УДК 625.7/.8 **DOI 10.33042/2522-1809-2021-6-166-88-93**

А.Г. Батракова, С.М. Урдзік

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ІМОВІРНІСНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ, ЩО ЗНАХОДИТЬСЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Проведено аналіз методів, пов'язаних з імовірнісним підходом до проєктування та оцінювання стану дорожнього одягу як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. Встановлено, що імовірнісні методи дозволяють врахувати неоднорідність параметрів конструкції дорожнього одягу та можуть бути застосовані у моделях оцінювання стану дорожнього одягу з тріщинами у шарах з монолітних матеріалів.

Ключові слова: *дорожній одяг, імовірнісний підхід, коефіцієнт варіації, коефіцієнт відповідності, тріщини, прогнозування стану дорожнього одягу.*

Постановка проблеми

Різноманіття моделей оцінювання стану покриття з руйнуваннями пояснюється: мінливістю ґрунтово-геологічних, кліматичних умов експлуатації дорожнього одягу; різноманіттям фізико-механічних характеристик матеріалів конструктивних шарів дорожнього одягу і ґрунтів земляного полотна; неоднорідністю геометричних параметрів дорожніх одягів у поздовжньому і поперечному профілях. Тому, на думку багатьох авторів [1–4] для оцінювання стану дорожнього одягу необхідною умовою є застосування методів імовірнісного аналізу.

Метою статті є проведення аналізу імовірнісного підходу до врахування впливу руйнувань покриття на стан дорожнього одягу.

Виклад основного матеріалу

Як відзначають автори [5], методи проєктування та оцінювання стану конструкції дорожнього одягу повинні враховувати принципи надійності, в тому числі імовірнісні методи аналізу надійності. Концепція імовірнісного проєктування дорожнього одягу була сформульована ще в 1970-х роках [6, 7, 8]. Пропонувалися підходи, пов'язані з імовірнісними методами проєктування та оцінювання стану дорожнього одягу [9–16]. При цьому значна частина досліджень була присвячена проєктуванню нового нежорсткого покриття [6, 17–19]. Більшість досліджень обмежувалась оцінкою строку служби дорожнього покриття [20, 21].

Для врахування імовірнісного характеру зміни транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг В.Н. Яромко запропоновано застосовувати безрозмірний коефіцієнт відповідності, як характеристику стану дорожнього одягу [22]:

$$K = \frac{K_ф}{K_{ет}}, \tag{1}$$

де K – коефіцієнт відповідності;

$K_ф$ – фактичний рівень надійності конструкції дорожнього одягу;

$K_{ет}$ – еталонний рівень надійності конструкції дорожнього одягу.

Дослідженнями [22] обґрунтовано, що процес деформування покриття підпорядкований нормальному закону розподілу:

$$\alpha(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z0}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \tag{2}$$

де z – ордината нормованої щільності розподілу Гауса, яка залежить від ступеня деформування покриття:

$$\alpha(z) = \frac{Д}{10}, \tag{3}$$

де $Д$ – площа деформованого покриття, що визначається за результатами візуального оцінювання, м^2/1000 м^2.

Тоді розрахункова працездатність дорожнього одягу пов'язана з деформативністю дорожнього одягу і кількістю деформацій та руйнувань [22]:

$$N = 10^{2,72-3,25\lg l-\frac{\lg\left(\frac{z}{3}+1\right)}{0,31}}, \tag{4}$$

де l – виміряний прогин дорожнього одягу, см.

Маючи безсумнівні переваги у частині врахування ймовірності розподілу руйнувань та

 © Батракова А.Г., Урдзік С.М.

деформацій, метод враховує деформативні властивості матеріалів шарів дорожнього одягу та їх товщину через функцію відгуку конструкції на зовнішній вплив – величину пружного прогину конструкції, що вимірюється. Такий підхід знижує достовірність результатів через похибки інструментальних вимірювань пружного прогину, що проводяться на зруйнованих покриттях.

У роботах зарубіжних авторів [23] відзначається, що зміна товщини шару дорожнього покриття відповідає нормальному розподілу з коефіцієнтом варіації у діапазоні від 3 % до 25 % для шару асфальтобетону і від 5 % до 35 % для шарів з зернистих матеріалів. Аналогічні результати отримані проф. І.П. Гамеляком [24]. Модуль пружності матеріалу шарів конструкції дорожнього одягу, кількість прикладань розрахункового навантаження також можуть бути охарактеризовані коефіцієнтом варіації [23–25]. Модулі пружності підкорюються логонормальному [26–29] або нормальному законам розподілу [27, 30]. Аналогічно змінюється коефіцієнт Пуассона матеріалів шарів дорожнього одягу через неоднорідність температури за глибиною конструкції [31–33]. У дослідженні [25] встановлено, що варіація геометричних параметрів шарів дорожнього одягу, інтенсивності руху транспортних засобів і складу транспортного потоку, коефіцієнта, що враховує розподіл транспортних засобів по смугах руху істотно впливають на строк служби дорожнього одягу. Тому останні дослідження спрямовані на розроблення моделей оцінювання стану дорожнього одягу, які враховують неоднорідність та мінливість вхідних параметрів через функції розподілу ймовірностей та статистичні характеристики розподілу. Так, у дослідженні [23] конструкція посилення вважається невдалою, якщо виконується умова:

$$P(f) = P(S) \le 0 = P\left[\left\{\ln(N) - \ln(CTL)\right\} \cdot \le 0\right] \quad (5)$$

де $P(f)$ – ймовірність відмови;

S – запас міцності;

CTL – сумарне транспортне навантаження, авт.;

N – залишковий ресурс дорожнього покриття, авт.

Більшість розглянутих імовірнісних моделей оцінювання і прогнозування стану дорожнього одягу орієнтовані на проєктування нового будівництва, що дозволяє не враховувати закономірності змінювання фізико-механічних властивостей матеріалів шарів конструкції та їх геометричних параметрів у процесі експлуатації. Разом з тим, найбільш актуальним є оцінювання стану дорожнього одягу з руйнуваннями, в тому числі прихованими тріщинами.

Вагомий внесок у вирішення зазначеної проблеми внесли роботи Б.С. Радовського [15, 34, 35], І.П. Гамеляка [36–39], В.М. Яромко [40–42], В.А. Веренько [43, 44], В.В. Мозгового, [45–47], В.Д. Казарновського [48, 49], І.І. Леоновича [50, 51], В.А Семенова [52, 53]. Професором В.А. Семеновим [52, 53] обґрунтовано доцільність застосування коефіцієнта варіації (C_v) вимірюваних фізико-механічних, геометричних параметрів шарів конструкції дорожнього одягу для оцінювання однорідності і обґрунтування законів розподілу випадкових величин [53]: нормальний (C_v =0,25); Вейбула (C_v =0,44); логарифмічний нормальний (C_v =0,68) і експоненційний (C_v =0,92). Роботи І.П. Гамеляка створили теоретичний фундамент для оцінювання надійності конструкції дорожнього одягу на етапі експлуатації з урахуванням всього комплексу випадкових факторів. Згідно з [54] основними показниками, що характеризують стан дорожнього одягу є коефіцієнти варіації: загального еквівалентного модуля пружності конструкції дорожнього одягу ($C_{Eзаг}$); напруження розтягу при згині пакету монолітних шарів (C_σ); напруження зсуву в незв'язаних шарах і ґрунті земляного полотна (C_τ). Для оцінювання коефіцієнта варіації критеріїв граничного стану запропоновано використовувати залежність [54]:

$$C_{E,\tau,\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{\partial\left(E_{заг},\tau,\sigma\right)}{\partial\Phi_i}\right)^2 \times \left(\frac{\bar{\Phi}_i}{\bar{E}_{заг},\bar{\tau},\bar{\sigma}}\right)^2\right] \times C_{\Phi_i}^2}, \quad (6)$$

де n – кількість параметрів, що впливають на розрахунок для даного критерію граничного стану;

Φ_i та $\bar{\Phi}_i$ – параметр розрахунку та його середнє значення;

$C_{\Phi i}$ – коефіцієнт варіації параметра.

Висновки

Таким чином, імовірнісні методи дозволяють врахувати неоднорідність параметрів, що характеризують напружено-деформований стан конструкції дорожнього одягу та можуть бути застосовані у моделях оцінювання стану дорожнього одягу з тріщинами у шарах з монолітних матеріалів.

Література

1. *Retherford J.Q. Management of Uncertainty for Flexible Pavement Design Utilizing Analytical and Probabilistic Methods (PhD thesis). – Vanderbilt University, Nashville. 2012. – 289 p.*
2. *Sharma H. Development of probabilistic fatigue curve for asphalt concrete based on viscoelastic continuum damage mechanics / Sharma H., Swamy A.K. // International Journal of Pavement Research and Technology. – 2016. – № 9(4). – PP. 270–279. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.07.004*
3. *Sun L. Probabilistic approaches for pavement fatigue cracking prediction based on cumulative damage using miner's*

law / Sun L., Hudson W.R. // Journal of Engineering Mechanics. – 2005. – 131(5). – PP. 546–549. DOI: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2005)131:5(546)

4. Yue Huang. Road pavement maintenance life cycle assessment – auk case study / Yue Huang, Fabio Galatioto, Tony Parry // International Symposium on Pavement LCA 2014. – Davis, California, USA. October 14–16, 2014. – PP. 179–190.

5. Yared H Dinegdae. Reliability-based design procedure for fatigue cracking in asphalt pavements / Yared H Dinegdae, Björn Birgisson // Transportation Research Record. – 2016. – Vol. 2583, Is. 1. – PP. 127–133. DOI: https://doi.org/10.3141%2F2583-16

6. Корсунский М.Б. Практические методы определения напряжённо-деформированого состояния конструкций дорожных одежд // Труды СоюздорНИИ. – 1966. – Вып. 6. – С. 5–78.

7. Красиков О.А. Обоснование стратегий ремонта нежестких дорожных одежд: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.11. – Алматы, 1999. – 597 с.

8. Васильев А.П. Принципы прогнозирования транспортно-эксплуатационного состояния дорог / Васильев А.П., Яковлев Ю.М., Коганзон М.С. // Автомобильные дороги. – 1993. – № 1. – С. 8–10.

9. Нежесткие дороги. Отчет комитета С8 (XX Всемирный дорожный конгресс). – Монреаль: PARC-AIPCR, 1995. – 98 с.

10. Углова Е.В. Учет вероятностной составляющей при назначении проектных модулей упругости слоев асфальтобетона / Углова Е.В., Тиратурян А.Н., Акулов В.В., Валенцев Д.А., Шаталов В.Ю. // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 2. – С. 3–10.

11. Коганзон М.С. Качество и надежность дорожного строительства : учеб. пос. / Коганзон М.С., Яковлев Ю.М. – М. : МАДИ, 1981. – 90 с.

12. Каганович В.Е. К вопросу оптимизации сроков реконструкции и стадийности строительства автомобильных дорог. Оптимизация сроков реконструкции и стадийности строительства автомобильных дорог. – Омск : СибАДИ, 1973. – С. 3–52.

13. Могилевич В.М. Некоторые результаты применения теории надежности к оценке эксплуатационного состояния дорог в северных областях Казахской ССР / Могилевич В.М., Слободчиков Ю.В., Сиппле Е.В., Ситников Ю.М. // Повышение транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог Казахской ССР : сб. науч. трудов. – Алма-Ата : Минавтодор КазССР, 1971. – С. 11–23.

14. Ситников Ю.М. Стадийное улучшение транспортно-эксплуатационных качеств дорог / Ситников Ю.М., Дивочкин О.А. – М. : Транспорт, 1973. – 128 с.

15. Коновалов С.В. Применение метода статистических испытаний к оценке надежности и качества дорожных одежд / Коновалов С.В., Радовский Б.С., Билан О.О. // Автомобильные дороги в дорожном строительстве. – 1977. – Вып. 21. – С. 63–67.

16. Слободчиков Ю.В. Обоснование оценочных показателей выбора ремонтной стратегии автомобильных дорог с нежесткими дорожными одеждами в изменяющихся условиях эксплуатации: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.23.11. Москва, 1995. – 333 с.

17. Радовский Б.С. Прогнозирование закономерностей изменения состояния дорожной одежды / Радовский Б.С., Сердюк А.В. // Автомобильные дороги. – 1994. – № 7. – С. 19–22.

18. Ababutain A.Y., Bullen A. Multicriteria. Decision-Making Model for Selection of Build-Operate-Transfer Toll Road Proposals in the Public Sector. Transportation Research Record. 2003. № 1848. P. 1–9.

19. Durango-Cohen P. Optimal maintenance and repair policies in infrastructure management under Uncertain Facility Deterioration Rates: an Adaptive Control Approach / Durango-Cohen P., Madanat S. // Transportation Research Record. – 2002. – № 36(9). – PP. 763–778. DOI: https://doi.org/10.1016/S0965-8564(01)00038-6

20. The AASHO Road Test. Report 7: Final Summary. Washington: HRB, National Research Council, 1962. – 56 p.

21. Коганзон М.С. Качество и надежность дорожного строительства : учеб. пос. / Коганзон М.С., Яковлев Ю.М. – М. : МАДИ, 1981. – 90 с.

22. Бусел А.В. Ремонт автомобильных дорог : учеб. пос. Минск: Арт-Дизайн, 2004. – 208 с.

23. Maji A. Developing probabilistic approach for asphaltic overlay design by considering variability of input parameters./ Maji A., Singh D., Chawla H. // Innov. Infrastruct. Solut. – 2016. – 1(43). DOI: https://doi.org/10.1007/s41062-016-0046-3

24. Гамеляк І.П. Системна модель забезпечення надійності конструкцій дорожніх одягів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2017. – Вип. 100. – С. 216–227.

25. Maji A. Reliability considerations of bituminous pavement design by mechanistic-empirical approach / Maji A., Das A. // Int J Pavement Eng. – 2008. – № 9(1). – PP. 9–31. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/10298430600997240

26. Hyung Bae Kim. Reliability-based design model applied to mechanistic empirical pavement design / Hyung Bae Kim, Seung Ho Lee // KSCE Journal of Civil Engineering. – 2002. – № 6(3). – PP. 263–272. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02829149

27. Noureldin S.A. Estimation of standard deviation of predicted performance of flexible pavements using AASHTO model / Noureldin S.A., Sharaf E., Arafah A., Al-Sugair F. // Transp Res Rec. – 1994. – PP. 46–56.

28. Timm D.H. Variability of mechanistic–empirical flexible pavement design parameters / Timm D.H., Briggison B., Newcomb D.E. // Proceedings of the 5th international conference on the bearing capacity of roads and airfields. Trondheim, Norway. 6-8 July, 1998. URL: https://www.worldcat.org/title/proceedings-of-the-fifth-international-conference-on-the-bearing-capacity-of-roads-and-airfields-norwegian-university-of-science-and-technology-trondheim-norway-6-8-july-1998/oclc/180096445

29. Timm D.H. Incorporation of reliability into the Minnesota mechanistic-empirical pavement design method / Timm D.H., Newcomb D.E., Briggison B., Galambos T.V. // Final report prepared to Minnesota Department of Transportation, Minnesota University, Department of Civil Engineering, Minneapolis, 1999. – 134 p.

30. Darter M.I. Statistical variation of flexible pavement properties and their consideration in design / Darter M.I., Hudson W.R., Brown J.L. // Proc Assoc Asph Paving Technol. 1973. № 42. PP.589–615. URL: https://trid.trb.org/view/35241

31. Huang Y.H. Pavement analysis and design. Second edition. Pearson Prentice Hall Inc, Upper Saddle River, 2004. – 785 p.
32. Brown S.F. A fundamental structural design procedure for flexible pavements / Brown S.F., Pell P.S. // Proceedings of the 3rd international conference of structural design of asphalt pavements. London, 1972. – Vol. 1. – PP. 369–381. URL: https://trid.trb.org/view/138830
33. Pell P.S. Pavement materials // Proceedings of The 6th international conference of structural design of asphalt pavements. – 1987. – Vol. 2. – PP. 36–70.
34. Радовский Б.С. Поведение дорожной конструкции как слоистой вязкоупругой среды под действием подвижной нагрузки // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1975. – С. 42–48.
35. Радовский Б.С. Температурные напряжения в асфальто-бетоне, лежащем на основании с трещинами либо швами / Радовский Б.С., Мозговой В.В. // Повышение долговечности дорожных конструкций : Тр. Союздорнии. – М., 1985. – С. 29–45.
36. Гамеляк І.П. Надійність конструкції дорожнього одягу. Частина 1. Проектна та технологічна надійність. – К. : Автошляховик України, 2006. – № 2. – С.39–44.
37. Гамеляк І.П. Системна модель забезпечення надійності конструкцій дорожніх одягів. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2017. – Вип. 100. – С. 216–227.
38. Гамеляк І.П., Даценко В.М. Забезпечення надійності конструкції дорожнього одягу за несною здатністю при капітальному ремонті та реконструкції / Гамеляк І.П., Даценко В.М. // Науково-виробничий журнал. – 2015. – № 5 (247). – С. 40–43.
39. Дмитриченко М.Ф. Надійність конструкцій дорожнього одягу : навч. посіб. / Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. – К. : НТУ, 2012. – 206 с.
40. Яромко В.Н. Совершенствование методов оценки механических свойств асфальтобетона / Яромко В.Н., Жайлович И.Л. // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 04(47). – С. 23–29.
41. Яромко В.Н. Строительство автомобильных дорог. – Минск : «Вышэйшая школа», 2016. – 473 с.
42. Яромко В.Н. О совершенствовании проектирования дорожных одежд нежесткого типа // Наука и техника в дорожной отрасли. МАДИ (ГТУ). – 2008. – № 2(45). – С. 28–32.
43. Веренько В.А. Влияние параметров транспортной нагрузки на развитие деформаций дорожных покрытий / Веренько В.А., Занкович В.В., Макаревич А.А. // Вестник ХНАДУ. – 2006. – № 34–35. – С. 34–42.
44. Веренько В.А. Методика оценки надежности и ресурса дорожных одежд / Веренько В.А., Артюх С.В. – БНТУ, 2015. – С. 73–85.
45. Мозговий В.В. Проектування асфальтобетонних шарів підсилення при капітальному ремонті автомобільних доріг з врахуванням існуючого стану дорожнього одягу / Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю., Куцман О.М., Прудкий О.В. // Вісник ДонНАБА. – 2010. – № 1. – С. 81–89.
46. Гуляєв В.І. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами / Гуляєв В.І., Мозговий В.В., Густєлєв О.О., Шлюнь Н.В., Куцман О.М., Баран С.А. // Вісник Національного транспортного університету. – 2019. – №1(43). – С. 26–38. DOI: https://doi.org/10.33744/2308-6645-2019-1-43-026-038
47. Мозговий В.В. Проектування капітального ремонту дорожніх одягів / Мозговий В.В., Бесараб О.М., Каськів В.І., Мозговий О.В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2010. – № 79. – С. 50–63.
48. Казарновский В.Д. Пути повышения надежности и долговечности дорог в сложных природных условиях // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2002. – № 2. – С. 8–9.
49. Казарновский В.Д. К вопросу о методике расчета усиления дорожных одежд / Казарновский В.Д., Лейтланд И.В., Попов М.Л. // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2004. – № 1(28). – С. 33–34.
50. Леонович И.И. Диагностика автомобильных дорог : учеб. пос. / Леонович И.И., Богданович С.В., Нестерович И.В. – Минск : Новое знание, 2011. – 181 с.
51. Буртыль Ю.В. Совершенствование методов оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог / Буртыль Ю.В., Леонович И.И. // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 8. – С. 95–105.
52. Семенов В.А. Опыт применения статистических методов контроля качества в строительстве и ремонте автомобильных дорог / Семенов В.А., Мекуришвили Д.Г. – М.: Транспорт, 1988. – 47 с.
53. Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. – М. : Транспорт, 1989. – 125 с.
54. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.11. Київ, 2005. – 438 с.

References

1. Retherford, J.Q. (2012). Management of Uncertainty for Flexible Pavement Design Utilizing Analytical and Probabilistic Methods (PhD thesis). Vanderbilt University, Nashville.
2. Sharma, H., Swamy, A.K. (2016). Development of probabilistic fatigue curve for asphalt concrete based on viscoelastic continuum damage mechanics. International Journal of Pavement Research and Technology, 9 (4), 270–279. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.07.004
3. Sun, L., Hudson, W.R. (2005). Probabilistic approaches for pavement fatigue cracking prediction based on cumulative damage using miner's law. Journal of Engineering Mechanics, 131(5), 546–549. DOI: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2005)131:5(546)
4. Yue, Huang, Fabio, Galatioto, Tony, Parry. (2014). Road pavement maintenance life cycle assessment – auk case study. International Symposium on Pavement LCA 2014. Davis, California, USA. October 14-16 2014, 179–190.
5. Yared H, Dinegdae, Björn, Birgisson. (2016). Reliability-based design procedure for fatigue cracking in asphalt pavements. Transportation Research Record, 2583(1), 127–133. DOI: https://doi.org/10.3141%2F2583-16
6. Korsunsky, M.B. (1966). Practical methods for determining the stress-strain state of pavement structures. Proceedings of the Soyuzdor NII, 6, 5–78.
7. Krasikov, O.A. (1999). Substantiation of strategies for the repair of non-rigid road pavements: dis. ... Dr. Tech. Sciences: 05.23.11. Almaty.

8. Vasiliev, A.P., Yakovlev, Yu.M., Koganzon, M.S. (1993). The principles of predicting the transport and operational state of roads. Highways, 1, 8–10.
9. Non-rigid roads. (1995). Report of the C8 Committee (XX World Road Congress). Montreal, PARC-AIPCR.
10. Uglova, E.V., Tiraturyan, A.N., Akulov, V.V., Valentsev, D.A., Shatalov, V.Yu. (2016). Taking into account the probabilistic component when assigning the design moduli of elasticity of asphalt concrete layers. Engineering Bulletin of the Don, 2, 3–10.
11. Koganzon, M.S., Yakovlev, Yu.M. (1981). Quality and reliability of road construction: a tutorial. MADI, Moscow.
12. Kaganovich, V.E. (1973). On the issue of optimization of the terms of reconstruction and staged construction of highways. Optimization of the timing of reconstruction and staging of road construction. SibADI, Omsk, 3–52.
13. Mogilevich, VM, Slobodchikov, Yu.V., Sipple, E.V., Sitnikov, Yu.M. (1971). Some results of the application of the theory of reliability to the assessment of the operational state of roads in the northern regions of the Kazakh SSR. Improvement of transport and operational indicators of highways of the Kazakh SSR: collection of scientific works. Minavtodor KazSSR, Alma-Ata , 11–23.
14. Sitnikov, Yu.M., Divochkin, O.A. (1973). Stage-by-stage improvement of the transport and operational qualities of roads. Transport, Moscow.
15. Konovalov, S.V., Radovskiy, B.S., Bilan, O.O. (1977). Application of the statistical test method to assessing the reliability and quality of pavements. Highways in road construction, 21, 63–67.
16. Slobodchikov, Yu.V. (1995). Substantiation of the estimated indicators of the choice of the repair strategy for highways with non-rigid road clothes in changing operating conditions: dis. ... Dr. Tech. Sciences: spec. 05.23.11. Moscow.
17. Radovskiy, B.S. Serdyuk, A.V. (1994). Prediction of the regularities of changes in the state of the pavement. Highways, 7, 19–22.
18. Ababutain, A.Y., Bullen, A. (1848). Multicriteria. Decision-Making Model for Selection of Build-Operate-Transfer Toll Road Proposals in the Public Sector. Transportation Research Record. 2003. № 1848. P. 1–9.
19. Durango-Cohen P., Madanat S. (2002). Optimal maintenance and repair policies in infrastructure management under Uncertain Facility Deterioration Rates: an Adaptive Control Approach. Transportation Research Record, 36(9), 763–778. DOI: https://doi.org/10.1016/S0965-8564(01)00038-6
20. The AASHO Road Test. (1962). Report 7: Final Summary. Washington: HRB, National Research Council.
21. Koganzon, M.S., Yakovlev, Yu.M. (1981). Quality and reliability of road construction: a tutorial. MADI, Moscow.
22. Busel, A.V. (2004). Road repair: a tutorial. Art-Design, Minsk.
23. Maji, A., Singh, D., Chawla, H. (2016). Developing probabilistic approach for asphaltic overlay design by considering variability of input parameters. Innov. Infrastruct. Solut., 1(43). DOI: https://doi.org/10.1007/s41062-016-0046-3
24. Gamelyak, I.P. (2017). A systematic model for securing the reliability of road constructions. Automobile roads and road construction, 100, 216–227.
25. Maji, A, Das, A. (2008). Reliability considerations of bituminous pavement design by mechanistic-empirical approach. Int J Pavement Eng., 9(1), 9–31. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/10298430600997240
26. Hyung Bae, Kim, Seung Ho, Lee. (2002). Reliability-based design model applied to mechanistic empirical pavement design. KSCE Journal of Civil Engineering, 6(3), 263–272. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02829149
27. Noureldin, S.A., Sharaf, E., Arafah A., Al-Sugair F. (1994). Estimation of standard deviation of predicted performance of flexible pavements using AASHTO model. Transp Res Rec, 46–56.
28. Timm, D.H., Briggison, B., Newcomb, D.E. (1998). Variability of mechanistic–empirical flexible pavement design parameters. Proceedings of the 5th international conference on the bearing capacity of roads and airfields. Trondheim, Norway. 6-8 July, 1998. URL: https://www.worldcat.org/title/proceedings-of-the-fifth-international-conference-on-the-bearing-capacity-of-roads-and-airfields-norwegian-university-of-science-and-technology-trondheim-norway-6-8-july-1998/oclc/180096445
29. Timm, D.H., Newcomb, D.E., Briggison, B, Galambos, T.V. (1999). Incorporation of reliability into the Minnesota mechanistic-empirical pavement design method. Final report prepared to Minnesota Department of Transportation, Minnesota University, Department of Civil Engineering, Minneapolis.
30. Darter, M.I., Hudson, W.R., Brown, J.L. (1973). Statistical variation of flexible pavement properties and their consideration in design. Proc Assoc Asph Paving Technol, 42, 589–615. URL: https://trid.trb.org/view/35241
31. Huang, Y.H. (2004). Pavement analysis and design. Second edition. Pearson Prentice Hall Inc, Upper Saddle River.
32. Brown, S.F., Pell, P.S. (1972). A fundamental structural design procedure for flexible pavements. In: Proceedings of the 3rd international conference of structural design of asphalt pavements, 1, 369–381. URL: https://trid.trb.org/view/138830
33. Pell, P.S. (1987). Pavement materials. Proceedings of The 6th international conference of structural design of asphalt pavements, 2, 36–70.
34. Radovskiy, B.S. (1975). Behavior of the road structure as a layered viscoelastic medium under the action of a moving load. Proceedings of universities. Building and architecture, 42–48.
35. Radovskiy, B.S., Mozgovoy, V.V. (1985). Thermal stresses in asphalt concrete lying on a base with cracks or seams. Increasing the durability of road structures: Trudy Soyuzdornii. Moscow, 29–45.
36. Gamelyak, I.P. (2006). The reliability of the design of the road bed. Part 1. Design and technological excellence. Avtoshlyakhovik Ukrainy, Kyiv, 2, 39–44.
37. Gamelyak, I.P. (2017). A systematic model for securing the reliability of road constructions. Automobile roads and road construction, 100, 216–227.
38. Gamelyak, I.P., Datsenko, V.M. (2015). Ensuring the safety of the road construction for unclear buildings during capital repairs and reconstruction. Naukovo-virobnichesky journal, 5(247), 40–43.
39. Dmitrichenko, M.F., Dmitriev, M.M., Gamelyak, I.P., Raikovsky, V.F. (2012). The need for road construction. NTU, Kyiv.
40. Yaromko, V.N., Zhaylovich, I.L. (2008). Improvement of methods for assessing the mechanical properties of asphalt concrete. Science and technology in the road industry, 04(47), 23–29.

41. Yaromko, V.N. (2016). Road construction. Higher school, Minsk, 473.
42. Yaromko, V.N. (2008). On improving the design of non-rigid road pavements. Science and technology in the road industry, 2(45), 28–32.
43. Verenko, V.A., Zankovich, V.V., Makarevich, A.A. (2006). Influence of parameters of transport load on the development of deformations of road surfaces. Bulletin of KhNADU, 34–35, 34–42.
44. Verenko, V.A., Artyukh, S.V. (2015). Methodology for assessing the reliability and service life of road pavements. BNTU.
45. Mozgovy, V.V., Olkhovy, B.Yu., Kutsman, O.M., Prudkiy, O.V. (2010). Design of asphalt concrete spheres for overhaul during capital repairs of automobile roads for the construction of a road bed. Bulletin of DonNABA, 1, 81–89.
46. Gulyaev, V.I., Mozgovy, V.V., Gustul'v, O.O., Shlyun, N.V., Kutsman, O.M., Baran, S.A. (2019). Pre-loaded-deformed mill with a reinforced base with transverse grooves and seams. Bulletin of the National Transport University, 1(43), 26–38. DOI: https://doi.org/10.33744/2308-6645-2019-1-43-026-038
47. Mozgovy, V.V., Bessarab, O.M., Kaskiv, V.I., Mozgovy, O.V. (2010). Project for the overhaul of road blocks. Automobile roads and road construction, 79, 50–63.
48. Kazarnovsky, V.D. (2002). Ways to improve the reliability and durability of roads in difficult natural conditions. Science and technology in the road industry, 2, 8–9.
49. Kazarnovsky, V.D., Leitland, I.V., Popov, M.L. (2004). To the question of the methodology for calculating the reinforcement of road pavements. Science and technology in the road industry, 1(28), 33–34.
50. Leonovich, I.I., Bogdanovich, S.V., Nesterovich, I.V. (2011). Diagnostics of highways. New knowledge, Minsk.
51. Burtyl, Yu.V., Leonovich, I.I. (2010). Improvement of methods for assessing the transport and operational state of highways. Highways and bridges, 8, 95–105.
52. Semenov, V.A., Mekurishvili, D.G. (1988). Experience in the use of statistical methods of quality control in the construction and repair of highways. Transport, Moscow.
53. Semenov, V.A. (1989). The quality and uniformity of highways. Transport, Moscow.
54. Gamelyak, I.P. (2005). Fundamentals of the safety of the construction of the road dress: dis. ... Dr. Tech. Sciences: 05.22.11. Kyiv.

Рецензент: д-р техн. наук, професор Н.В. Кирель, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Автор: БАТРАКОВА Анжеліка Геннадіївна
професор кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – agbatr@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4067-4371

Автор: УРДЗІК Сергій Миколайович
доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – urdzik@khadi.kharkov.ua
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6914-1221

PROBABILITY METHODS OF ANALYSIS OF ASSESSMENT OF THE CONDITION OF ROAD CLOTHES IN USE

A. Batrakova, S. Urdzik
Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

This article is a continuation of the analysis of methods and criteria for assessing the condition of non-rigid pavement, which contains in its structural layers such hidden defects as cracks, material disintegration, violation of the structure of intermediate layers of monolithic material and others.

The variety of models for assessing the condition of the pavement with destruction is explained by: variability of soil-geological, climatic conditions of operation of pavement; the variety of physical and mechanical characteristics of the materials of the structural layers of the pavement and the soil of the ground; heterogeneity of geometric parameters of pavements in the longitudinal and transverse profiles. According to many scientists to assess the condition of the pavement is a necessary condition for the use of methods of probabilistic analysis. Methods of designing and assessing the condition of the pavement structure must take into account the principles of reliability, including probabilistic methods of reliability analysis.

Most of the considered probabilistic models for assessing the condition of pavement are focused on the design of new construction, which allows not to take into account the patterns of changes in physical and mechanical properties of materials of structural layers and their geometric parameters during operation. However, the most relevant is to assess the condition of pavement with damage, including hidden cracks. Much of the article is devoted to the analysis of this area of research.

According to the results of the analysis, it is concluded that probabilistic methods allow to take into account the heterogeneity of parameters that characterize the stress-strain state of the pavement structure and can be used in models to assess the condition of pavement with cracks in layers of monolithic materials.

Keywords: *probabilistic approach, coefficient of variation, coefficient of conformity, forecasting the condition of pavement.*