.

Результаты сопоставления данных, полученных при расчете и по результатам ежегодной диагностики
Results of comparison of data obtained during the calculation and according to the results of the annual diagnosis

Показатель	ФЗ*	ФЗ	РЗ**	ФЗ	РЗ	ФЗ	РЗ	ФЗ	РЗ	КК*** Пирсона
	2018 г.	2019 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.		
Состояние покрытия J, баллы	3,23	3,2	3,13	3,138	3,03	2,8	2,94	2,03	2,89	0,81
Ровность IRI, м/км	3,49	3,94	3,39	3,935	3,30	3,5	3,22	3,2	3,18	0,92
Коэффициент сцепления C	0,497	0,49	0,42	0,487	0,34	0,45	0,25	0,401	0,18	1,00

*Фактическое значение; **Расчетное значение; ***Коэффициент корреляции.

Для данной автомобильной дороги коэффициент корреляции составил от 0,8 до 1,0, что свидетельствует о высокой сходимости расчетных и фактических значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Прогнозирование состояния дорожных одежд во времени позволяет своевременно назначить проведение ремонтных мероприятий для обеспечения расчетного срока экс-

плуатации.

2. Предложенная в работе математическая модель прогнозирования состояния автомобильных дорог во времени позволит в условиях ограниченного финансирования сети автомобильных дорог регионального и местного значения повысить эффективность принятия управленческих решений при выборе ремонтных мероприятий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Abaza K. A. Empirical Markovian-based models for rehabilitated pavement performance used in a life cycle analysis approach // *Structure and Infrastructure Engineering*. 2017. Vol. 13. Iss. 5. P. 625–636. <https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1187180>.
2. Amador-Jimenez L. E., Mrawira D. Reliability based initial pavement performance deterioration modelling // *International Journal of Pavement Engineering*. 2011. Vol. 12. Iss. 2. P. 177–186. <https://doi.org/10.1080/10298436.2010.535538>.
3. Amin Sh. The pavement performance modeling: deterministic vs. stochastic approaches // *Numerical methods for reliability and safety assessment* / S. Kadry, A. El Hami [Eds.]. Switzerland: Springer, 2015. P. 179–196. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07167-1_5.
4. Hoque J.M., Erhardt G.D., Schmitt D., Chen M., Chaudhary A., Wachs M., et al. The changing accuracy of traffic forecasts // *Transportation*. 2022. Vol. 49. P. 445–466. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10182-8>.
5. Liu L., Gharaibeh N.G. Bayesian model for predicting the performance of pavements treated with thin hot-mix asphalt overlays // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2014. Vol. 2431. Iss. 1. P. 33–41. <https://doi.org/10.3141/2431-05>.
6. Paterson W.D.O. Road deterioration and maintenance effects: models for planning and maintenance. Standarts series. Washington: World Bank Group, 1987.
7. Prochazka M., Lehovec F. Pavement management guide// *Pavement system: present practice and current research of pavement managing system in the CSSR: 6-th road conference (Budapest, 4-6 October 1988)*. Budapest: Roads transportation association of Canada, 1988. Vol. 1. P. 232–240.
8. Zhong Sh., Sun D. (J.). *Logic-Driven Traffic Big Data Analytics*. Singapore: Springer; 2023. p. 280. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-8016-8>.
9. Robinson R., Danielson U., Snaith M. *Road maintenance management: concepts and systems*. M., 1998. 312 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-14676-5>.
10. Zhang X., Ai T. How to model roads in OpenStreetMap? A method for evaluating the fitness-for-use of the network for navigation / Harvey F., Leung Y. (Eds.). *Advances in spatial data handling and analysis. advances in geographic information science*. Cham: Springer, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19950-4_9.
11. Батракова А. Г., Урдзик С. Н., Батраков Д. О. Моделирование и оценка состояния дорожных одежд со сквозными трещинами в покрытии // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2019. № 85. С. 49–58. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.49>. EDN: НККТРУ.
12. Батракова А. Г., Урдзик С. Н., Батраков Д. О. Динамические и эконометрические модели прогнозирования состояния автомобильных дорог // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2019. № 85. С. 59–65. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.59>. EDN: НКRXHN.
13. Бедрин Е. А., Завьялов А. М., Завьялов М. А. Прогнозирование термической (тепловой) устойчивости основания земляного полотна автомобильных дорог // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2012. № 2 (24). С. 30–33. EDN: РВЕНJX.
14. Буртыль Ю. В., Солодка М. Г., Ковалев Я. Н. Прогнозирование ровности дорожных покрытий // *Наука и техника*. 2021. № 3. С. 216–223. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-3-216-223>. EDN: KCBUAP.
15. Буртыль Ю. В. Исследования изменения ровности дорожных покрытий // *Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей*. 2020. № 4 (92). С. 145–149. <https://doi.org/10.48081/GKHW9128>.
16. Буртыль Ю. В., Капский Д. В. Моделирование взаимосвязи ровности и прочности нежестких дорожных одежд на основании теоретическо-практических исследований // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2022. Т. 19. № 4 (86). С. 570–582. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-570-583>. EDN: MGXUAY.
17. Веюков Е. В., Салихов М. Г., Толстова А. Г., Тихвинская Д. П. Проектирование дорожных одежд с учетом процессов старения асфальтобетонов // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 4. С. 191–195. EDN: YCDRXB.
18. Гнездилова С. А., Горох Д. Ю., Фотиади А. А. Разработка модели прогнозирования развития поперечных трещин для автомобильных дорог Белгородской области // *Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (г. Белгород, 30 апреля – 20 мая 2021 г.)*. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2021. С. 1951–1956. EDN: SIYYSL.
19. Гриценко Е. А. Прогнозирование колеи износа от воздействия шипованных шин // *Инженерные и*

- социальные системы: сб. науч. тр. института архитектуры, строительства и транспорта Ивановского государственного политехнического университета. Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2022. Вып. 7. С. 124–126. EDN: QNKZJJ.
20. Елшамы М. М., Тиратурян А. Н., Углова Е. В. Прогнозирование ухудшения эксплуатационного состояния дорожных одежд с использованием алгоритмов искусственного интеллекта // Инженерный вестник Дона. 2022. № 6 (90). С. 732–741. EDN: AXUTMA.
21. Каменчуков А. В., Кормилицына Л. В., Лопашук В. В., Цупикова Л. С. Влияние сверхнормативной нагрузки на износ и разрушение дорожной одежды // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 4-1 (106). С. 57–63. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.009>. EDN: WUJPQW.
22. Кириллов А. М., Завьялов М. А. Прогнозирование остаточного срока службы асфальтобетонных покрытий // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 3 (114). С. 356–367. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.3.356-367>. EDN: YWQSED.
23. Ряпухин В. М., Захарова Е. В. Анализ природно-климатических факторов для формирования базы данных ГИС – «Автомобильная дорога» // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2019. № 84. С. 67–74. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.84.0.55>. EDN: QXFHWU.
24. Скоробогатченко Д. А., Забазнов А. С. Прогнозирование ровности покрытия автомобильных дорог с учетом погодного-климатического воздействия и уровня работ по содержанию // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2018. Т. 9. № 2. С. 98–109. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2018.2.09>. EDN: USTOZO.
25. Хасанова Л. Р., Юсупова О. В. Решение задачи прогнозирования загруженности автомобильных дорог с помощью MS EXCEL // Символ науки: международный научный журнал. 2020. № 10. С. 28–32. EDN: RICWGO.
26. Хорошилов К. В., Гаврилов Т. А., Колесников Г. Н. Моделирование и прогнозирование состояния верхнего слоя грунтовых автомобильных дорог в осенне-зимний период // Моделирование сложных процессов и систем: сб. тр. секции № 12 XXIX Международной научно-практической конференции (г. Химки, 21 марта 2019 г.). Химки: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика, 2019. С. 79–84. EDN: TTMMGC.
27. Шухратзода Д., Попов А. Д., Букус Д. В., Баринов К. А. Разработка веб-приложения для прогнозирования остаточного срока службы автомобильных дорог на основе их характеристик и диагностических данных // Проблемы международной транспортной политики: материалы Международной конференции (г. Москва, 27 марта 2022 г.). Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. С. 96–100. EDN: JTXHRT.
28. Ермошин Н. А., Романчиков С. А., Аверьянов Д. А. Имитационное моделирование риска разрушения дорожных конструкций в межремонтный период // Путевой навигатор. 2022. № 50 (76). С. 30–41. EDN: LNFPKN.
29. Новик А. Н., Исмаилов А. М., Русаков М. Н. Влияние гранулометрического состава асфальтобетонных смесей на качество автодорожного покрытия // Путевой навигатор. 2022. № 51 (77). С. 36–41. EDN: QNGSTL.
30. Лазарев Ю. Г., Талипова Л. В., Черкашин А. В., Гребенюк Е. А., Огурцов Г. Л. Методика создания базы данных ТСОДД на базе PostgreSQL и IndorTrafficPlan // Путевой навигатор. 2022. № 52 (78). С. 26–33. EDN: ZWJJXK.
31. Осинская В. А. Прогнозирование долговечности асфальтобетонных покрытий на основе уровня их вибронгруженности // Наука и техника. 2015. № 6. С. 49–53. EDN: VLFWVT.
32. Рапорт П. Б., Васильев Ю. Э., Кочетков А. В., Кокодеева Н. Е. Уроки прогнозирования // Автомобильные дороги. 2011. № 2. С. 32–34.
33. Гаевская З. А., Вафаева Х. М. Предвидение в строительстве: инженерные задачи // Наука молодых – будущее России: материалы 5-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых (г. Курск, 10–11 декабря 2020 г.). Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. В 4 т. Т. 3. С. 206–209. EDN: WSGYKI.
34. Ilyas I., Zafar A., Afzal M. T., Javed M. F., Alrowais R., Althoey F., et al. Advanced machine learning modeling approach for prediction of compressive strength of frp confined concrete using multiphysics genetic expression programming // *Polymers*. 2022. Iss. 14. P. 1789. <https://doi.org/10.3390/polym14091789>. EDN: EUPEID.
35. Птухина И. С., Кирсанова Т. А. Мультисистемное моделирование и управление с целью повышения точности прогноза в строительстве // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2022. № 5. С. 3. EDN: KUQMBl.
36. Бирюков А. Н., Дудурич Б. Б., Грицук А. П. Применение полимерных футеровочных листов для проведения ремонтов и реконструкций эксплуатируемых объектов военной инфраструктур / Современное состояние эксплуатационного содержания казарменно-жилищного фонда Министерства обо-

роны России и инновационные пути перспектив его развития: сб. докл. круглого стола (г. Кубинка, 23 августа 2018 г.). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2018. С. 261–268. EDN: XZQUDJ.

37. Пат. № 2721663, РФ, С1. Автоматизированная система управления восстановлением объектов инфраструктуры / Ю. А. Бирюков, А. Н. Бирюков, Д. В. Бирюков, Н. А. Бирюков. № 2019134364; заявл. 21.05.2020.

38. Пат. № 2801010, РФ. Способ крепления защитного полимерного покрытия к железобетонному основанию / Д. Л. Сарган, В. Н. Денисов, Н. В. Курашев, А. П. Грицук, Б. Б. Дудурич, А. Н. Иванов, А. Н. Бирюков, И. М. Таутиев. № 2023102751. заявл. 01.08.2023.

REFERENCES

1. Abaza K.A. Empirical Markovian-based models for rehabilitated pavement performance used in a life cycle analysis approach. *Structure and Infrastructure Engineering*. 2017;13(5):625-636. <https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1187180>.
2. Amador-Jimenez L.E., Mrawira D. Reliabilitybased initial pavement performance deterioration modelling. *International Journal of Pavement Engineering*. 2011;12(2):177-186. <https://doi.org/10.1080/10298436.2010.535538>.
3. Amin Sh. The pavement performance modeling: deterministic vs. stochastic approaches. In: Numerical methods for reliability and safety assessment. S. Kadry, A. El Hami [Eds.]. Switzerland: Springer; 2015. P. 179-196. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07167-1_5.
4. Hoque J.M., Erhardt G.D., Schmitt D., Chen M., Chaudhary A., Wachs M., et al. The changing accuracy of traffic forecasts. *Transportation*. 2022;49:445-466. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10182-8>.
5. Liu L., Gharaibeh N.G. Bayesian model for predicting the performance of pavements treated with thin hot-mix asphalt overlays. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2014;2431(1):33-41. <https://doi.org/10.3141/2431-05>.
6. Paterson W.D.O. Road deterioration and maintenance effects: models for planning and maintenance. Standarts series. Washington: World Bank Group; 1987.
7. Prochazka M., Lehovec F. Pavement management guide. *Pavement system: present practice and current research of pavement managing system in the CSSR: 6-th road conference*. 4-6 October 1988, Budapest. Budapest: Roads transportation association of Canada; 1988. Vol. 1. p. 232-240.
8. Zhong Sh., Sun D.(J.). Logic-Driven Traffic Big Data Analytics. Singapore: Springer; 2023. p. 280. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-8016-8>.
9. Robinson R., Danielson U., Snaith M. Road maintenance management: concepts and systems. Moscow;1998. 312 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-14676-5>.
10. Zhang X., Ai T. How to Model Roads in OpenStreetMap? A Method for Evaluating the Fitness-for-Use of the Network for Navigation / Harvey, F., Leung, Y. (Eds.) *Advances in Spatial Data Handling and Analysis. Advances in Geographic Information Science*. Cham: Springer; 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19950-4_9
11. Batrakova A.G., Urdzik S.N., Batrakov D.O. Modeling and estimation of the condition of pavements with the through cracks. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta = Bulletin of Kharkov national automobile and highway university*. 2019;85:49-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.49>. EDN: HKKTPY.
12. Batrakova A.G., Urdzik S.N., Batrakov D.O. Dynamic and econometric models for predicting the condition of highways. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta = Bulletin of Kharkov national automobile and highway university*. 2019;85:59-65. (In Russ.). <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.59>. EDN: HKRXHN.
13. Bedrin E. A., Zavyalov A. M., Zavyalov M. A. Prognosis of thermal stability of road basis. *Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii = The Russian automobile and highway industry journal*. 2012;2:30-33. (In Russ.). EDN: PBEHJX.
14. Burtyl YU. V., Salodkaya M. G., Kovalev YA. N. Predicting the smoothness of road surfaces. *Nauka i tekhnika = Science and technique*. 2021;3:216-223. (In Russ.). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-3-216-223>. EDN: KCBUAP.
15. Burtyl Y. V. Scientific and practical research evenness highways. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semej*. 2020;4:145-149. (In Russ.). <https://doi.org/10.48081/GKHW9128>.
16. Burtyl Yu. V., Kapsky D. V. Modelling the relationship of smoothness and resistibility in non-rigid pavements based on theoretical and practical studies. *Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii = The Russian automobile and highway industry journal*. 2022;19(4):570-582. (In Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-570-583>. EDN: MGXUAY.
17. Veiukov E. V., Salikhov M. G., Tolstova A. G., Tikhvinskaia D. P. Design of road pavement taking into

- account the aging processes of asphalt concretes. *Innovatsii i investitsii*. 2022;4:191-195. (In Russ.). EDN: YCDRXB.
18. Gnezdilova S. A., Goroh D. Ju., Fotiadi A. A. Development of a model for predicting the development of transverse cracks for highways in the Belgorod region. In: *materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii molodyh uchenyh Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V. G. Shuhova = materials of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*. 30 April – 20 May 2021, Belgorod. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov; 2021. p. 1951-1956. EDN: SIYYSL.
19. Gritsenko E. A. Predicting the wear track from the impact of studded tires. *Inzhenernye i social'nye sistemy: sbornik nauchnyh trudov instituta arhitektury, stroitel'stva i transporta Ivanovo State Polytechnic University*. 2022;7:124-126. (In Russ.). EDN: QNKZJJ.
20. Elshamy M. M. M., Tiraturyan A. N., Uglova E. V. Forecasting the deterioration of the operational state of pavements using artificial intelligence algorithms. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2022;6:732-741. (In Russ.). EDN: AXUTMA.
21. Kamenchukov A. V., Kormilitsyna L. V., Lopashuk V. V., TSupikova L. S. Influence of excess load on the wear and tear of the road surface. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2021;4-1:57-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.009>. EDN: WUJPQW.
22. Kirillov A. M., Zavyalov M. A. Prediction of remaining service life of asphalt pavements. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2018;13(3):356-367. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.3.356-367>. EDN: YWQSED.
23. Riapukhin V. M., Zakharova E. V. Analysis of nature and climate factors to form the GIS – Automobile Roads database. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta = Bulletin of Kharkov national automobile and highway university*. 2019;84:67-74. (In Ukrain.). <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.84.0.55>. EDN: QXFHWU.
24. Skorobogatchenko D. A., Zabaznov A. S. Forecasting the smoothness of the coverage of motor roads, taking into account the weather and climate impact and the level of work on the content. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2018;9(2):98-109. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2018.2.09>. EDN: USTOZO.
25. Khasanova L. R., Iusupova O. V. Solving the problem of forecasting traffic congestion using MS EXCEL. *Simvol nauki: Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal = Symbol of science: International scientific journal*. 2020;10:28-32. EDN: RICWGO.
26. Khoroshilov K. V. Modeling and forecasting the condition of the top layer of dirt roads in the autumn-winter period. *Modelirovanie slozhnyh processov i sistem: sbornik trudov sekcii № 12 XXIX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Modeling of complex processes and systems: proceedings of Section No. 12 of the XXIX International Scientific and Practical Conference*. 21 March 2019, Khimki. Khimki: Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after Lieutenant General D. I. Mikhailik; 2019. p. 79-84. (In Russ.). EDN: TTMMGC.
27. Shuhratzoda D., Popov A. D., Bukus D. V., Barinov K. A. Development of a web application for forecasting the remaining service life of highways based on their characteristics and diagnostic data. In: *Problemy mezhdunarodnoj transportnoj politiki: materialy Mezhdunarodnoj konferencii = Problems of international transport policy: materials of the International conference*. 27 March 2022, Moscow. Moscow: Moscow automobile and road construction state technical university (MADI); 2022. p. 96–100. (In Russ.). EDN: JTXRT.
28. Ermoshin N. A., Romanchikov S. A., Averianov D. A. Simulation modeling of the risk of destruction of road structures during the inter-repair period. *Putevoj navigator*. 2022;50:30-41. (In Russ.). EDN: LNFPKN.
29. Novik A N Ismailov A M Rusakov M N. The influence of the particle size distribution of asphalt concrete mixtures on the quality of road pavement. *Putevoi navigator*. 2022;51:36-41. (In Russ.). EDN: QNGSTL.
30. Lazarev Iu. G. Talipova L. V. Cherkashin A. V. Methodology for creating a TSODD database based on PostgreSQL and InRoadsTrafficPlan. *Putevoi navigator*. (In Russ.). 2022;52:26-33. EDN: ZWJJK.
31. Osinovskaya V. A. Forecasting of durability of asphalt-concrete pavement on the basis of their vibration loading rate. *Nauka i tekhnika = Science and technique*. 2015;6:49-53. (In Russ.). EDN: VLFWVT.
32. Rapoport P. B., Vasiliev Yu. E., Kochetkov A. V., Kokodeeva N. E. Lessons of forecasting. *Avtomobil'nye dorogi*. 2011;2:32-34. (In Russ.).
33. Gaevskaja Z. A., Vafaeva H. M. Foresight in construction: engineering tasks. In: *Nauka molodyh – budushhee Rossii: materialy 5-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh = Science of the young – the future of Russia: materials of the 5th International scientific conference of promising developments of young scientists*. 10-11 December 2020, Kursk. Kursk: Southwestern State University; 2020. In 4 vols. Vol. 3. p. 206-209. (In Russ.). EDN: WSGYKI.
34. Ilyas I., Zafar A., Afzal M. T., Javed M. F., Alrowais R., Althoey F., et al. Advanced machine learning modeling approach for prediction of compressive strength of frp confined concrete using multiphysics genetic

- expression programming. *Polymers*. 2022;14:1789. <https://doi.org/10.3390/polym14091789>. EDN: EUPEID.
35. Ptuhina I. V., Kirsanova T. A. Multi-system modeling and management in order to improve the accuracy of the forecast in construction. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh nauk i tekhnologii Integral = International journal of applied sciences and technology Integral*. 2022;5:3. (In Russ.). EDN: KUQMBI.
36. Biryukov A. N., Dudurich B. B., Gritsuk A. P. The use of polymer lining sheets for repairs and reconstructions of operated military infrastructure facilities. In: *Sovremennoe sostojanie jekspluatacionnogo sodержaniya kazarmenno-zhilishhnogo fonda Ministerstva obo-rony Rossii i innovacionnye puti perspektiv ego razvitija: sbornik dokladov kruglogo stola = The current state of operational maintenance of the barracks and housing stock of the Ministry of Defense of Russia and innovative ways of its development prospects: collection of the round table*. 23 August 2008, Kubinka. Saint Petersburg: Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University; 2018. p. 261-268. (In Russ.). EDN: XZQUDJ.
37. Biryukov Yu. A., Biryukov A. N., Biryukov D. V., Biryukov N. A. Automated control system for the restoration of infrastructure facilities. Patent RF, no. 2721663; 2020. (In Russ.).
38. Sargan D. L., Denisov V. N., Kurashev N. V., Gritsuk A. P., Dudurich B. B., Ivanov A. N., Biryukov A. N., Tautiev I. M. A method of fastening a protective polymer coating to a reinforced concrete base. Patent RF, no. 2801010; 2023. (In Russ.).

Информация об авторе

Слободчикова Надежда Анатольевна,
к.т.н., доцент,
доцент кафедры
автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: NSlobodcikova@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7845-2969>
Author ID: 518380

Information about the author

Nadezhda A. Slobodchikova,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Automobile Roads,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: NSlobodcikova@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7845-2969>
Author ID: 518380

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил
рукопись к печати и несет ответственность
за плагиат.

Contribution of the author

Autor has conducted the study, prepared the man-
uscript for publication and bears the responsibility
for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта инте-
ресов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regard-
ing the publication of this article.

Автор прочитал и одобрил окончательный ва-
риант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 02.10.2023.
Одобрена после рецензирования 20.10.2023.
Принята к публикации 23.10.2023.

Information about the article

The article was submitted 02.10.2023.
Approved after reviewing 20.10.2023.
Accepted for publication 23.10.2023.