

А.Г. Батракова, С.М. Урдзік

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ТРІЩИН НА МІЦНОСТНІ ПОКАЗНИКИ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Проведено аналіз існуючих методів, що дозволяють врахувати вплив тріщини в розрахунках напружено - деформованого стану конструкції дорожнього одягу. В роботі розглянуто теоретичні та емпіричні методи. За результатами аналізу моделей з оцінювання стану нежорсткого дорожнього одягу з тріщинами визначено, що переважна більшість моделей отримана для конкретних дорожньо-кліматичних умов і конструкцій дорожнього одягу та відображають особливості регіону обстеження. Результати аналізу дають можливість врахування окремого виду дефекту при виборі розрахункової схеми і порядку розрахунку дорожнього одягу.

Ключові слова: тріщина, прогин, надійність, дорожній одяг нежорсткого типу, напружено - деформований стан, теоретичні та емпіричні методи.

Постановка проблеми

При розробці проектів ремонту автомобільних доріг, необхідно враховувати ряд факторів, що впливають на поточний стан всієї інженерної споруди, а також причини, що викликали необхідність проведення передчасних ремонтних робіт. До таких факторів можна віднести: геометричні параметри автомобільної дороги, наявність поверхневих дефектів, умови роботи земляного полотна. На думку авторів, окремо необхідно розглянути дефекти та руйнування, що містяться у конструктивних шарах конструкції і які неможливо ідентифікувати за допомогою інструментальних методів, що традиційно застосовуються під час діагностики автомобільних доріг.

Аналіз досліджень і публікацій

У багатьох дослідженнях [1, 2, 3] зазначається, що тріщини є найбільш характерним видом руйнувань дорожніх покриттів та є основною небезпекою як початкова стадія більш серйозних руйнувань, що призводять до втрати розподільчої здатності покриття. Автори зазначених досліджень відзначають, що своєчасне виявлення прихованих тріщин у шарах покриття і шарах основи та їх врахування при розробці проектів ремонту, дозволяє попередити руйнування дорожнього одягу та істотно скоротити витрати на ремонтні роботи автомобільних доріг.

Метою статті є проведення аналізу методів оцінювання впливу тріщин на показники міцності та деформативності дорожнього одягу нежорсткого типу. Результати аналізу дають можливість

врахування окремого виду дефекту при виборі розрахункової схеми і порядку розрахунку дорожнього одягу.

Виклад основного матеріалу

Про здатність дорожнього одягу чинити опір напруженням, що виникають під дією транспортного навантаження та природно-кліматичних факторів, можна судити за двома показниками: коефіцієнтом запасу міцності та коефіцієнтом надійності [4, 5]. Тому дослідження впливу тріщин на показники міцності і деформативності дорожнього одягу розвивалися за основними двома напрямками:

- теоретичні методи. Базуються на моделях механіки дорожніх одягів, положеннях теорії пружності і механіки деформованого твердого тіла, що дозволяє оцінити вплив тріщин на напружено - деформований стан (НДС) конструкції дорожнього одягу;

- емпіричні методи. Їх основу складають моделі оцінювання і прогнозування стану дорожнього одягу, що ґрунтуються на інструментальних вимірюваннях та аналізі змінювання відгуку конструкції дорожнього одягу на вплив навантаження від транспортних засобів та природно-кліматичних факторів.

Перші моделі з оцінювання впливу тріщин або швів у цементобетонних покриттях на НДС двошарової конструкції були розроблені Г.М. Вестергаардом [6 - 8]. Вони передбачали періодичну втрату контакту між двома пружними тілами, яка викликана косинусоподібними «хвилями» від навантаження. Пізніше були розроблені більш досконалі моделі, які спиралися на рішення задачі визначення прогину нескінченних та півнескінченних

балок і плит, розташованих на пружній вінклерівській основі.

Математичні залежності з оцінювання впливу наскрізної тріщини на стан дорожнього одягу опубліковані у роботі С.П. Тимошенко [9], де визначено, що вертикальне переміщення, дорівнює прогину нескінченної поверхні балки, а переміщення точки під дією навантаження на напівнескінченну балку визначається [9]:

$$f = \frac{Q}{2\beta^3 E J_1} = \frac{2Q\beta}{2}, \quad (1)$$

де Q – навантаження, кН;

β – жорсткість плити, кН/м³, визначається як

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4E_1 J_1}}, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт постелі основи, кН/м³;

E_1 – модуль пружності основи, МПа;

J_1 – момент інерції поперечного перерізу балки, см⁴.

Згідно з рішенням С.П. Тимошенко [9], прогин напівнескінченної балки на вінклерівській основі у чотири рази перевищує прогин нескінченної балки. Тоді вертикальне переміщення системи з наскрізною тріщиною під навантаженням, прикладеним над геометричним центром тріщини, у два рази перевищує прогин нескінченної балки. Під дією рухомого навантаження у момент, коли по черзі працює лише одна з балок з навантаженням на краю, прогин у чотири рази більший, ніж для нескінченної (без наскрізної тріщини) балки. Аналогічні висновки отримані у дослідженнях, що спиралися на рішення Г.М. Вестрегаарда для нескінченної і напівнескінченної плити [10].

Для теоретичної оцінки зменшення загального модуля пружності дорожнього одягу з руйнуваннями покриття Б.С.Радовським розглянуто вплив наскрізної тріщини на прогин плити, яка спирається на пружну основу [11]. Плита з тріщиною розглядалася як напівнескінченна плита, яка навантажена поблизу краю по круговій площадці, а плита без тріщини – як необмежена за тих самих умов навантаження. Прогин під центром навантаженої кругової площадки визначений за формулами Вестрегаарда.

За результатами досліджень І.П. Гамеляка [12]

доведено, що із зміною \bar{R} від 0,1 до 0,4 значення kw змінюється від 3,1 до 1,7. Тобто за наявності у шарах покриття та основи наскрізної тріщини прогин збільшується у 1,7 - 3,1 рази у порівнянні з дорожнім одягом без тріщини тим більшою мірою, чим більше жорсткість цих шарів [12]. Виконаний автором аналіз підтверджує, що для будь-якої товщини шару покриття існує оптимальне

співвідношення між модулем пружності покриття і основи за якого відношення прогинів мінімальне. Зі збільшенням модуля пружності основи, вплив тріщини на прогин під навантаженням зменшується, що свідчить про необхідність врахування вологості ґрунту земляного полотна під час інструментальних вимірювань. Збільшення модуля пружності покриття призводить до збільшення впливу тріщини на зниження несучої здатності дорожнього одягу.

Головними обмеженнями практичного застосування моделей, запропонованих Радовським Б.С. [13] є припущення: плита у плані нескінченна; навантаження на суміжну плиту не передається; плита розташована на однорідній основі; глибина основи необмежена; плита плоска, має гладкий контакт з основою, відсутнє температурне жолоблення. Запропонований підхід дозволяє оцінити вплив одиночної тріщини на деформативність дорожнього одягу.

Точне рішення з визначення прогину під навантаженням у багатошаровій плиті, що містить тріщину і розташована на нескінченному пружному півпросторі, отримано Б.С. Радовським та А.К. Приварніковим [14]. Метод [14] має суттєві обмеження щодо забезпечення: гладкості кривої, що обмежує поперечний переріз неоднорідності (порушення суцільності шару); розташування неоднорідності всередині шару, не торкаючись його країв; повного зчеплення між шарами. Природно, що ці обмеження істотно знижують адекватність і, як наслідок, звужують галузь застосування подібних моделей.

Проте, такі моделі можуть знайти застосування під час тестування більш універсальних чисельних моделей. Як зазначає Б.С. Радовський [15], незважаючи на практичну необхідність вирішення завдання про напружений стан суцільного шару, що спирається на основу з тріщинами, теоретичний розв'язок задачі відсутній.

Емпіричні моделі постулюють можливість врахування впливу руйнувань на стан дорожнього одягу: через зменшення товщини шару з тріщиною згідно з ВСН 46-83 [16]; через зменшення модуля пружності шару дорожнього одягу.

У першому випадку розглядається вплив тріщини на зміну циліндричної жорсткості покриття. Еквівалентна товщина шару з тріщинами h_{cr} визначається за формулою [12]:

$$h_{cr} = h_m \times K_h, \quad (3)$$

де w_m , w_{cr} – відповідно прогин покриття без тріщини і з тріщиною, що знижує його несучу здатність.

Зниження несучої здатності покриття з тріщинами запропоновано враховувати за допомогою коефіцієнта [12]:

$$K_E = K_T^{c \cdot \ln(h) - d}, \quad (4)$$

де K_E – коефіцієнт, що враховує зниження несучої здатності покриття з тріщинами;

K_T – коефіцієнт, що враховує зміну модуля пружності асфальтобетонного покриття в результаті розтріскування шару $K_T = E_{cr}/E_{in}$;

c – емпіричний коефіцієнт, $c = 0,3359 + 0,0001 \cdot E_2$;

d – емпіричний коефіцієнт, $d = 0,3093 + 0,0007 \cdot E_2$;

E_1 – модуль пружності шару покриття, МПа;

E_2 – модуль пружності основи під асфальтобетонним покриттям, МПа;

h – товщина шару покриття, м;

D – діаметр відбитку колеса, см;

E_{cr} – модуль пружності покриття з тріщиною, МПа;

E_{in} – модуль пружності покриття без тріщини, МПа.

За результатами досліджень, що виконані Гамеляком І.П. [17], зміну модуля пружності шару асфальтобетонного покриття з руйнуваннями запропоновано враховувати коефіцієнтом еквівалентності, що визначається за результатами експериментальних обстежень:

$$a_1 = \left(E_1 / E_{щсб} \right)^{1/3}, \quad (5)$$

де E_1 – модуль пружності асфальтобетону, МПа;

$E_{щсб}$ – модуль пружності щелевеного шару, як еквівалентний показник, що відображає стан асфальтобетонного покриття, МПа.

Інший підхід до оцінювання змінювання модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу через накопичення руйнувань у процесі експлуатації запропонований В.Д. Казарновським, І.В. Лейтландом, М.Л. Поповим [18]. Передбачається, що у процесі експлуатації шари покриття втрачають розподільчу здатність. Тоді відношення модуля пружності дорожнього одягу на початку експлуатації до модуля пружності по закінченні строку служби може бути представлено у вигляді [18]:

$$\frac{E_{об}^T}{E_{об}^0} = \frac{\frac{\pi}{2 \cdot E_{осн}} + \left(\frac{1}{E_a \cdot \sqrt{\frac{E_a}{E_{осн}}}} - \frac{1}{E_{осн}} \right) \times \arctg \left(\frac{\sqrt{2,5} \cdot h_a}{D} \right) \times \sqrt{\frac{E_a}{E_{осн}}}}{\frac{\pi}{2 \cdot E_{осн}} + \left(\frac{1}{E_a} - \frac{1}{E_{осн}} \right) \times \arctg \left(\frac{\sqrt{2,5} \cdot h_a}{D} \right)} \quad (6)$$

де $E_{осн}$ – загальний модуль пружності на поверхні основи, МПа;

E_a – модуль пружності пакету асфальтобетонних шарів, МПа;

D – діаметр штампа, рівновеликий відбитку колеса розрахункового автомобіля, см;

h_a – товщина пакету асфальтобетонних шарів, см.

Відносно втрату міцності конструкцією дорожнього одягу в момент часу t можна оцінити залежністю:

$$k = \frac{E_{об}^0 - E_{об}^t}{E_{об}^0 - E_{об}^T}. \quad (7)$$

Прийнявши значення h_a/D і $E_a/E_{осн}$, можна оцінити зміну міцності дорожнього одягу в процесі експлуатації. Як доводять дослідження [19], до кінця строку служби, модуль пружності дорожнього одягу ($E_{об}^T$) може знизитися на 58 %. Розглянуте рішення дозволяє оцінити вплив руйнувань за умови повної втрати розподільчої здатності монолітного шару. При цьому залишаються відкритими питання впливу одиночної тріщини, групи тріщин, розмірів блоків на розподільчу здатність дорожнього одягу. Зазначимо також, що модель не враховує зміну товщини пакета асфальтобетонних шарів у процесі експлуатації.

Беручи до уваги складнощі завдання оцінювання впливу тріщин, багатьма авторами зроблені спроби встановлення зв'язку між площею шару, що розтріскувався та його модулем пружності методами статистичної обробки результатів обстежень [17]:

$$IRC = 10,425 - 0,459 \cdot E_{сер}, \quad (8)$$

де IRC – візуальна оцінка інтенсивності розвитку тріщин, бали;

$E_{сер}$ – середнє значення загального модуля пружності дорожнього одягу, МПа.

Отримані експериментально коефіцієнти лінійної моделі застосовані для коригування моделі прогнозування стану покриття за даними візуального та інструментального обстеження конструкції. Крім моделей прогнозування стану покриття, що спираються на статистичну обробку візуально спостережуваних руйнувань, розроблені моделі, які спираються на імовірнісну природу руйнувань [20] і враховують кількість проходів стандартної осі, строк служби дорожнього одягу, відсоток площі розтріскування, а процес руйнування покриття описується нормальним законом розподілу.

Для врахування імовірнісного характеру зміни транспортно - експлуатаційних показників автомобільних доріг В.Н. Яромко запропоновано застосовувати безрозмірний коефіцієнт відповідності, як характеристику стану дорожнього одягу [20]:

$$K = \frac{K_{\phi}}{K_{em}}, \quad (9)$$

де K – коефіцієнт відповідності;

K_{ϕ} – фактичний рівень надійності конструкції дорожнього одягу;

K_{em} – еталонний рівень надійності конструкції дорожнього одягу.

Дослідженнями В.Н. Яромко [20] обґрунтовано, що процес деформування покриття підпорядкований нормальному закону розподілу.

У роботах зарубіжних авторів [21] 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 І.П. Гамеляком [22]. Модуль пружності матеріалу шарів конструкції дорожнього одягу, кількість прикладань розрахункового навантаження також можуть бути охарактеризовані коефіцієнтом варіації [21, 22]. Модулі пружності підкорюються логонормальному [23, 24] або нормальному законам розподілу [24, 25]. Аналогічно змінюється коефіцієнт Пуассона матеріалів шарів дорожнього одягу через неоднорідність температури за глибиною конструкції [26, 27]. У дослідженні Avijit Maji [28] 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.

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.

В.А. Семеновим [29, 30] 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 [30]: 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 дослідженнями [12], основними показниками, що характеризують стан дорожнього одягу є коефіцієнти варіації: загального еквівалентного модуля пружності конструкції дорожнього одягу ($C_{E_{заг}}$); 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 [12]:

$$C_{E, \tau, \sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\partial(E_{заг}, \tau, \sigma)}{\partial \Phi_i} \right)^2 \times \left(\frac{\bar{\Phi}_i}{\bar{E}_{заг}, \bar{\tau}, \bar{\sigma}} \right)^2 \right]} \times C_{\Phi_i}, \quad (10)$$

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_{Φ_i} – коефіцієнт варіації параметра.

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

Обмеженнями застосування імовірнісних моделей стосовно задач оцінювання стану нежорсткого дорожнього одягу є відсутність інформації про лінійну неоднорідність параметрів конструкції дорожнього одягу.

Висновки

За результатами проведеного в роботі аналізу можна зробити висновок, що при оцінюванні стану нежорсткого дорожнього одягу необхідно спиратися на інформацію про всю сукупність параметрів, що визначають здатність конструкції дорожнього одягу опиратися дії транспортного навантаження та погодно-кліматичних факторів, в тому числі про локалізацію тріщин у монолітних шарах покриття та шарах основи, а також їх геометричні параметри. Слід зазначити, що це завдання буде важко розв'язати без застосування сучасних методів діагностики конструкції дорожнього одягу, що здатні вирішити задачі пошуку, позиціонування та ідентифікації прихованих тріщин, визначення неоднорідності геометричних параметрів шарів конструкції нежорсткого дорожнього одягу.

Література

1. Корсунский М.Б. Межремонтные сроки службы дорожных одежд и покрытий. [Текст] / МБ. Корсунский // Автомобильные дороги. - 1984. - № 1. - С. 4-6.
2. Яковлев Ю.М. Оценка прочности нежестких дорожных одежд с учетом их фактического состояния. [Текст] / Ю.М. Яковлев // Проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог в начале 21 века: сб. науч. трудов МАДИ. М.: МАДИ, 2000. - С. 97-103.
3. Стрижевский А.М. К вопросу об оценке прочности нежестких дорожных одежд на основе данных о состоянии дорожного покрытия. [Текст] / А.М.

Стрижевський // Труды ГП РосдорНИИ: сб. научных статей. М.: ГП РосдорНИИ, 2003. - Вып. 11. - С. 42–54.

4. ВСН 46-72. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. [Текст] / Министерство транспортного строительства СССР. М.: Транспорт, 1973. - 83 с.

5. ДБН.В.2.3-4:2015. Державні будівельні норми України. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Київ: Мінрегіон України, 2015. 112 с.

6. Westergaard H.M. (1937) Bearing Pressure and Cracks. *Journal of Applied Mechanics*, 6, 49–53.

7. Westergaard H. M. (1926) Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis. *Public Roads*, 7, 2, 25 – 35.

8. Westergaard H. M. (1948) New Formulas for Stresses in Concrete Pavements in Airfields. *American Society of Civil Engineers. Transactions*, 113, 425–439.

9. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов [Текст] : Учебное пособие. С.П. Тимошенко. Москва: Наука, 1965. - 121 с.

10. Westergaard H.M. (1965) Stress concentration in plates loaded over small areas. *Transactions. A.S.C.E*, 108, 831–887.

11. Радовский Б.С. Прогнозирование закономерностей изменения состояния дорожной одежды. [Текст] / Радовский Б.С. Сердюк А.В. // Автомобильные дороги, 1994. - № 7. - С. 19–22.

12. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.11. Київ, 2005. 438 с.

13. Радовский Б.С. Прочность и расчет бетонных покрытий в США. [Текст] / Б.С. Радовский // Бетон и железобетон, 2011. - №2. - С. 118–131.

14. Зиновеев И.В. Способ определения напряженно-деформированного состояния многослойных оснований с дефектами. [Текст] / Зиновеев И.В., Приварников А.К. // Теоретическая и прикладная механика, 2008. - Вып. 44. - С. 16–28.

15. Радовский Б.С. Опыт использования старого цементобетона как основания под асфальтобетонное покрытие в США. [Текст] / Б.С. Радовский // Дорожная техника. Инновации в дорожном строительстве. Санкт-Петербург, 2010. - №1. - С.20–32.

16. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. [Текст] / М.: Транспорт, 1985. - 43с.

17. Гамеляк І.П. Вплив руйнувань на зміну міцності конструкцій дорожнього одягу. [Текст] / І.П. Гамеляк // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2001. - № 62. - С. 157–165.

18. Казарновский В.Д. К вопросу о методике расчета усиления дорожных одежд. [Текст] / Казарновский В.Д., Лейтланд И.В., Попов М.Л. // Наука и техника в дорожной отрасли. М.: Дороги, 2004. - №1 (28). - С.33–34.

19. Батракова А.Г. Оценка состояния дорожных одежд в задачах превентивного обслуживания. [Текст] / Батракова А.Г., Урдзик С.Н., Галащук И.Б. // Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м.Харків, 12 – 13 листоп. 2013 р. Харьков, 2013. ХНАДУ. - С. 8–12.

20. Бусел А.В. Ремонт автомобильных дорог [Текст] : учебное пособие. / А.В. Бусел. - Минск: Арт-Дизайн, 2004. - 208 с.

21. 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.

22. Гамеляк І.П. Системна модель забезпечення надійності конструкцій дорожніх одягів. [Текст] / І.П. Гамеляк // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2017. - Вип. 100. - С. 216–227.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. Huang Y.H. (2004) Pavement analysis and design. Second edition. Pearson Prentice Hall Inc, Upper Saddle River, 785.

27. Brown SF, Pell PS. (1972) A fundamental structural design procedure for flexible pavements. In: *Proceedings of the 3rd international conference of structural design of asphalt pavements. London*, 1, 369–381.

28. Maji A, Das A. (2008) Reliability considerations of bituminous pavement design by mechanistic-empirical approach. *Int J Pavement Eng*, 9 (1), 9–31.

29. Семенов В.А. Опыт применения статистических методов контроля качества в строительстве и ремонте автомобильных дорог. [Текст] / Семенов В.А., Мекуришвили Д.Г. - М.: Транспорт, 1988. - 47 с.

30. Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. [Текст] / В.А. Семенов. - М.: Транспорт, 1989. - 125 с.

References

1. Korsunsky M.B. (1984) Service life of road pavements and pavements. *Highways*, 1, 4–6.
2. Yakovlev Yu.M. (2000) Evaluation of the strength of non-rigid road pavements, taking into account their actual condition. *Problems of construction and operation of highways at the beginning of the 21st century: collection of articles. scientific works of MADI*. M.: MADI, 97–103.
3. Strizhevsky A.M. (2003) To the question of assessing the strength of non-rigid road pavements based on data on the condition of the road surface. *Proceedings of the State Enterprise RosdorNI: collection of works. scientific articles*, 11, 42–54.
4. VSN 46-72. Instructions for the design of non-rigid pavements. USSR (1973) *Ministry of Transport Construction*. Moscow: Transport, 83.
5. ДБН.В.2.3-4: 2015. State Budgetary Norms of Ukraine. Automobile roads. Part I. Projecting. Part II. Budivnistvo. (2015) *Kiev: Ministry of Regional Development*, 112.
6. Westergaard H.M. (1937) Bearing Pressure and Cracks. *Journal of Applied Mechanics*, 6, 49–53.
7. Westergaard H. M. (1926) Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis. *Public Roads*, 7, 2, 25 – 35.
8. Westergaard H. M. (1948) New Formulas for Stresses in Concrete Pavements in Airfields. *American Society of Civil Engineers. Transactions*, 113, 425–439.
9. Timoshenko S. P. (1965) *Resistance of materials: textbook*. Moscow: Nauka, 112.
10. Westergaard H.M. (1965) Stress concentration in plates loaded over small areas. *Transactions. A.S.C.E*, 108, 831–887.
11. Radovsky B.S. Serdyuk A.V. (1994) Forecasting the regularities of changes in the state of the road surface. *Highways*, 7, 19–22.
12. Gamelyak I.P. (2005) Fundamentals of safeguarding the construction of road clothes: dis. ... Dr. Tech. Sciences: 05.22.11. Kiev, 438.
13. Radovsky B.S. (2011) Strength and design of concrete pavements in the USA. *Concrete and reinforced concrete*, 2, 118-131.
14. Zinoveev I.V., Privarnikov A.K. (2008) A method for determining the stress-strain state of multilayer bases with defects. *Theoretical and Applied Mechanics*, 44, 16–28.

15. Radovsky B.S. (2010) Experience of using old cement concrete as a base for asphalt concrete pavement in the USA. Road equipment. *Innovation in road construction. St. Petersburg, 1*, 20–32.
16. VSN 46-83. Instructions for the design of non-rigid pavements. (1985) Moscow: Transport, 43.
17. Gamelyak I.P. (2001) Injected Ruynuvan into the change of construction of road construction. *Automobile roads and road construction*, 62, 157–165.
18. Kazarnovsky V.D., Leitland I.V., Popov M.L. (2004) On the question of the methodology for calculating the reinforcement of road pavements. *Science and technology in the road industry. M.: Dorogi, 1* (28), 33–34.
19. Batrakova A.G., Urdzik S.N., Galashuk I.B. (2013) Assessment of the condition of pavements in the tasks of preventive maintenance. Modern technologies of building and exploitation of automobile roads: materials of the international. sciences. - tech. conf., M. Kharkiv, 12 - 13 leaf. 2013 p. Kharkov, HNADU, 8-12.
20. Busel A.V. (2004) Repair of highways: a tutorial. Minsk: Art-Design, 208.
21. 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.
22. Gamelyak I.P. A systematic model for securing the reliability of road constructions. *Automobile roads and road construction*, 2017. Vip. 100, pp. 216–227.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Huang Y.H. (2004) Pavement analysis and design. Second edition. Pearson Prentice Hall Inc, Upper Saddle River, 785.
27. Brown SF, Pell PS. (1972) A fundamental structural design procedure for flexible pavements. *In: Proceedings of the 3rd international conference of structural design of asphalt pavements. London, 1*, 369–381.
28. Maji A, Das A. (2008) Reliability considerations of bituminous pavement design by mechanistic-empirical approach. *Int J Pavement Eng*, 9 (1), 9–31.
29. Semenov V.A., Mekurishvili D.G. (1988) Experience in the use of statistical methods of quality control in the construction and repair of highways. Moscow: Transport, 47.
30. Semenov V.A. (1989) Quality and uniformity of highways. Moscow: Transport, 125.

Рецензент: д-р техн. наук проф. 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: <http://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: <http://orcid.org/0000-0001-6914-1221>

ANALYSIS OF THE METHODS OF ASSESSING THE INFLUENCE OF CRACKS ON THE STRENGTH INDICATORS OF NON-RIGID PAVEMENT

A. Batrakova, S. Urdzik

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

The analysis of methods that allow to take into account the influence of the crack on the stress - strain state of the pavement structure is carried out. The existing theoretical and empirical methods are considered. The first theoretical methods took into account the lack of contact between two elastic bodies, which occurred under the action of load. Based on these methods, more advanced models were developed, which aimed to solve the problem of determining the deflection of infinite and semi-infinite beams and slabs, without any shear between them. mathematical dependences for estimating the influence of a through crack on the condition of pavement and the influence of a through crack on the deflection of a slab based on an elastic base is considered. Empirical models provide for the possibility of taking into account the impact of fractures on the condition of pavement due to the reduction of the thickness of the cracked layer and due to the reduction of the modulus of elasticity of the pavement layer containing the crack. The method of estimating the change in the modulus of elasticity of non-rigid pavement due to the accumulation of fractures is analyzed, which assumes that during operation the layers of the coating lose their resolution. The proposed models leave open the impact of a single crack, a group of cracks, the size of the blocks on the distribution of pavement, as well as the thickness of the package of asphalt layers during the operation of the pavement structure.

According to the results of the analysis of models for assessing the condition of non-rigid pavement with destruction, it was determined that despite the significant amount of experimental data, the vast majority of models were obtained for specific road and climatic conditions and pavement designs and reflect the characteristics of the survey region. A significant number of scientists note that the use of methods of probabilistic analysis is a necessary condition for a comprehensive assessment of the condition of pavement. Therefore, the paper analyzes the methods of design and assessment of the condition of the pavement structure, taking into account the probabilistic methods of reliability analysis.

Keywords: non - rigid pavement, crack, deflection, reliability, stress - strain state, theoretical and empirical methods, probabilistic analysis.