

УДК 625.85: «401»

## КРИТЕРІЙ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

**В.О. Богомолов, проф., д.т.н., В.К. Жданюк, проф., д.т.н.,  
І.Л. Разніцин, доц., к.ф.-м.н., С.В. Богомолов, інж., А.О. Цинка, асп.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

*Анотація.* Запропоновано критерій для прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів, що базується на принципі підсумовування часів Дж. Бейлі.

*Ключові слова:* дорожній одяг, допустимі напруження, довговічність, критерій Дж. Бейлі, критерій А. Пальмгрена.

## КРИТЕРИЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

**В.А. Богомолов, проф., д.т.н., В.К. Жданюк, проф., д.т.н.,  
И.Л. Разницын, доц., к.ф.-м.н., С.В. Богомолов, инж., А.А. Цинка, асп.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

*Аннотация.* Предложен критерий для прогнозирования долговечности асфальтобетонных слоёв нежестких дорожных одежд, базирующийся на принципе суммирования времен Дж. Бэйли.

*Ключевые слова:* дорожные одежды, допускаемые напряжения, долговечность, критерий Дж. Бэйли, критерий А. Пальмгрена.

## LONGEVITY CRITERION OF ROAD PAVEMENT ASPHALT-CONCRETE LAYERS

**V. Bogomolov, Prof., D. Sc. (Eng.), V. Zhdaniuk, Prof., D. Sc. (Eng.),  
I. Raznitsyn, Assoc. Prof., Ph. D. (Phys.-Math.), S. Bogomolov, Eng., A. Tsinka, P. G.,  
Kharkiv National Automobile and Highway University**

*Abstract.* A criterion for forecasting the longevity of flexible pavement asphalt-concrete layers that is based on the principle of Bailey time summation is offered.

*Key words:* road pavement, allowable stress, longevity, Bailey criterion, Palmgren criterion.

### Вступ

Існуюча методика розрахунку конструкцій нежорстких дорожніх одягів за критерієм опору монолітних шарів руйнуванню від напружень, що виникають при прогині одягу під дією короточасних механічних навантажень [1, 2], передбачає використання значення границі міцності на розтяг при згині асфальтобетону, при одноразовому прикладанні навантаження  $R_{\text{лаб}}$ . Ця величина визнача-

ється в лабораторних умовах та, згідно з [1], для різних типів асфальтобетонів знаходиться в межах  $R_{\text{лаб}} = (5,5-14,0)$  МПа. Безпосередньо у розрахунках цей параметр, через систему нормованих коефіцієнтів, приводиться до розрахункової міцності асфальтобетону на розтяг при згині  $R_p$  та прирівнюється до допустимого розтягуючого напруження при згині  $R_{\text{доп}}$ . Так, наприклад, при розрахунках конструкцій дорожнього одягу згідно з [1] у Прикладі 2 Л13 для високопористого асфальто-

бетону на бітумі БНД 60/90 при  $R_{\text{лаб}} = 5,8$  МПа отримано  $R_p = 0,74$  МПа; у Прикладі 3 Л19 для цього ж асфальтобетону  $R_p = 0,813$  МПа. Очевидно, що такий підхід при розрахунках має ряд недоліків.

### Аналіз публікацій

Якщо взяти, що тиск пневматичних шин автомобілів на асфальтобетонні шари покриття дорожнього одягу в першому наближенні відповідає рівнянню Хедекеля [4] і дорівнює тиску в шинах, то це механічне навантаження становить  $p = (0,2-0,9)$  МПа [2, 5]. З урахуванням режиму гальмування транспортних засобів [3], у верхніх асфальтобетонних шарах нежорстких дорожніх одягів напруження можуть досягати  $(1,0-1,1)$  МПа [6]. Як бачимо, реальні навантажувальні режими значно менше задекларованих у [1] величин  $R_{\text{лаб}}$ . Враховуючи, що асфальтобетон – це матеріал, властивості якого істотно залежать від навантажувального режиму [7–9], а саме швидкості деформування [10] та інших параметрів, перевищення в 5–10 разів рівня навантаження під час лабораторних випробувань, порівняно з реальними, може приводити до того, що при визначенні  $R_p$  необхідно вводити поправкові коефіцієнти, які не завжди несуть «прозорю» сенсове навантаження.

Дослідження, проведені в ХНАДУ [11], показали, що дрібнозернисті асфальтобетони при одноосьовому розтягу за температури  $20^\circ\text{C}$  та навантаження  $0,4$  МПа вже через 50–70 с втрачають свою працездатність (руйнуються). При цьому значення границі міцності при одноосьовому розтягу, за швидкості прикладання навантаження  $3$  мм/хв, для вказаних асфальтобетонів перевищує  $1,1$  МПа.

### Мета і постановка завдання

Зазначені протиріччя в оцінюванні міцності асфальтобетону можуть бути усунені, якщо відмовитися від методики оцінювання критичного стану матеріалу за допустимим напруженням і перейти до поняття довговічності матеріалу [12–14]. Особливо актуальним такий підхід може виявитися в наш час, з розвитком концепції «вічні дорожні одяги» [15].

Ґрунтуючись на викладеному, метою роботи є обґрунтування критерію для прогнозування

довговічності асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів.

### Критерій Дж. Бейлі

Для розробки критерію довговічності асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів як основу можна взяти широко відомий критерій Пальмгрена–Майнера [16] або більш загальний принцип підсумовування часу, запропонований Дж. Бейлі [16]

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{\tau(\sigma(t); T(t))} = 1, \quad (1)$$

де  $t_p$  – час від моменту початку навантаження до повного руйнування;  $\tau(\sigma; T)$  – функція довговічності, часова характеристика довговічності за сталих: напруження (навантаження) та температури;  $\sigma(t)$ ,  $T(t)$  – змінні в часі: напруження (навантаження) і температура матеріалу конструкції.

Якщо довговічність матеріалу залежить не тільки від температури та напружень, а наприклад, від його вологості (як і у випадку асфальтобетонних шарів), то в більш загальному випадку умову збереження міцності можна записати так

$$\int_0^{t_n} \frac{dt}{\tau(\sigma(t), W(t), T(t))} \leq n, \quad (2)$$

де  $t_n$  – загальний час навантаження до руйнування дорожнього одягу;  $W(t)$  – вологість асфальтобетону, яка змінюється у часі;  $n$  – експериментальний коефіцієнт, його очікуване значення [16]

$$n = 0,5 \dots 2. \quad (3)$$

У загальному випадку, якщо довговічність залежить від  $m$  показників, то критерій (2) можна записати як

$$\int_0^{t_n} \frac{dt}{\tau(q_1(t), q_2(t), \dots, q_m(t))} \leq n, \quad (4)$$

де  $q_1, \dots, q_m$  –  $m$  показників, від яких залежить довговічність матеріалу конструкції.

### Модель двостадійного руйнування

Критерій (4) в першу чергу є справедливим у випадку рівномірної об'ємної пошкоджуваності матеріалу [16]. Проте загально визнано, що руйнування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу – це процес багатofакторний і багатостадійний. Довговічність у цьому випадку можна подати як суму  $t_{оп} + t_{лп}$  [16]:  $t_{оп}$  – час об'ємної пошкоджуваності, характерної, наприклад, для об'ємних температурних напружень;  $t_{лп}$  – час локалізованої пошкоджуваності, характерної для навантажувальних режимів від коліс транспортних засобів.

Тоді умову міцності для асфальтобетонних шарів дорожнього одягу можна запропонувати у вигляді

$$\int_0^{t_{оп}} \frac{dt}{\tau_{оп}(q_1(t), q_2(t), \dots, q_m(t))} + \int_0^{t_{лп}} \frac{dt}{\tau_{лп}(q_1(t), q_2(t), \dots, q_m(t))} \leq n, \quad (5)$$

де  $\tau_{оп}$ ,  $\tau_{лп}$  – функції довговічності дорожнього одягу, відповідно від температурних напружень і навантаження колесами транспортних засобів.

При цьому залишаються невизначеними режими та схеми прикладання навантаження у процесі експериментального лабораторного визначення обох цих функцій для асфальтобетонів.

Численними дослідженнями поведінки асфальтобетонів у широкому діапазоні змінних температур, наприклад [17, 18], встановлено превалювання напружень розтягу-стиску. Тому для знаходження функції  $\tau_{оп}$  можуть бути використані методики, розроблені в роботах [18–21]. Тобто пошук функції  $\tau_{оп}$  можна здійснювати випробуваннями асфальтобетонів на так званій «чистий» стиск-розтяг циліндричних або призматичних зразків.

### Спосіб навантаження при імітації локалізованої пошкоджуваності

Як показують дослідження [22–24] напружено-деформованого стану (НДС) асфальтобетонних шарів дорожніх одягів в області плями контакту з шиною автомобіля, НДС но-

сить об'ємний характер, якому властиві повні тензори і деформацій, і напружень.

Тому необхідно брати схему прикладання навантаження до асфальтобетонних зразків у лабораторних умовах, які б найбільш близько відображали реальну роботу асфальтобетонних шарів у дорожньому одязі під впливом коліс автотранспортного засобу (АТЗ).

Під час руху коліс АТЗ по поверхні верхнього асфальтобетонного шару дорожнього одягу НДС кожної точки фіксованого об'єму можна взяти в координатах головних напружень  $\sigma_1$ – $\sigma_2$ – $\sigma_3$ . Таким чином всі розрахункові точки цього об'єму в зазначених координатах займають область  $V_1$ .

У цих же координатах можна викласти і всі розрахункові точки об'єму зразка асфальтобетону під час його випробувань у лабораторних умовах і отримати у взятих координатах область  $V_2$ , заповнену цими точками.

Ступінь перекриття цих двох областей ( $V_1$  та  $V_2$ ) можна взяти як критерій відповідності лабораторної схеми прикладання навантаження схемі навантаження асфальтобетонного шару дорожнього одягу колесами автотранспортного засобу. У ХНАДУ було проведено перевірку ступеня перекриття областей  $V_1$  та  $V_2$  для цілого ряду відомих схем навантаження асфальтобетонних зразків у лабораторних умовах:

- одноосьовий розтяг-стиск [18–21], [26];
- одноосьовий розтяг з підсиленням небезпечного місця розтягу [11, 19, 20, 26];
- розтяг циліндричного зразка із закладними деталями [27];
- розтяг зразка-гантелі [17];
- розтяг посиленого зразка-гантелі [26];
- згин двохопорної балки [1, 25, 28];
- розкол циліндричного зразка [28];
- випробування на кручення [7, 13, 27];
- стиск за схемою Маршалла [28];
- продавлювання зразка через отвір [29];
- стиск зі зсувом [26].

За результатами досліджень, отриманими в [19, 26, 30], встановлено, що роботу асфальтобетонних шарів у дорожньому одязі під впливом коліс автотранспортного засобу найбільш близько відображає лабораторна схема прикладання навантаження до зразка асфальтобетону із двома перерізами зсуву, подана на рис. 1.

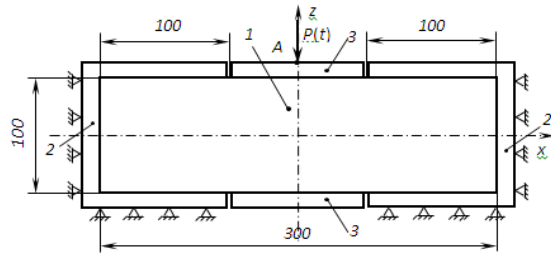


Рис. 1. Схема прикладання навантаження до зразка асфальтобетону при зсуві: 1 – зразок асфальтобетону; 2 – нерухомі обойми; 3 – рухома обойма

На рис. 2–5 подано результати визначення взаємного розташування точок НДС щільного асфальтобетону типу А на бітумі БНД 60/90, випробуваного за схемою навантаження, наведеною на рис. 1, і точок НДС асфальтобетонного шару покриття дорожнього одягу, що виникає під впливом коліс автотранспортного засобу.

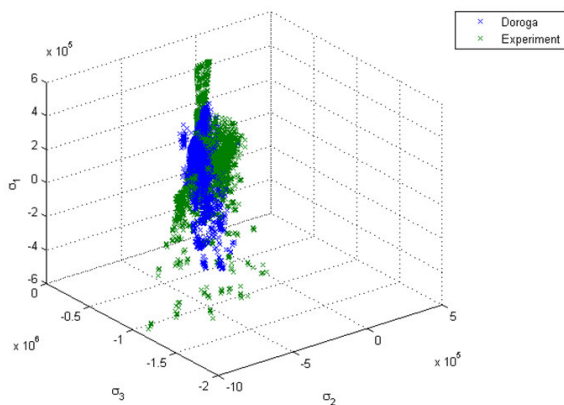


Рис. 2. Точки НДС у координатах  $\sigma_1$ – $\sigma_2$ – $\sigma_3$

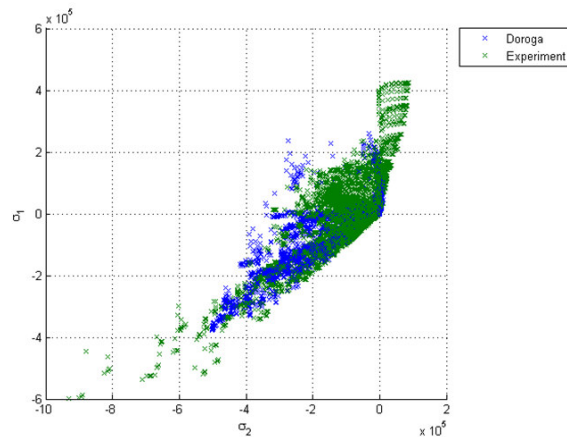


Рис. 3. Точки НДС у координатах  $\sigma_1$ – $\sigma_2$

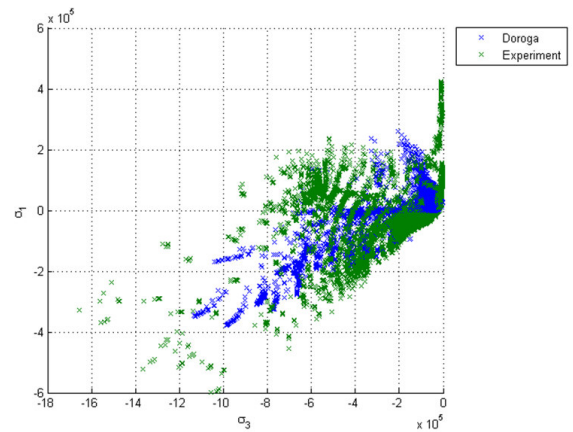


Рис. 4. Точки НДС у координатах  $\sigma_1$ – $\sigma_3$

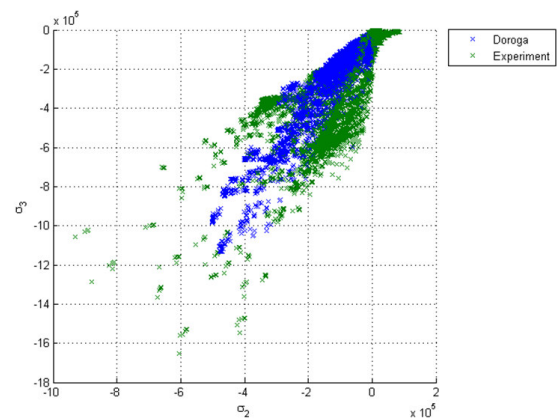


Рис. 5. Точки НДС у координатах  $\sigma_2$ – $\sigma_3$

Аналіз результатів дослідження за схемою прикладання навантаження до зразка асфальтобетону із двома перерізами зсуву вказує на перекриття точок НДС об'ємів  $V_1$  та  $V_2$  на 80–90 %.

### Висновки

Існуюча методика оцінки граничного НДС асфальтобетонних шарів дорожніх одягів не повною мірою відображає їх реальну роботу в експлуатаційних умовах. Це пов'язано насамперед із тим, що в лабораторних умовах допустимі напруження для асфальтобетонів отримують при навантаженнях, що не відповідають реальним умовам, і вони значно перевищують останні.

Запропонована лабораторна схема навантаження асфальтобетонного зразка із двома перерізами зсуву адекватно відображає НДС асфальтобетонних покриттів нежорстких дорожніх одягів у зоні плями контакту з шиною автомобіля.

Запропоновано критерій для прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів дорожнього одягу, побудований на відомому принципі Дж. Бейлі.

Запропонований критерій може враховувати будь-яку кількість факторів, від яких залежить довговічність асфальтобетонів, наприклад, внутрішні напруження, температуру, вологість тощо.

Критерій довговічності асфальтобетонних шарів дорожнього одягу можна визначити за двома режимами навантаження асфальтобетонних зразків:

– розтягу-стиску;

– зсуву зразка у двох площинах.

### Література

1. Споруди транспорту: Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2004. – 176 с.
2. Конструирование и расчёт нежестких дорожных одежд; под ред. Н.Н. Иванова. – М.: Транспорт, 1973. – 328 с.
3. Богомолов В.А. Нагрузочные режимы дорожной одежды нежесткого типа / В.А. Богомолов, В.К. Жданюк, С.В. Богомолов // Дороги і мости. – 2011. – Вип. 13. – С. 29–38.
4. Букин Б.Л. Введение в механику пневматических шин / Б.Л. Букин. – М.: Химия, 1988. – 224 с.
5. Краткий автомобильный справочник / Понцовкин А.Н., Власко Ю.М., Ляликов М.Б. и др. – М.: АО «Трансконсалтинг», НИИАТ, 1994. – 780 с.
6. Розробити тривимірну реологічну (фізичну та математичну) модель роботи монолітних матеріалів в конструкціях дорожніх одягів нежорсткого типу: заключний звіт про науково-дослідну роботу за темою №27/35-41-11/ХНАДУ; керівник теми В.К. Жданюк; № держреєстрації 011U003850. – Харків, 2014. – 261 с.
7. Золотарёв В.А. Исследование свойств асфальтобетонов различной макроструктуры: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Золотарёв Виктор Александрович. – Харьков, 1967. – 207 с.
8. Золотарёв В.А. Особенности формирования реологических свойств асфальтобетонов / В.А. Золотарёв // Автошляховик України. – 2003. – № 4 (174). – С. 26–28.
9. Золотарёв В.А. Реологические свойства асфальтополимербетонов / В.А. Золотарёв, В.В. Маляр, А.С. Лапченко // Автошляховик України. – 2007. – № 6 (200). – С. 27–31.
10. Гамеляк І.П. Дослідження зміни міцності та деформативності асфальтобетону в залежності від температури та швидкості деформування / І.П. Гамеляк, Я.М. Якіменко // Автошляховик України. – 2009. – №6. – С. 24–28.
11. Розробити та виготовити дослідний зразок лабораторного устаткування та програмне забезпечення для визначення і оцінки в'язко-пружних характеристик асфальтобетонів при розтягу: заключний звіт про науково-дослідну роботу за темою №109/35-83-12 /ХНАДУ/: Керівник теми В.К. Жданюк; № держреєстрації 0112U004737. – Харків, 2013. – 63 с.
12. Золотарёв В.А. Время как критерий оценки долговечности асфальтовых материалов / В.А. Золотарёв // Дорожно-строительные материалы. – 2013. – №1. С. 10–13. – №2. – С. 14–17.
13. Золотарёв В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В.А. Золотарёв. – Х.: Вища школа, 1977. – С. 107–112.
14. Толмачёв О.В. Использование кривых Велера для прогнозирования трещиностойкости и долговечности армированного асфальтобетона / О.В. Толмачёв, Н.С. Ковалёв // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. – 2007. – Вып. 7 (26). – С. 148–154.
15. Newcomb D.E., Willis R., Timm D.H. Perpetual Asphalt Pavements: A Synthesis. Asphalt Pavement Alliance (APA). 2010. USA, Lanham, Maryland. – 45 p.
16. Потапова Л.Б. Механика материалов при сложном напряжённом состоянии. Как прогнозируют предельные напряжения? / Л.Б. Потапова, В.П. Ярцев. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 244 с.
17. Сюньи Г.К. Исследование трещинообразования в асфальтобетонных покрытиях под влиянием температурных напряжений: дисс. ... канд. техн. наук / Сюньи Георгий Камилович. – Харьков, 1940. – 128 с.
18. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.11 / Владимир Васильевич Мозговой. – К., 1996. – 344 с.

19. Методика визначення показників границі міцності асфальтобетонів при розтягу та зсуві М 02071168-731:2014 / Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор). – Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2014. – 16 с.
20. Методичні вказівки лабораторного визначення розрахункових в'язко-пружних характеристик асфальтобетонів при розтягу МВ 02071168-727:2013 / Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор). – Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2013. – 23 с.
21. Методичні вказівки лабораторного визначення розрахункових в'язко-пружних характеристик асфальтобетонів при стиску МВ 02071168-726:2013 / Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор). – Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2013. – 24 с.
22. Марчук О.В. Про необхідність урахування просторового характеру напруженого стану при розрахунку жорстких автодорожніх та аеродромних покриттів / О.В. Марчук, Є.О. Булах, С.В. Гнідаш // Автошляховик України. – 2010. – №3 (215). – С. 38–39.
23. Провести аналіз методик конструювання та розрахунку дорожніх одягів в країнах Європи та надати пропозиції щодо методики, яку необхідно застосовувати при конструюванні та розрахунку дорожнього одягу в Україні: заключний звіт про науково-дослідну роботу за темою №17/35-03-10 /ХНАДУ; керівник теми В.К. Жданюк; № держреєстр. 0110U000889. – Харків, 2010. – 165 с.
24. Богомолов В.А. Нагрузочные режимы дорожной одежды нежесткого типа / В.А. Богомолов, В.К. Жданюк, С.В. Богомолов // Дороги і мости. – 2011. – Вип. 13. – С. 29–38.
25. Методика лабораторного визначення та встановлення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунтів М218-02070915-645:2008 / Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор). – К.: Національний транспортний університет, 2008. – 61 с.
26. Провести дослідження асфальтобетонів різних типів і видів та розробити методику визначення показників границі міцності при розтягу та зсуві: заключний звіт про науково-дослідну роботу за темою № 3/35-04-13 / ХНАДУ; керівник теми В.К. Жданюк; № держреєстрації 0113U004111. – Харків; 2014. – 190 с.
27. Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість: М 218-02071168-681:2011. – Харків: 2011. – 61 с.
28. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього та аеродромного будівництва: Метод випробувань: ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801-98). – Вип. офіц. – К.: Держ. комітет будівн. архіт-ри та житлової політ. України, 2000. – 44 с.
29. Методические рекомендации по оценке сдвигоустойчивости асфальтобетона / Мин. тран-та Рос. Фед-ции. – М.: Гос. служба дор. хоз-ва, 2002. – 11 с. (инструкция Росавтодора).
30. Методичні вказівки лабораторного визначення розрахункових в'язко-пружних характеристик асфальтобетонів при зсуві МВ 02071168-728: 2013 / Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор). – Х.: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2013. – 25 с.

Рецензент: В.П. Кожушко, професор, д.т.н., ХНАДУ.