

УДК 691.168

Головченко В. С., <https://orcid.org/0000-0001-5078-8682>Копинець І. В., <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>Малій Т. С., <https://orcid.org/0000-0002-2008-8164>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВТОМИ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ**

### **Анотація**

**Вступ.** Найважливішим критерієм оцінки якості асфальтобетону, а саме, його здатність чинити опір руйнівній дії транспортних засобів, є втомна міцність. У якості такого критерію використовують кількість циклів, яку витримує асфальтобетон під час згинання з постійними амплітудами навантаження або деформації до відмови.

**Проблематика.** У сучасних умовах збільшення інтенсивності транспортного руху для отримання достовірних результатів оцінювання втомної довговічності асфальтобетонних покриттів необхідно переходити на нові методи випробування асфальтобетону під час багаторазового впливу навантаження від транспортних засобів. До недавнього часу існуюча нормативна база дозволяла провести випробування асфальтобетонів лише на одноразову дію статичних навантажень, що не давало можливості здійснити оцінювання їхньої стійкості до діючих впродовж тривалого часу багаторазових циклічних навантажень. За відсутності обґрунтованих і задокументованих методів випробування неможливо було визначити закономірності втомного руйнування, яке часто встановлюють під час візуального обстеження автомобільних доріг України. З набранням чинності ДСТУ EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT) «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 24. Опір втомі» стало можливим виконати таке оцінювання й отримати достовірну інформацію про експлуатаційні режими навантаження асфальтобетону в дорожньому покритті, результатом яких є встановлення закономірності зміни втомної довговічності матеріалу залежно від характеристик навантажувального та температурного впливів. Таким чином, це дасть змогу виконувати підбір складу асфальтобетонної суміші з урахуванням прогнозованої кількості циклів навантаження, тим самим визначити шляхи підвищення втомної довговічності асфальтобетонних покриттів та забезпечення їхньої надійної роботи в дорожніх конструкціях впродовж розрахункового строку служби.

**Мета.** Експериментальне дослідження втомної довговічності асфальтобетонів, результатом якого є встановлення закономірності зміни втомної довговічності матеріалу залежно від характеристик навантажувального та температурного впливів і розроблення шляхів її підвищення на підставі отриманих результатів.

**Матеріали і методи.** Для експериментального дослідження виготовлено зразки-балочки з гарячих асфальтобетонних сумішей різних типів і випробувано на чотириточкове згинання.

**Результати.** Проведено аналіз інформаційних джерел щодо існуючого досвіду проведення випробування за багаторазового циклічного навантаження. Розроблено прилад для визначення опору втомі асфальтобетону на чотириточкове згинання. Випробувано зразки-балочки з різних типів асфальтобетону та встановлено закономірність зміни втомної довговічності.

**Висновки.** Експериментально підтверджено вплив частоти навантаження на процеси руйнування. Отримані результати надають можливість встановити прогнозований строк служби та оцінити залишковий ресурс дорожньої конструкції.

**Ключові слова:** асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, втомна довговічність, дорожнє будівництво, опір втомі, циклічне навантаження, чотириточкове згинання.

### Вступ

Під втомою розуміють процес постійного накопичення залишкових деформацій у матеріалі під впливом змінних навантажень, яке призводить до зміни його властивостей, утворення та розвитку деформацій дорожнього одягу до його руйнування. Втомою довговічністю називають здатність матеріалу чинити опір механічним навантаженням, що багаторазово прикладаються.

Принцип випробування з визначення втоми полягає у процесах, що виникають під час дії навантаження від колес автомобільного транспорту, що в свою чергу призводить до вигину покриття. [1]. Навантаження від одного колеса незначне, але його багаторазове повторення прикладання призводить до появи тріщин, які розповсюджуються від низу до верху дорожнього покриття. Швидкість розповсюдження прямо пропорційна величині деформації в нижній частині [2].

Використовуючи традиційні методи для аналізу втоми, ґрунтуючись на взаємозв'язку між початковими значеннями деформації та числом циклів до руйнування, а також на зниженні початкової міцності суміші на 50 %, можна отримати дві різні оцінки ресурсу втоми відповідно до режимів навантаження, а саме: контрольованого напруження та контрольованої деформації [3, 4].

Режим контрольованого напруження використовують переважно для оцінювання опору втомі жорстких матеріалів і покриттів значної товщини, у той час як режим контрольованої деформації використовують для дослідження звичайних асфальтобетонних сумішей і нежорстких одягів [5]. Однак, тільки повноцінний аналіз може забезпечити отримання достовірних даних щодо втомної довговічності. Тому для визначення закономірностей втоми асфальтобетонів необхідно брати до уваги вплив одразу двох режимів [6, 7]. На теперішній час до таких методів випробування можна віднести: непряме, одновісне, одно-, дво-, три- та чотириточкове згинання [8].

Під час дослідження [9, 10] дійшли до висновків, що на втомну довговічність значною мірою впливає сам метод випробування. Найменше значення втомної довговічності було отримано під час методу на непряме розтягування, що, скоріш за все, було впливом накопичення постійної деформації. Результати циклічних випробувань можуть залежати: від виду впливу (синусоїдального, циклічного у вигляді прямокутника або трикутника); від рівня навантаження щодо нульового значення напруження в зразку; у разі синусоїдального завантаження — від його частоти. Високі частоти навантаження можуть супроводжуватися зростанням температури випробування, як наслідок — зниженням жорсткості асфальтобетону [11].

За методом на чотириточкове згинання підвищення точності та достовірності результатів випробувань асфальтобетонів досягається урахуванням впливу різних факторів (положення зразка-балочки, величини навантаження, часу дії та частоти прикладання навантаження, температури випробування), а руйнування зразка відбувається в області рівномірного згинального моменту [12].

### Основна частина

#### **Метод випробування зразків на чотириточкове згинання**

До асфальтобетонних зразків призматичної форми (зразків-балочок) застосовують чотириточкове згинання до досягнення втоми за допомогою випробувального приладу, в якому внутрішні та зовнішні затискачі розташовано симетрично. Згинання досягають діючим вертикально та під прямим кутом до поздовжньої осі зразка-балочки навантаженням обох внутрішніх точок (внутрішні затискачі). Вертикальне положення кінцевих опор (зовнішні затискачі) має фіксуватися.

На всіх опорах має бути забезпечено вільне обертання та поступальний рух зразків по горизонталі. Дане розміщення навантаження створює постійний момент і, отже, постійне напруження між обома внутрішніми затискачами (рис. 1) [8]. Відповідно до існуючих уявлень про деформацію асфальтобетону в покритті під час лабораторних випробувань обрано синусоїдальний тип навантаження зразка (рис. 2). Цикл включає в себе період навантаження з позитивним знаком, розвантаження, потім навантаження з негативним знаком і розвантаження. Цей метод дозволяє здійснювати контроль частоти та форму коливань, що сприяє спрощенню урахування похибок, обумовлених інерційними силами [13]. Під час випробування необхідно заміряти потрібне для згинання зразка навантаження, прогин і фазове уповільнення між цими двома сигналами як функцію часу. На підставі даних вимірювання визначають втомні властивості випробувального матеріалу.

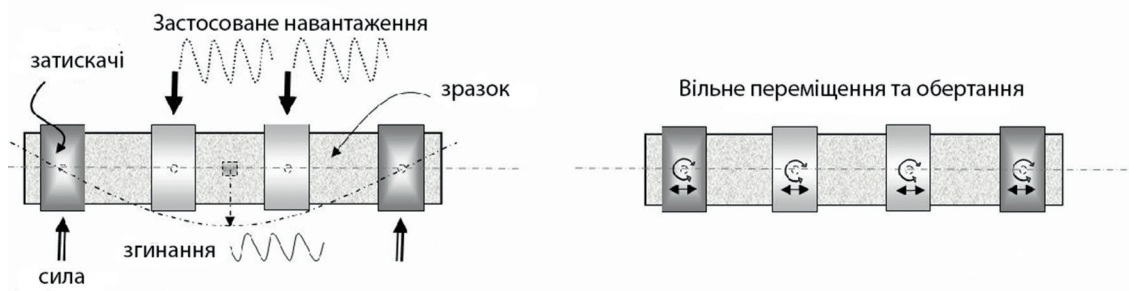


Рисунок 1 — Схема закріплення зразка

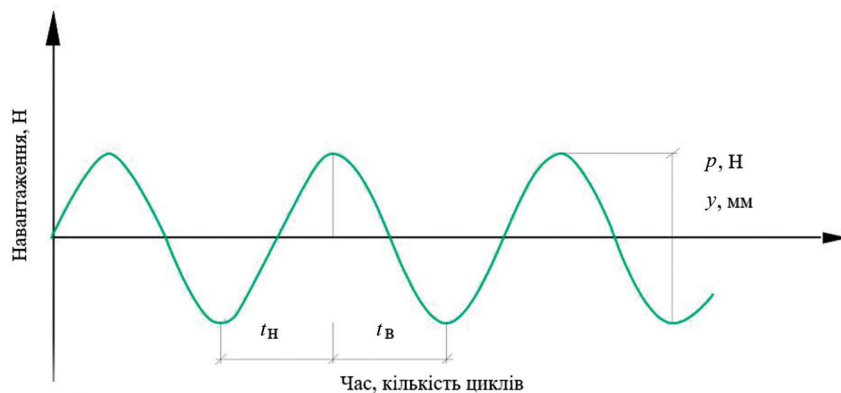


Рисунок 2 — Форма навантаження зразка

Зразки для повторних одиночних випробувань за однакових умов випробування відбирають з однакових груп. Випробування повторюються із застосуванням різних ступенів обраних умов навантаження (тобто, різні ступені прогину в разі постійного виду прогину або різних ступенів сили в разі постійного виду сили). Криву втоми будують для обраної випробувальної умови (частоти, температури і виду навантаження), а інші значення обчислюють таким чином:

- ступінь  $Q$  умови випробування для виду навантаження, відповідає  $10^6$  циклам, для стійкості до втоми згідно з обраним критерієм відмови  $k$ ;
- підйом  $p$  втомної кривої, отриманої в системі подвійного логарифма;
- оцінка стандартного відхилення залишкового розподілу природного логарифма стійкості до втоми  $S_{x/y}$ .

## Лабораторний прилад

За результатами проведеної дослідно-конструкторської роботи ДП «ДерждорНДІ» було розроблено лабораторний прилад (рис. 3), який дозволяє випробувати зразки-балочки за кількістю циклів навантаження до руйнування в заданому температурно-частотному діапазоні на чотириточкове згинання.

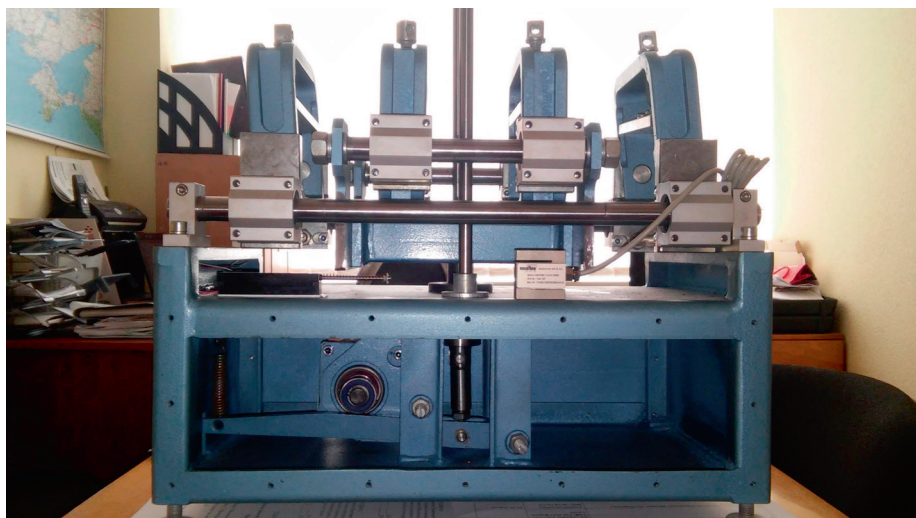


Рисунок 3 — Загальний вид приладу

Розроблення приладу для дослідження втоми асфальтобетонів передбачало вирішення таких задач:

1. Виготовлення вузла для управління режимами роботи крокового двигуна для отримання аналогового сигналу від датчика лінійних переміщень і датчика сили, його перетворення та передача в цифровому вигляді для оброблення за допомогою програмного комплексу.

2. Розроблення програмного забезпечення (рис. 4) для оброблення цифрових сигналів від датчиків з можливістю управління процесом випробування через регулювання режимом роботи крокового двигуна.

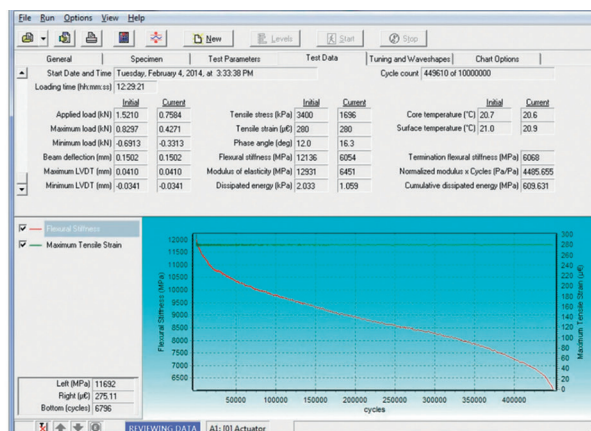
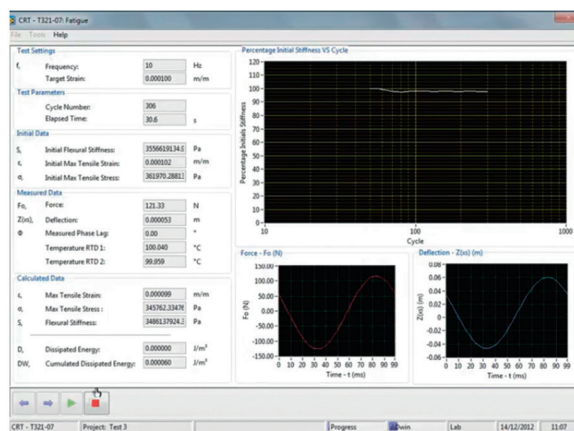


Рисунок 4 — Інтерфейс програмного комплексу



Механічна частина лабораторного приладу складається з несної рами, яка призначена для розміщення на ній вузлів і деталей приладу, механізму для кріплення лабораторного зразка, механізму навантаження, датчиків (переміщення та навантаження) контролю за режимами випробування.

В якості передачі навантаження використовується механічний привід від електричного двигуна з можливістю регулювання режимів його роботи. Механізм для кріплення лабораторного зразка складається з опор, до яких кріпляться рамки для фіксації зразка, які забезпечують можливість вільного обертання кінців зразка. Механізм навантаження дозволяє створювати в зразку напруження заданої величини за рахунок зміни величини деформації зразка. Деформація здійснюється з частотою, забезпечуючи період дії навантаження рівний 0,1 с.

Діапазон деформації зразка можна змінювати в інтервалі від 1 мм до 10 мм із заданою частотою до 10 Гц. Навантаження змінюється за синусоїдальним законом.

Прилад має датчики контролю величини деформації та величини навантаження. Інноваційний датчик деформацій, що розміщують на зразку та кріплять до балочки, виключає похибки, що можуть виникати внаслідок рухливості рами та можливого зминання зразка асфальтобетону в місцях його кріплення.

Сигнали зворотного зв'язку від датчиків сили та переміщення надходять до комп'ютерної системи управління за допомогою відповідних контролерів оброблення аналогового сигналу. Система реєструє сигнали, які надходять від зразка, передає їх до програми оброблення сигналу і в реальному часі будує графіки, що відповідають виду випробування та режиму роботи.

### *Проведення випробування*

Із асфальтобетону було виготовлено ряд зразків-балочок розміром  $300 \times 50 \times 50$  мм. Зразки виконували з наступними номінальними співвідношеннями сторін і допусками:

- загальна довжина  $L_{tot}$  не повинна перевищувати ефективну довжину  $L$  більше ніж на 10 %;
- різниця між максимальними та мінімальними значеннями замірів ширини та висоти не повинна бути більше ніж 1,0 мм; різниця між максимальними та мінімальними значеннями довжини не повинна бути більше ніж 2,0 мм;
- кут між сусідніми сторонами не повинен відхилятися від прямого кута більше ніж на  $1^\circ$ .

Для лабораторного випробування асфальтобетонних зразків було обрано гарячий дрібнозернистий щільний асфальтобетон непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А (АСГ.Др.Щ.А.НП.І) на бітумі БНД 60/90 та асфальтобетон щільний, крупнозернистий АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 на бітумі марки БНД 60/90 та ЩМА-10 згідно з ДСТУ Б В.2.7-127 бітумі марки БНД 60/90. Результати випробувань із визначення зернового складу мінеральної частини та вмісту органічного в'язучого асфальтобетонної суміші, проводили згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-319 [14].

Кожний зразок-балочку піддавали дії навантаження синусоїдального типу, послідовно проходячи кожен з режимів навантаження з відповідною частотою та рівнем навантаження до відмови зразка. У процесі випробування реєстрували згинальні деформації, здійснювали контролювання температури, реєстрували кількість циклів до відмови зразка. Відмовою прийнято вважати такий стан зразка, за якого відбувається перевищення реєстрованих величин згинальних деформацій початкових їх значень у два рази. За результатами випробування побудовано криві втоми матеріалу (залежність «деформація – кількість циклів випробування»), визначено комплексні модулі пружності, енергію дисипації. Відповідність отриманих значень встановлювали відповідно до вимог таблиці 19 ДСТУ EN 13108-1:2018 (EN 13108-1:2006, IDT) [15].

Основні умови проведення випробування наведено у табл. 1.

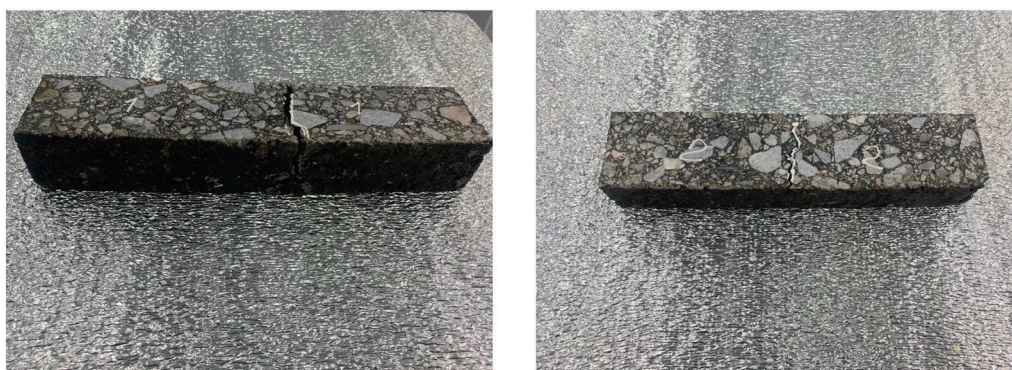
*Таблиця 1*

*Умови проведення випробування*

Ч.ч.	Параметр	Умова
1	Температура, °С	10; 20
2	Частота навантаження, Гц	10
3	Характер навантаження	Циклічне за постійної деформації
4	Амплітуда деформації, мкм/м	700
5	Критерій руйнування	Зменшення комплексного модуля на 50 % від початкового значення

Кожний зразок-балочку піддавали дії навантаження синусоїдального типу, послідовно проходячи кожен з режимів навантаження з відповідною частотою та рівнем навантаження до відмови зразка.

За частоти навантаження 10 Гц руйнування зразків-балочок відбувалося без явних ознак викришування заповнювача. Одиночна волосяна тріщина, що з'являлася після визначеної кількості циклів поступово розповсюджувалася по всім граням зразка. Характер руйнування зразків-балочок зображено на рис. 5.



*Рисунок 5* — Характер руйнування зразків-балочок під час випробування

Параметри втоми для асфальтобетону типу А наведено у табл. 2 та табл. 3 залежно від різних температур (10 °С та 20 °С). Випробування проводили згідно з ДСТУ EN 12697-24 з частотою 10 Гц, за обраного синусоїдального типу навантаження з контрольованою деформацією.

*Таблиця 2*

*Параметри втоми за температури випробування 10 °С*

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\epsilon_6$ , мкм/м
АСГ.Др.Щ.А.НП.І	1,6E + 22	-7,37	0,984	158

Парметри втоми для асфальтобетону типу А1 наведено у табл. 4 та табл. 5 залежно від різних температур (10 °С та 20 °С). Випробування проводили згідно з ДСТУ EN 12697-24 з частотою

10 Гц, за обраного синусоїдального типу навантаження з контрольованою деформацією.

*Таблиця 3*

*Параметри втоми за температури випробування 20 °С*

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , мкм/м
АСГ.Др.Щ.А.НП.І	1,0E + 15	-3,95	0,47	190

*Таблиця 4*

*Параметри втоми за температури випробування 10 °С*

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , $\mu\text{m}/\text{m}$
АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І	1,6E + 14	-3,93	0,70	122

*Таблиця 5*

*Параметри втоми за температури випробування 20 °С*

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , $\mu\text{m}/\text{m}$
АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І	3,4E + 22	-7,20	0,73	198

Параметри втоми для щебенево-мастикового асфальтобетону наведено у табл. 6 та табл. 7 залежно від різних температур (10 °С та 20 °С). Випробування проводили згідно з ДСТУ EN 12697-24 [8] з частотою 10 Гц, за обраного синусоїдального типу навантаження з контрольованою деформацією.

*Таблиця 6*

*Коефіцієнти втоми за температури випробування 10 °С*

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , $\mu\text{m}/\text{m}$
ЩМА-10	5,9E + 22	-7,09	0,94	232

*Таблиця 7*

*Коефіцієнти втоми за температури випробування 20 °С*

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , $\mu\text{m}/\text{m}$
ЩМА-10	3,3E + 18	-5,43	0,71	306

Отримані результати свідчать, що випробування дрібнозернистого асфальтобетону типу А вказують на те, що він має вищу втомну довговічність ніж крупнозернистий асфальтобетон типу А1. Тип А має вищу щільність, як наслідок менша кількість бітуму знаходиться у вільному стані, що у свою чергу зменшує пластичність суміші.

Порівнюючи результати оцінювання втомної довговічності асфальтобетону типу А та ЩМА можна відмітити більшу втомну довговічність ЩМА по відношенню до асфальтобетону типу А в середньому в два рази, що пояснюється його більшою релаксаційною здатністю завдяки наявності структурованого в'язучого. Зі збільшенням густини матеріалу та кількості в'язучого значення опору втомі зростають.

За результатами оцінювання впливу температури на втомну довговічність можна відмітити, що зі збільшенням температури випробування мало місце її зниження, оскільки зразок переходив у пластичний стан.

### Висновки

Прийнятий метод випробування дає змогу оцінити вплив різних факторів на втомну довговічність. Різниця в фізико-механічних властивостях різних типів асфальтобетонів дає змогу стверджувати про їхню різну поведінку під час випробування на втому.

За допомогою розробленого приладу продовжують проводитись експериментальні дослідження, що дають змогу оцінити надійність та довговічність асфальтобетонних покриттів під час дії багаторазового циклічного навантаження.

Задано напрямок подальших досліджень щодо визначення впливу різних факторів на асфальтобетон під час дії багаторазового циклічного навантаження від транспортного навантаження. Особливо цікавим є вивчення впливу модифікуючих добавок та регенованого асфальтобетону для асфальтобетонних сумішей на характеристики їхнього опору втомі.

З урахуванням результатів випробування щодо умов роботи асфальтобетонів в покритті під впливом багаторазового циклічного навантаження можливо проектувати склад асфальтобетонних сумішей, що попереджає втомне тріщиноутворення.

Дані випробування дадуть змогу оцінити прогнозований та залишковий терміни служби покриттів, що у свою чергу дасть можливість встановити раціональні терміни проведення ремонтних робіт.

Кінцевим результатом стануть розроблені пропозиції щодо підвищення втомної довговічності.

### Список літератури

1. Erkens S. M. J. G. And Kalf J. A. M. The four point bending test. Asphalt concrete response. Netherlands, 2000. P. 1-46. URL: [https://www.researchgate.net/publication/280565127\\_the\\_four\\_point\\_bending\\_test\\_asphalt\\_concrete\\_response](https://www.researchgate.net/publication/280565127_the_four_point_bending_test_asphalt_concrete_response) (дата звернення: 10.04.2020).
2. Carpenter S. Perpetual pavement: laboratory validation. *The 57th Annual Ohio Transportation Engineering Conference*. Dublin, 2003. URL: <http://www.otecohio.org/presentations/OTECpresentations/Se20/Carpenter-OHIOFatigue.pdf> (дата звернення: 10.04.2020).
3. Marco Pasetto, Nicola Baldo. Dissipated energy analysis of four-point bending test on asphalt concretes made with steel slag and RAP. *International journal of pavement research and technology*. Taiwan, 2017. Vol. 10 (5). P. 446-453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.004>.
4. Ghuzlan K. A., Carpenter S. H. Traditional fatigue analysis of asphalt concrete mixtures. *Urbana*. Venezuela, 2002. Vol. 51. P. 34-46. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264842133\\_Traditional\\_Fatigue\\_Analysis\\_of\\_Asphalt\\_Concrete\\_Mixtures](https://www.researchgate.net/publication/264842133_Traditional_Fatigue_Analysis_of_Asphalt_Concrete_Mixtures) (дата звернення: 10.04.2020).
5. Artamendi I., Khalid H. Characterization of fatigue damage for paving asphaltic materials. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. United Kingdom, 2005. Vol. 28 (12). P. 1113-



1118. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2695.2005.00949.x> (дата звернення: 10.04.2020).

6. Shen S., Carpenter S. H. Application of the dissipated energy concept in fatigue endurance limit testing. *Transportation Research Record*. United States, 2005. Vol. 1929 (1). P. 165-173. URL: [https://www.researchgate.net/publication/245561489\\_Application\\_of\\_the\\_Dissipated\\_Energy\\_Concept\\_in\\_Fatigue\\_Endurance\\_Limit\\_Testing](https://www.researchgate.net/publication/245561489_Application_of_the_Dissipated_Energy_Concept_in_Fatigue_Endurance_Limit_Testing) (дата звернення: 10.04.2020).

7. Carpenter S. H., Shen S. Dissipated energy approach to study hot-mix asphalt healing in fatigue. *Transportation Research Record*. United States, 2006 (1970). Vol. 1970 (1). P. 178-185. URL: [https://www.researchgate.net/publication/245562315\\_Dissipated\\_Energy\\_Approach\\_to\\_Study\\_Hot-Mix\\_Asphalt\\_Healing\\_in\\_Fatigue](https://www.researchgate.net/publication/245562315_Dissipated_Energy_Approach_to_Study_Hot-Mix_Asphalt_Healing_in_Fatigue) (дата звернення: 10.04.2020).

8. ДСТУ EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT) Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 24. Опір втомі. Київ, 2018. 43 с. (Інформація та документація).

9. Di Benedetto H., De la Roche C., Baaj H., Pronk A. Fatigue bituminous mixture: different approaches and RILEM group contribution. *Sixth International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials*. Switzerland, 2003. P. 15-38. DOI: [10.1617/2912143772.002](https://doi.org/10.1617/2912143772.002)

10. Di Benedetto H., De La Roche C., Baaj H., Pronk A., Lundström R. Fatigue of bituminous mixtures. *Materials and structures*. Netherlands, 2004. Vol. 37 (3). P. 202-216. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02481620> (дата звернення: 10.04.2020).

11. Золотарев В. А. Оценка долговечности асфальтобетонов по статической усталости. *Avtošláhovik Ukraïni* Vol. 34 (246) Київ, 2015. P. 34-30. URL: [http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbu/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/au\\_2015\\_4\\_9.pdf](http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/au_2015_4_9.pdf) (дата звернення: 10.04.2020).

12. Coni M., Portas S., Oliviera J. R. M., Isola R. FE evaluation of 4-point bending test for fatigue cracking assessment. *Pavement Cracking: Mechanisms, Modeling, Detection, Testing and Case Historiest*. London, 2008. P. 271-281. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203882191> (дата звернення: 10.04.2020).

13. Дровалева О. В. Усталостная долговечность асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок: дис. канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2009. 200 с.

14. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 64 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN 13108-1:2018 (EN 13108-1:2006, IDT) Бітумомінеральні суміші. Технічні умови. Частина 1. Асфальтобетон. Київ, 2020. 32 с. (Інформація та документація).

### References

1. Erkens S.M.J.G. and Kalf J.A.M. The four point bending test. Asphalt concrete response. Netherlands, 2000. P. 1-46. URL: [https://www.researchgate.net/publication/280565127\\_the\\_four\\_point\\_bending\\_test\\_asphalt\\_concrete\\_response](https://www.researchgate.net/publication/280565127_the_four_point_bending_test_asphalt_concrete_response) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].

2. Carpenter S. Perpetual pavement: laboratory validation. *The 57th Annual Ohio Transportation Engineering Conference*. Dublin, 2003. URL: <http://www.otecohio.org/presentations/OTECpresentations/Se20/Carpenter-OHIOFatigue.pdf> (Last accessed: 10.04.2020) [in English].

3. MarcoPasetto, Nicola Baldo. Dissipated energy analysis of four-point bending test on asphalt concretes made with steel slag and RAP. *International journal of pavement research and technology*. Vol. 10 (5). Taiwan, 2017. P. 446-453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.004> (Last accessed: 10.04.2020) [in English].

4. Ghuzlan K.A., Carpenter S.H. Traditional fatigue analysis of asphalt concrete mixtures.

- Urbana*. Vol. 51. P. 34-46. Venezuela, 2002. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264842133\\_Traditional\\_Fatigue\\_Analysis\\_of\\_Asphalt\\_Concrete\\_Mixtures](https://www.researchgate.net/publication/264842133_Traditional_Fatigue_Analysis_of_Asphalt_Concrete_Mixtures) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
5. Artamendi I., Khalid H. Characterization of fatigue damage for paving asphaltic materials. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. Vol. 28 (12). United Kingdom, 2005. P. 1113-1118. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2695.2005.00949.x> [in English].
  6. Shen S., Carpenter S.H. Application of the dissipated energy concept in fatigue endurance limit testing. *Transportation Research Record*. Vol. 1929 (1). United States, 2005. P. 165-173. URL: [https://www.researchgate.net/publication/245561489\\_Application\\_of\\_the\\_Dissipated\\_Energy\\_Concept\\_in\\_Fatigue\\_Endurance\\_Limit\\_Testing](https://www.researchgate.net/publication/245561489_Application_of_the_Dissipated_Energy_Concept_in_Fatigue_Endurance_Limit_Testing) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
  7. Carpenter S.H., Shen S. Dissipated energy approach to study hot-mix asphalt healing in fatigue. *Transportation Research Record*. Vol. 1970 (1). United States, 2006 (1970), P. 178-185. URL: [https://www.researchgate.net/publication/245562315\\_Dissipated\\_Energy\\_Approach\\_to\\_Study\\_Hot-Mix\\_Asphalt\\_Healing\\_in\\_Fatigue](https://www.researchgate.net/publication/245562315_Dissipated_Energy_Approach_to_Study_Hot-Mix_Asphalt_Healing_in_Fatigue) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
  8. DSTU EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT) Bitumomineralni sumishi. Metody vyprovuvannia hariachykh asfaltobetonnykh sumishei. Chastyna 24. Opir vtomi [State Standard of Ukraine (DSTU EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT)) Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 24. Resistance to fatigue]. Kyiv, 2019. 43 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
  9. Di Benedetto H., De la Roche C., Baaj H., Pronk A. Fatigue bituminous mixture: different approaches and RILEM group contribution. *Sixth International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials*. Switzerland, 2003. P. 15-38. DOI: [10.1617/2912143772.002](https://doi.org/10.1617/2912143772.002) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
  10. Di Benedetto H., De La Roche C., Baaj H., Pronk A., Lundström R. Fatigue of bituminous mixtures. *Materials and structures*. Netherlands, 2004. Vol. 37 (3). P. 202-216. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02481620> (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
  11. Zolotarev V. A. Otsenka dolgovechnosti asfaltobetonov po staticheskoy ustalosti (Evaluating the durability of asphalt at static fatigue). *Avtošlahovik Ukraini*. Kyiv, 2015. Vol. 34 (246). P. 34-30. URL: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/au\\_2015\\_4\\_9.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/au_2015_4_9.pdf) (Last accessed: 10.04.2020) [In Russian].
  12. Coni M., Portas S., Oliviera J. R. M., Isola R. FE evaluation of 4-point bending test for fatigue cracking assessment. *Pavement Cracking: Mechanisms, Modeling, Detection, Testing and Case Historiest*. London, 2008. P. 271-281. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203882191> (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
  13. Drovaleva O. V. Ustalostnaya dolgovechnost asfaltobetona pri vozdeystvii intensivnykh transportnykh nagruzok (Fatigue life of asphalt concrete under the influence of intensive transport loads). PhD (Ing.). Rostov-on-Don, 2009. 200 p. [in Russian].
  14. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhnyi ta aerodromnyi. Metody vyprovuvan (State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Test methods). Kyiv, 2016. 64 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
  15. DSTU EN 13108-1:2018 (EN 13108-1:2006, IDT) Bitumomineralni sumishi. Tekhnichni umovy. Chastyna 1. Asphaltobeton (State Standard of Ukraine [DSTU EN 13108-1:2018 (EN 13108-1:2006, IDT) Bituminous mixtures. Material specifications. Part 1. Asphalt Concrete]. Kyiv, 2020. 32 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Vasiliy Golovchenko, <https://orcid.org/0000-0001-5078-8682>

Ivan Kopynets, <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>

Tetiana Malii, <https://orcid.org/0000-0002-2008-8164>

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

### **RESEARCH OF THE FATIGUE LIFE OF ASPHALT CONCRETE**

#### ***Abstract***

Introduction. Fatigue strength is the most important criterion for the asphalt concrete quality evaluation, namely its ability to resist the destructive action of vehicles. The number of cycles that can withstand asphalt concrete during bending with constant amplitudes of load or deformation to failure is used as such a criterion.

The issue statement. Under current conditions of increasing traffic volume, in order to obtain reliable results of fatigue life evaluation of asphalt concrete pavements, it is necessary to switch to new methods of testing the asphalt concrete during repeated impact of vehicle loads. Until recently, the existing regulatory framework allowed testing asphalt pavements only under a single static load, which made it impossible to assess their resistance to long-term repeated cyclic loads. In the absence of well-founded and documented testing methods, it was impossible to determine the regularities of fatigue failure which is often established under visual inspection of roads in Ukraine. Upon entry into force of DSTU EN 12697-24: 2018 (EN 12697-24: 2012, IDT) "Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 24. Resistance to fatigue." It is become possible to carry out such assessment and obtaining the information about the operating modes of the load of asphalt concrete in the road pavement the result of which is to determine a pattern of material fatigue life changes depending on the characteristics of the load and temperature impacts. Thus, it will make possibility to carry out asphalt concrete mix design taking into account the predicted number of load cycles, thereby determining the ways to improve the fatigue life of asphalt concrete pavements and ensure their reliable operation in road structures during the design service life.

Purpose. Experimental study of the fatigue life of asphalt concrete the result of which is to determine a pattern of material fatigue life changes depending on the characteristics of the load and temperature impacts and development of the ways to improve it based on the results obtained.

Materials and methods. For the experimental study samples-beams from hot asphalt concrete mixtures of different types were produced and tested for four-point bending.

The results. The analysis of information sources on the existing experience of multiple cyclic loading test was carried out. The device for determination of fatigue resistance of asphalt concrete on four-point bending was developed. Samples-beams from different types of asphalt concrete were tested and regularities of fatigue life changes were established.

Conclusions. Impact of load frequency on fracture processes is experimentally confirmed. The results obtained make it possible to establish the predicted service life and estimate the residual life of the road structure.

**Keywords:** asphalt concrete, asphalt concrete mixtures, fatigue life, road construction, fatigue resistance, cyclic load, four-point bending.