

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА  
ТА АРХІТЕКТУРИ

**ХАМАД Рамі Арефович**



УДК 625.85:665.775:625.042+620.19

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ АСФАЛЬТО- І АСФАЛЬТОПОЛІМЕРБЕТОНІВ  
ДО РІДКИХ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор  
**Золотарьов Віктор Олександрович**,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Гамеляк Ігор Павлович**,  
Національний транспортний університет,  
завідувач кафедри аеропортів.

кандидат технічних наук, доцент  
**Гончаренко Валентин Валентинович**,  
ДП «Державний дорожній науково-технічний інститут ім. М.П. Шульгіна », завідувач відділом нежорстких дорожніх одягів.

Захист дисертації відбудеться «\_\_\_» жовтня 2015 р. о \_\_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.04 Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40 та на сайті університету.

Автореферат розісланий «\_\_\_» вересня 2015 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради, к.т.н., доц.



Т.О. Костюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Вплив рідких агресивних середовищ на експлуатаційні властивості асфальтобетону до теперішнього часу вивчено недостатньо, а фактор такого впливу не враховується в чинних нормативних документах. Відсутність адекватних методів оцінки стійкості до агресивних середовищ (розчини солей і кислот, паливно-мастильні матеріали) не дозволяє об'єктивно призначити оптимальні склади асфальтобетону, що забезпечують ефективність його роботи в таких умовах. Оцінка стійкості асфальтобетонів на чистих і модифікованих полімером бітумах в умовах одночасного впливу навантажень і рідких агресивних середовищ представляється більш інформативною. Проте, при цьому залишається невирішеною завдання вибору величин навантажень, необхідних для приведення різних по міцності асфальтобетонів до порівняльних умов випробування.

У зв'язку з цим актуальною є задача вивчення процесів руйнування асфальто- і асфальтополімербетонів в рідких агресивних середовищах при однакових рівнях напруженого стану і схемах деформування, що відповідають умовам роботи асфальтобетону в дорожньому покритті.

**Зв'язок з науковими програмами планами і темами.** Дисертаційні дослідження виконані відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів ХНАДУ і тематичним планом науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) на 2011–2012 рр. в рамках виконання госпдоговірної науково-дослідної роботи за темою 25/38-08-11 «Розробка СОУ на метод визначення показника стійкості асфальтобетонів в агресивних середовищах».

**Метою дослідження** є встановлення закономірностей руйнування асфальто- і асфальтополімербетонів при однакових рівнях напруженого стану та розробка на цій основі методу, що дозволяє прогнозувати їх довговічність в умовах спільного впливу рідких агресивних середовищ і механічних навантажень.

### **Завдання дослідження:**

– виконати аналіз існуючих літературних джерел про вплив агресивних середовищ на особливості поведінки асфальто- і асфальтополімербетонів та їх фізико-механічні властивості, а також аналіз прийнятих на даний час методів оцінки середостійкості асфальтобетону та його компонентів;

– теоретично обґрунтувати метод оцінки стійкості асфальто- і асфальтополімербетонів до дії рідких агресивних середовищ при різних схемах деформування і рівнях навантаження;

– встановити закономірності руйнування асфальтобетону в рідких агресивних середовищах при стиску, розтягуванні по твірній та вигині;

– вивчити вплив вмісту та консистенції в'язучого на час до руйнування асфальтобетону при заданих рівнях напруженого стану і його стійкість до дії рідких агресивних середовищ;

– оцінити вплив технологій введення полімеру в бітум та ведення ПАР в бітумні в'язучі на час життя асфальтобетону під навантаженням і його стійкість до дії рідких агресивних середовищ;

– обґрунтувати і розробити методи і критерії оцінки середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів.

*Об'єкт дослідження* – асфальто- і асфальтополімербетони, що піддаються навантаженню і дії рідких агресивних середовищ.

*Предмет дослідження* – закономірності руйнування асфальто- і асфальтополімербетонів під дією рідких агресивних середовищ при різних схемах напружено-деформованого стану.

**Методи дослідження.** Визначення основних фізико-механічних показників асфальто- і асфальтополімербетонів з використанням стандартних методів оцінки їх якості, а також міцності при різних схемах руйнування (стиск, розтягування по твірною, вигин) і швидкостях деформування. Для виконання основних завдань дослідження використовували розроблені на кафедрі ТДБМ ХНАДУ методи і прилади для визначення середостійкості і часу до руйнування асфальтобетону при спільній дії навантажень і рідких агресивних середовищ.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

– вперше теоретично і експериментально показано, що найбільш прийнятною схемою деформування для визначення середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів, що відповідає умовам роботи асфальтобетону в покритті, є чистий вигин;

– експериментально доведено, що об'єктивність порівняння часу до руйнування різних асфальто- і асфальтополімербетонів при одночасній дії навантажень і рідких агресивних середовищ підвищується в міру зниження рівня діючого напруження до 0,1–0,20 по відношенню до їх міцності;

– подальший розвиток отримали уявлення про збільшення на 10–15 % оптимального вмісту в'язучого, визначеного за критерієм часу до руйнування, у порівнянні з отриманим при стандартних випробуваннях на стиск;

– вперше експериментально встановлено, що асфальтополімербетони на основі БМП, виготовлених прямим введенням полімеру в бітум, більш стійкі в рідких агресивних середовищах, ніж асфальтополімербетони на основі БМП, отриманих з масляного розчину полімеру;

– отримано нові експериментальні дані щодо дії поверхнево-катіоноактивної речовини відносно довговічності в агресивних середовищах асфальтобетонів на чистих і модифікованих полімером бітумах.

**Практична цінність роботи** полягає в розробці критерію оцінки стійкості до агресивних середовищ, асфальто- і асфальтополімербетонів, що враховує їх напружено-деформований стан, а отриманні в результаті його застосування можливості прогнозувати вплив на час до руйнування цих матеріалів під навантаженням вмісту і консистенції бітумного в'язучого, ступеня і способу модифікації бітуму полімером типу СБС. результати дослідження використані при розробці СОУ 42.1-37641918-086:2013 «Асфальтобетон дорожній. Метод визначення показника стійкості в агресивних

середовищах» (прийнято та надано чинності наказом Укравтодору від 25.12.2013 р. № 484).

**Особистий внесок здобувача полягає в наступному:**

– критичний огляд літературних джерел щодо впливу рідких агресивних середовищ на бітумні та бітумомінеральні матеріали, а також методів оцінки їх середостійкості [3, 5, 7];

– теоретичне обґрунтування напружено-деформованого стану при чистому згині, як найбільш чутливого до дії середовища для оцінки середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів [1, 2, 3, 8, 9];

– результати визначення показників часу життя асфальтобетону при чистому вигині і розтягуванні по твірній з урахуванням рівня напруженого стану [4, 10, 11];

– результати визначення коефіцієнтів середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів (у воді, розчинах солей і кислот, дизельному паливі) за показниками часу життя в умовах спільного впливу агресивного середовища і статичного навантаження при заданих рівнях напруженого стану [4, 5, 11, 12];

– оцінка впливу добавок полімеру і ПАР в бітум на міцнісні і часові показники асфальтобетону і його стійкість до рідких агресивних середовищ [3, 4, 5, 12];

– розробка методу визначення середостійкості асфальтобетону в агресивних середовищах [6].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи були викладені на наступних конференціях і семінарах: «Проектування, будівництво та експлуатація нежорстких дорожніх одягів» (м. Харків, ХНАДУ, 28–29 жовтня 2010 р.); «Щорічна наукова сесія Асоціації дослідників асфальтобетону» (м. Москва, МАДИ, 1 лютого 2012 р.); «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг» (м. Харків, ХНАДУ, 14–15 листопада 2013 р.), а також на 76-ї, 77-ї і 78-ї науково-технічних і науково-методичних конференціях викладачів і співробітників ХНАДУ (9–13 квітня 2012 р., 13–17 травня 2013 р. і 14–16 травня 2014 р. відповідно).

**Публікації.** Основні результати дисертації викладено у 12-и публікаціях та матеріалах конференцій, з них 5 статей у спеціалізованих виданнях, що рекомендовано МОН України, 2 статті у збірниках науково-технічних конференцій і 1 галузевий стандарт.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг дисертації становить 187 сторінок, у тому числі 152 сторінки основного тексту, 19 сторінок списку літературних джерел, 16 сторінок додатку.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, викладено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

**У першому розділі** наводяться літературні дані щодо впливу на бітумні та бітумомінеральні матеріали найбільш розповсюджених в умовах їх експлуатації рідких агресивних середовищ – води, розчинів солей і кислот, паливно-мастильних матеріалів (ПММ). Також виконано критичний аналіз традиційних методів оцінки середостійкості цих матеріалів, зокрема, асфальтобетону.

Встановлено, що найбільш небезпечними для асфальтобетону є розтягуючі напруження, що виникають у верхніх шарах дорожнього одягу. Ці напруження є основною причиною утворення тріщин і подальшого руйнування асфальтобетону. У той же час розвитку тріщин в асфальтобетоні сприяє наявність рідких агресивних середовищ в зоні дії розтягуючих напружень. Вплив цих середовищ може проявлятися наступним чином: порушення адгезійних контактів між бітумним в'язучим і кам'яним матеріалом; адсорбційне зниження міцності поверхневого шару; погіршення деформативних властивостей за рахунок підвищення жорсткості бітуму (під дією розчинів солей і кислот); розм'якшення бітумного в'язучого під впливом ПММ.

Для підвищення водостійкості асфальтобетону головним чином використовують катіоноактивні ПАР. Модифікація бітуму полімером, типу СБС, також сприяє підвищенню водостійкості асфальтобетону. Проте, в даний час залишається невивченим питання впливу цих модифікаторів на здатність асфальтобетону протистояти дії таких агресивних середовищ, як розчини солей і кислот. Не висвітлено питання впливу модифікації бітумів полімерами на стійкість асфальтобетонів до ПММ.

Традиційні методи оцінки середостійкості асфальтобетону не враховують фактора спільного впливу агресивних середовищ і механічних навантажень, і, в своїй більшості, базуються на визначенні ступеня зниження міцності витриманих у досліджуваному середовищі зразків на стиск, що не відповідає напружено-деформованому стану асфальтобетону в дорожньої конструкції. У той же час розроблений з метою усунення цього недоліку на кафедрі дорожньо-будівельних матеріалів ХНАДУ метод визначення середостійкості асфальтобетону, заснований на оцінці ступеня зниження часу до руйнування (під дією постійного навантаження) зразків, підданих дії середовища, не враховує вплив рівня навантаження асфальтобетонів різної міцності на їх довговічність.

**У другому розділі** викладено теоретичні передумови щодо підвищення об'єктивності прогнозування середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів. Головним чином, це стосується впливу схеми напружено-деформованого стану та фактора спільного впливу розтягуючих напружень і рідких агресивних середовищ на процеси руйнування цих матеріалів.

Для об'єктивної оцінки середостійкості асфальтобетону стосовно до умов його роботи в дорожній конструкції випробування необхідно проводити при розтягуванні. У цьому відношенні найбільш простими схемами, що забезпечують руйнування за рахунок розтягування, є вигин і розтягування по

твірної. Остання схема в країнах ЄС і США використовується для оцінки водостійкості асфальтобетону. Тим не менш, схема вигину більше відповідає умовам роботи асфальтобетону в дорожньої конструкції. При цьому пріоритет слід віддати схемі чистого вигину, коли зусилля передається на зразок двома зосередженими навантаженнями, між якими створюється зона рівних розтягуючих напружень, що забезпечує вибір найбільш вразливих поверхонь для розвитку дефектів.

У той же час для наближення умов випробувань до реальних умов експлуатації оцінку середостійкості асфальтобетону необхідно проводити при спільній дії навантаження і агресивного середовища. Найбільш об'єктивним і чутливим показником оцінки довговічності є час до руйнування асфальтобетонних зразків в агресивному середовищі під дією статичного навантаження. Раніше В.А. Золотарьовим встановлено, що у в'язкопластичному стані час до руйнування ( $t$ , с) асфальтобетону під дією розтягуючих напружень ( $\sigma$ , МПа) задовільно описується рівнянням Г.М. Бартенєва:

$$t = B\sigma^{-b} \exp \frac{U}{RT}, \quad (1)$$

де  $B$  – константа, що залежить від структури матеріалу;

$b$  – показник ступеня зміну структури матеріалу при деформації;

$U$  – енергія активації процесу руйнування, Дж/моль;

$R$  – газова постійна, рівна 8,314 Дж/К·моль;

$T$  – абсолютна температура, К.

Згідно термофлуктуаційної теорії міцності (ТФТМ) С.Н. Журкова довговічність твердих тіл описується експоненціальним рівнянням:

$$t = t_0 \exp \frac{(U_0 - \gamma\sigma)}{KT}, \quad (2)$$

де  $t_0$  – час коливання атомів щодо положення рівноваги ( $\approx 10^{-13}$  с);

$U_0$  – початкова енергія активації процесу руйнування, Дж/моль;

$\gamma$  – структурний параметр, що відображає перенапруги в матеріалі;

$K$  – Стала Больцмана, рівна  $1,381 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

$\sigma$  і  $T$  – як в попередній формулі.

Ця теорія передбачає руйнування хімічних зв'язків під впливом розтягуючих напружень на тлі термофлуктуаційних процесів. Попередні дослідження довговічності асфальтобетону в агресивних середовищах свідчать про те, що залежність часу до руйнування асфальтобетону від напруги в агресивному середовищі зберігає статичної характер, але при цьому зміщується в область меншого часу до руйнування. Розробники ТФТМ припускали, що зміна залежності довготривалої міцності  $t = f(\sigma)$  в агресивному середовищі пов'язана зі зміною коефіцієнта  $\gamma$ , обумовленого ефектом Ребиндера, коли під впливом агресивного середовища знижується поверхнева енергія в зоні концентрації розтягуючих напружень, що призводить до зростання локальних перенапруг.

У зв'язку з неоднозначністю оцінки часу до руйнування асфальтобетонів різної міцності під дією однакового напруження виникає питання про вибір навантажень, що викликають у них напруження, при яких можуть бути отримані зіставлявані показники довговічності (рис. 1). Це особливо актуально для зіставлення асфальто- і асфальтополімербетонів, оскільки введення полімеру в бітум призводить до істотного зростання часу до руйнування асфальтобетону.

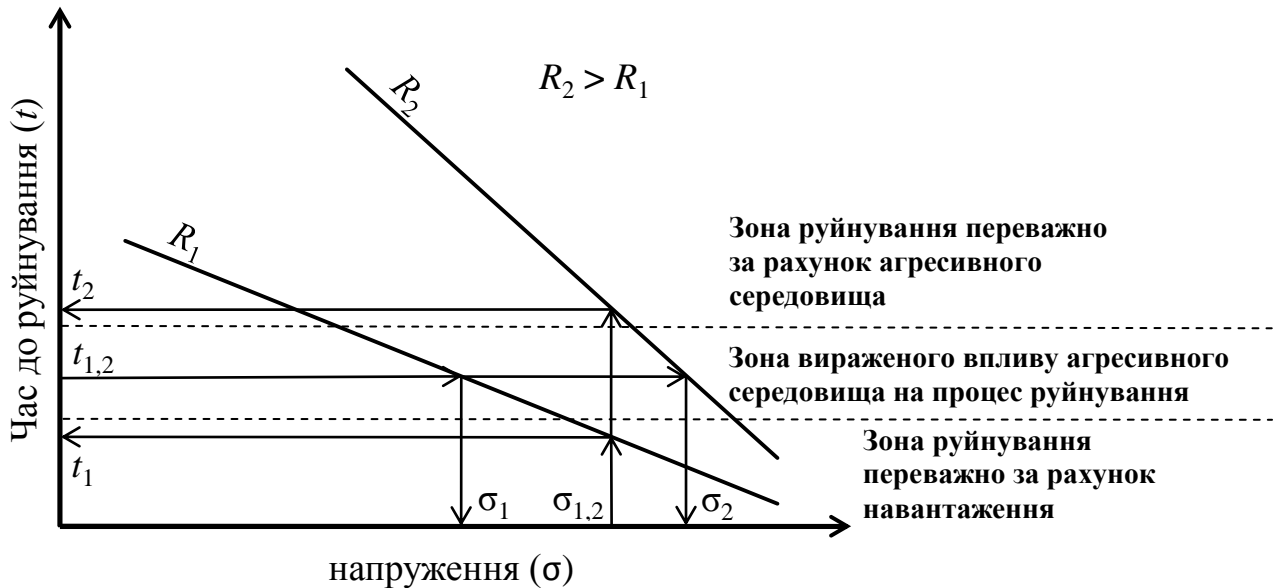


Рис. 1. Схематичне представлення залежностей часу до руйнування асфальтобетонів різної міцності ( $R$ ) і ступеня впливу агресивного середовища на процес руйнування залежно від тривалості випробування

Під впливом на асфальтобетони різної міцності ( $R_2 > R_1$ ) навантаження, що викликає напруження ( $\sigma$ ), рівень напруженого стану ( $\sigma/R$ ) у разі більш міцного асфальтобетону буде нижчим, ніж у випадку менш міцного ( $\sigma/R_2 \leq \sigma/R_1$ ). Для приведення різних за міцністю асфальтобетонів до ідентичних умов навантаження доцільно проводити їх випробування при однакових рівнях напруженого стану. Це може бути досягнуто за рахунок встановлення співвідношення між діючим ( $\sigma_d$ ) напруженням і міцністю асфальтобетону. Виходячи з концепції розрахунку нежорстких дорожніх одягів, можна припустити, що рівень напруженого стану повинен бути в межах  $0,1 \div 0,2$  от  $R$ .

Здатність середовища заповнювати пори, порожнечі і порожнисті дефекти асфальтобетону є одним з основних факторів його агресивності по відношенню до асфальтобетону. Прийнято, що змочуюча здатність (за показником крайового кута змочування) складових асфальтобетону (бітуму та кам'яних матеріалів) розчинами солей і кислот вище, ніж водою, а, отже, агресивність цих середовищ стосовно до асфальтобетону повинна бути більше, ніж води. У той же час, згідно з даними Б.С. Курінова, С.Г. Мамедьярової, Н.М. Позняка та ін., Під впливом



розчинів солей і кислот груповий склад бітуму змінюється в бік збільшення вмісту асфальтено-смолистих компонентів за рахунок зниження вмісту масел, що може призвести до зростання міцності бітуму.

Відповідно до цього, можна вважати, що при тривалому витримуванні асфальтобетонних зразків в рідких агресивних середовищах (як це передбачено традиційним підходом до визначення середостійкості) їх міцність змінюється в силу протікання двох паралельних процесів, які йдуть у часі. Перший полягає в порушенні контактних зв'язків між бітумним в'язучим і кам'яним матеріалом, він обумовлений змочуючими властивостями середовища. Сюди ж можна віднести хімічну взаємодію між середовищем і кам'яним матеріалом (у місцях, де є дефекти покриття кам'яних матеріалів бітумними плівками або за рахунок проникнення середовища крізь ці плівки до поверхні кам'яного матеріалу), що приводить до зменшення міцності через зменшення кількості адгезійних зв'язків в обсязі асфальтобетону. Другий процес може бути обумовлений хімічною взаємодією між середовищем і бітумними плівками, що призводить до зміни групового складу бітуму і сприяє його зміцненню. Конкуренцією цих процесів визначає час до руйнування асфальто- і асфальтополімербетонів в рідких агресивних середовищах.

Розчинність компонентів бітуму в ПММ зменшується із збільшенням їх молекулярної маси. Зі збільшенням пенетрації бітуму їх середня молекулярна маса знижується, а, отже, зменшується їх стійкість до розчинення в ПММ. Введення в бітум більш стійкого до розчинення полімеру має сприяти зниженню розчинності БМП, що утворюється. Крім того, набухання полімеру в мальтеновій (найбільш схильній до розчинення) складовій бітуму, супроводжується зменшенням в ній вмісту масел і зниженням розчинності бітуму в вуглеводневому середовищі.

**У третьому розділі** наведено об'єкти, методи і прилади дослідження, необхідні для перевірки теоретичних передумов і виконання завдань даної роботи, наведено властивості вихідних матеріалів.

У роботі були використані наступні в'язучі: бітуми марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130 і БНД 130/200; БМП з 3 і 6 % полімеру типу СБС (Kraton D-1101), отримані за технологією прямого введення полімеру в бітум; БМП з 3 % СБС, одержаного за технологією попередньої пластифікації полімеру в індустріальному маслі І-40А в пропорції 3:7 і подальшим компаундуванням отриманого розчину полімеру з бітумом в пропорції 1:9; бітум та БМП з добавкою 0,7 % катіоноактивної ПАР (WETFIX BE).

Для дослідження були прийняті піщані (тип «Г») асфальто- і асфальтополімербетони, складені з гранітного відсіву дроблення і вапнякового мінерального порошку. Також використовувалася асфальтобетонна суміш типу «Б» заводського (ТОВ «Будінвест», м. Харків) приготування з тих же кам'яних матеріалів.

В якості рідких агресивних середовищ були прийняті: вода; 5 % розчин NaCl; 2 % розчин H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; зимове дизельне паливо (ДП); 0,05 % розчин неіоногенного ПАР (ОП-10). Розчин ПАР, використано на стадії обґрунтування

схеми напружено-деформованого стану для оцінки середостійкості, що обумовлено її високою змочуючою здатністю і підвищеною агресивністю по відношенню до асфальтобетону.

Для визначення властивостей бітумів і БМП використовували методи випробування, передбачені 4044-2001 «Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови» і ДСТУ Б В.2.7-135:2007 «Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови. Визначення основних фізико-механічних властивостей асфальто- і асфальтополімербетонів виробляли згідно методам, викладеними в ДСТУ Б. В.2.7-89-99 «Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва».

Для вивчення середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів визначали коефіцієнти тривалої середостійкості (за аналогією зі стандартною методикою визначення довготривалої водостійкості) і коефіцієнти середостійкості, визначені при спільній дії навантаження і агресивного середовища з урахуванням рівня напруженого стану, як відношення терміну до руйнування зразків у середовищі і на повітрі. Також в роботі визначали розчинність бітумних в'язучих.

**У четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів при різних схемах напружено-деформованого стану.

Результати визначення коефіцієнтів середостійкості асфальтобетону при заданих рівнях напруженого стану свідчать, що при рівній тривалості випробування або однаковому рівні напруженого стану значення коефіцієнтів, визначених при чистому вигині нижче, ніж при розтягуванні по твірною (табл. 1). Це свідчить про те, що при чистому вигині забезпечуються кращі умови для проникнення середовища в розвиваються тріщини, ніж при розтягуванні по твірною. Ці результати покладені в основу вибору схеми чистого вигину (далі вигину) для вивчення середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів при спільній дії навантажень і рідких агресивних середовищ.

Таблиця 1

Вплив напружено-деформованого стану на час до руйнування (ЧР) асфальтобетону типу «Б» на бітумі БНД 60/90 і його середостійкість в 0,05 % розчині ПАР ОП-10

Розтягування по твірній; $r = 1$ МПа				чистий вигин; $R_{\text{виг}} = 2,64$ МПа			
$\sigma_d$ , МПа	$\frac{\sigma_d}{r}$	ЧР на повітрі (22 °С), с	$K_{\text{сер}}^t$	$\sigma_d$ , МПа	$\frac{\sigma_d}{R_{\text{виг}}}$	ЧР на повітрі (22 °С), с	$K_{\text{сер}}^t$
0,20	0,20	23958	0,75	0,53	0,20	59494	0,64
0,24	0,24	9716	0,79	0,66	0,25	20786	0,69
0,28	0,28	4053	0,89	0,84	0,32	6818	0,81
0,32	0,32	1932	0,94	1,06	0,40	2126	0,89
-	-	-	-	1,32	0,50	650	0,94

Отримані результати (табл. 2) показали, що вміст бітуму, який забезпечує досягнення максимального часу до руйнування асфальтобетону під дією постійного навантаження, більше (на 10–15 %) того, при якому забезпечуються максимальні показники міцності на стиск і вигин. Зі збільшенням вмісту бітуму середостійкість асфальтобетону у всіх водних середовищах підвищується. У той же час коефіцієнти тривалої середостійкості в розчинах NaCl і H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> завжди вище коефіцієнтів довготривалої водостійкості. Ці результати узгоджується з наведеними вище відомостями щодо підвищення твердості бітумних в'язучих в сольових і кислих середовищах. Непрямим підтвердженням цьому ефекту служить збільшення різниці між коефіцієнтами тривалої середостійкості у зазначених розчинах і у воді з пониженням вмісту бітуму в асфальтобетоні.

Таблиця 2

Вплив вмісту бітуму БНД на час до руйнування асфальтобетону типу «Г» і його середостійкість

Зміст бітуму, %	Водонасичення, %	Міцність (22 °С), МПа	ЧР на повітрі при $\sigma_d/R_{\text{виг}}$ , с (22 °С)	Коефіцієнти стійкості в середовищах										
				вода			5 % р-н NaCl			2 % р-н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			дизельне паливо	
				$K_B^{0,2}$	$K_B^{\text{ст}}$	$K_B^{\text{виг}}$	$K_C^{0,2}$	$K_C^{\text{ст}}$	$K_C^{\text{виг}}$	$K_K^{0,2}$	$K_K^{\text{ст}}$	$K_K^{\text{виг}}$	$K_{\text{ДП}}^{0,2}$	$K_{\text{ДП}}^{\text{ст}}$
6,0	6,9/ 5,3	4,36/ 3,05	64430/ -	0,77	0,58	0,51	0,76	0,73	0,63	0,69	0,68	0,58	0,11	0,25
6,5	4,4/ 2,6	4,45/ 3,13	70965/ 1145	0,82	0,65	0,61	0,81	0,79	0,73	0,76	0,79	0,73	0,18	0,46
6,75	4,2/ 1,9	4,23/ 3,19	72375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,0	3,1/ 1,7	3,96/ 3,14	77140/ 1440	0,84	0,82	0,77	0,84	0,91	0,88	0,84	0,89	0,85	0,35	0,56
7,5	1,5/ 0,5	3,88/ 3,06	103980/ 1275	0,88	0,88	0,91	0,88	0,97	0,97	0,89	0,98	0,98	0,31	0,48
8,0	0,5/ 0,1	3,64/ 2,87	88775/ -	0,93	0,99	0,97	-	-	-	-	-	-	-	-

Примітки: у графі «Водонасичення» в чисельнику наведено показники для циліндричних зразків, а в знаменнику – для зразків балок; в графі «Міцність» в чисельнику наведено показники при стиску, а в знаменнику – при вигині; в графі «ЧР» в чисельнику наведено показники часу життя при  $\sigma_d/R_{\text{виг}} = 0,20$ , а в знаменнику – при  $\sigma_d/R_{\text{виг}} = 0,50$ ;  $K_B^{0,2}$ ,  $K_B^{\text{ст}}$ ,  $K_B^{\text{виг}}$  – коефіцієнти середостійкості, визначені відповідно за ступенем зниження часу до руйнування зразків на вигин при  $\sigma_d/R_{\text{зг}} = 0,20$  в середовищі і за ступенем зниження міцності на стиск і вигин після 15 діб попереднього витримування в середовищі.

Таким чином, використання традиційного підходу до оцінки середостійкості асфальтобетону в сольових і кислих середовищах, заснованого на тривалому витримуванні зразків у середовищі, призводить до отримання завищених, а, отже, необ'єктивних показників. У той же час показники середостійкості, визначені за ступенем зниження часу до руйнування асфальтобетону в розчинах NaCl і H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (табл. 2), позбавлені цього недоліку, головним чином за рахунок відносно невеликої тривалості випробування і відсутності попереднього насичення зразків середовищем. Отримані таким чином коефіцієнти  $K_B^{0,2}$  і  $K_C^{0,2}$  у всьому розглянутому діапазоні вмісту бітуму мають подібні значення, що свідчить про рівний рівень агресивності до асфальтобетону води і п'яти процентного розчину NaCl. Агресивність двох процентного розчину H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> по відношенню до асфальтобетону при достатньому вмісті бітуму (7 % і більше) аналогічна тій, що спостерігається у випадку води. Однак, у міру зниження вмісту бітуму в асфальтобетоні його час до руйнування в кислому середовищі різко знижується.

Стійкість асфальтобетону в дизельному паливі зі збільшенням вмісту бітуму переходить через максимум (табл. 2), що, імовірно, обумовлено збільшенням у асфальтобетоні вільного бітуму більш схильного до розчинення, ніж бітум, що знаходиться в структурованому стані.

Результати визначення часу до руйнування асфальто- і асфальтополімербетонів при рівних напруженнях (рис. 2, а) і рівнях напруженого стану (рис. 2, б) показали, що при  $\sigma_d = 0,7$  МПа довговічність асфальтобетону на бітумі Б (64) в 56 разів більше, ніж асфальтобетону на бітумі Б (160), а при  $\sigma_d/R_{\text{виг}} = 0,20$  – тільки в 9,6 разів. Після введення в ці бітуми 3 % СБС збільшення показників часу до руйнування асфальтобетону при тих же умовах навантаження склало 8,6; 12,6 разів і 2,2; 3,2 рази відповідно. При співставленні асфальто- і асфальтополімербетонів на бітумах і БМП близької пенетрації співвідношення їх часових показників істотно зменшуються. Так, асфальтополімербетон на БМП Б<sub>160</sub><sup>п</sup>(107) більш довговічний при  $\sigma_d/R_{\text{виг}} = 0,20$ , ніж асфальтобетон на бітумі Б (103) всього лише в 1,7 рази. При цьому з переходом до більш в'язких пар «БМП – бітум» ця різниця істотно знижується (табл. 3). Таким чином, порівняння часових показників асфальто- і асфальтополімербетонів на в'язких різної консистенції при рівних рівнях напруженого стану ( $\sigma_d/R_{\text{виг}} = \text{const}$ ) є набагато більш об'єктивним, ніж у випадку однакових напружень. Крім того, такий підхід дозволяє визначати середостійкість асфальто- і асфальтополімербетонів на в'язких різної консистенції в більш подібних умовах з точки зору тривалості впливу середовища на зразки. Це підвищує об'єктивність результатів, що визначаються.

Результати визначення показників тривалої середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів показали, що коефіцієнти середостійкості, визначені

при стиску (стандартна схема деформування), набагато вище тих, що визначені при вигині (табл. 3). При цьому останні набагато більш чутливі до зміни консистенції бітуму і до його модифікації полімером. Підвищену чутливість розтягування при вигині можна пояснити, з одного боку, роботою межфазної зони «бітумне в'язуче – кам'яний матеріал» в асфальтобетоні на розтягування, що знижує міцність адгезійних зв'язків в агресивному середовищі. З іншого боку, при стиску в опорі руйнуванню беруть участь сили фрикційного зачеплення між зернами кам'яного матеріалу, які в меншій мірі, ніж адгезійні зв'язки, схильні до дії агресивних середовищ.

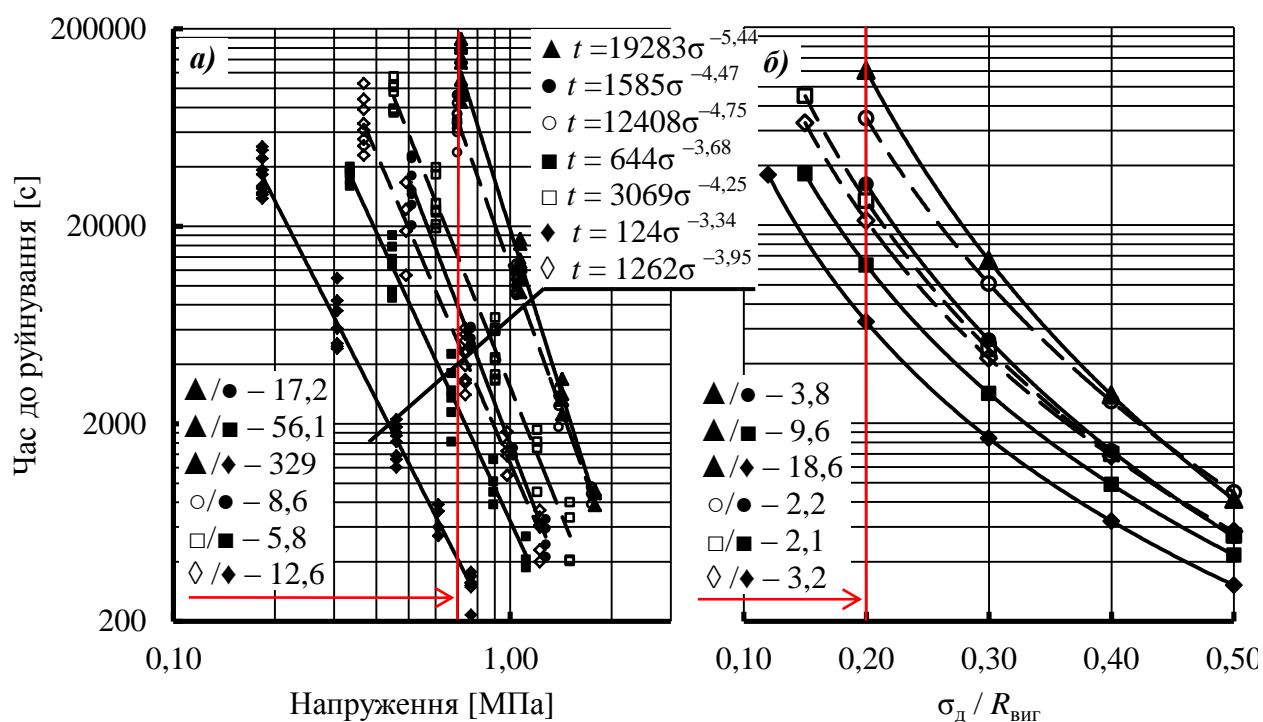


Рис. 2. Довготривала міцність піщаних асфальто- і асфальтополімербетонів на в'язучих різної пенетрації при заданих напругах (а) і рівнях напруженого стану (б) при 22 °С: ▲ – Б (43); ● – Б (64); ○ – Б<sub>64</sub><sup>3п</sup>(52); ■ – Б (103); □ – Б<sub>103</sub><sup>3п</sup>(74); ◆ – Б (160); ◇ – Б<sub>160</sub><sup>3п</sup>(107). Суцільними лініями надані асфальтобетони на чистих бітумах, а пунктирними – асфальтобетони на БМП

Коефіцієнти тривалої середостійкості асфальтополімербетонів в розчинах NaCl і H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, як і у випадку з асфальтобетонами, вище, ніж коефіцієнти довготривалої водостійкості (табл. 3). Подібні результати характерні, як для БМП з помірним (3 %) вмістом полімеру, що належать до бітумополімерних в'язучих, так і для БМП з високим (6 %) вмістом полімеру, що належать до полімербітумних в'язучих.

Таблиця 3

Вплив консистенції бітуму і БМП на час до руйнування асфальто- і асфальтополімербетонів типу «Г» і їх середостійкість

Індекс в'язучого, %	Водонасичення, %	Міцність (22 °С), МПа	ЧР на повітрі при $\sigma_d/R_{\text{виг}}$ , с (22 °С)	Коефіцієнти стійкості в середовищах															
				вода				5 % р-н NaCl				2 % р-н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				дизельне паливо			
				K <sub>В</sub> <sup>0,2</sup>	K <sub>В</sub> <sup>9ч</sup>	K <sub>В</sub> <sup>ст</sup>	K <sub>В</sub> <sup>виг</sup>	K <sub>С</sub> <sup>0,2</sup>	K <sub>С</sub> <sup>9ч</sup>	K <sub>С</sub> <sup>ст</sup>	K <sub>С</sub> <sup>виг</sup>	K <sub>К</sub> <sup>0,2</sup>	K <sub>К</sub> <sup>9ч</sup>	K <sub>К</sub> <sup>ст</sup>	K <sub>К</sub> <sup>виг</sup>	K <sub>ДП</sub> <sup>0,2</sup>	K <sub>ДП</sub> <sup>9ч</sup>	K <sub>ДП</sub> <sup>ст</sup>	
Б (43)	5,3 / 3,5	4,83 / 3,57	120770 / 825	0,89	0,91	0,80	0,65	0,89	0,90	0,82	0,65	0,84	0,87	0,84	0,71	0,19	0,36	0,32	
Б (64)	5,5 / 3,9	3,91 / 2,55	32180 / 535	0,86	0,86	0,82	0,73	0,86	0,86	0,86	0,73	0,84	0,84	0,84	0,76	0,24	0,24	0,38	
Б <sub>64</sub> <sup>3п</sup> (52)	5,0 / 3,0	4,80 / 3,48	69305 / 895	0,87	0,90	0,92	0,87	0,86	0,89	0,97	0,95	0,84	0,88	0,96	0,96	0,33	0,40	0,36	
Б <sub>64</sub> <sup>10МР</sup> (102)	4,9 / 3,3	3,34 / 2,34	22870 / 690	0,85	0,84	0,76	0,73	-	-	0,81	0,79	-	-	0,82	0,81	0,25	0,21	0,20	
Б (103)	5,7 / 4,5	3,41 / 2,23	12560 / 430	0,86	0,85	0,81	0,73	0,85	0,84	0,81	0,70	0,84	0,83	0,83	0,76	0,35	0,23	0,32	
Б <sub>103</sub> <sup>3п</sup> (74)	4,1 / 2,9	4,22 / 3,01	26490 / 540	0,90	0,89	0,92	0,88	0,89	0,89	0,95	0,93	0,89	0,88	0,93	0,92	0,38	0,36	0,25	
Б <sub>103</sub> <sup>6п</sup> (53)	4,6 / 3,2	4,51 / 3,09	20950 / 440	0,93	0,92	0,88	0,86	-	-	0,94	0,92	-	-	0,92	0,92	0,48	0,41	0,25	
Б (160)	5,4 / 3,5	2,63 / 1,53	6500 / 305	0,85	0,81	0,72	0,69	0,84	0,80	0,76	0,69	0,82	0,74	0,71	0,64	0,35	0,17	0,27	
Б <sub>160</sub> <sup>3п</sup> (107)	4,9 / 3,3	3,56 / 2,45	21070 / 565	0,88	0,87	0,88	0,86	0,87	0,87	0,91	0,90	0,86	0,85	0,91	0,91	0,36	0,30	0,19	
Б <sub>160</sub> <sup>6п</sup> (66)	5,0 / 2,9	4,13 / 2,60	19330 / 430	0,93	0,92	0,86	0,88	-	-	0,89	0,90	-	-	0,89	0,90	0,45	0,37	0,22	

Примітки: В індексі в'язучого вказана: в дужках – пенетрація; вгорі – кількість полімеру; внизу – пенетрація вихідного бітуму; МР – 30 %-ї матковий розчин полімеру в індустріальному маслі І-40А; K<sup>9ч</sup> – коефіцієнт середостійкості, визначений за ступенем зниження часу до руйнування зразків при вигині і приведений до однакової тривалості часу до руйнування зразків на повітрі, рівної 9 годин.

Виготовлення БМП  $B_{64}^{10MP}$  (102) з використанням пластифікатору призводить до зниження показників тривалої середостійкості асфальтополімербетону, як у воді, так і в розчинах NaCl і  $H_2SO_4$ . Такий асфальтополімербетон поступається за показниками  $K_B^{ВИГ}$ ,  $K_C^{ВИГ}$  і  $K_K^{ВИГ}$  своєму аналогу на БМП (отриманого прямим введенням полімеру в бітум)  $B_{160}^{3П}$  (107) на 0,13; 0,11 і 0,15 відповідно. Такі результати можна пояснити погіршенням зчеплення БМП з поверхнею кам'яних матеріалів внаслідок збільшення вмісту в його складі масел.

Результати визначення показників середостійкості при одночасній дії навантаження та середовища показали, що агресивність розчинів NaCl і  $H_2SO_4$  по відношенню до асфальтополімербетонів знаходиться на одному рівні з водою. При цьому ефективність полімеру в підвищенні середостійкості асфальтобетону зменшується у міру переходу від мало в'язких бітумів до високов'язких, хоча абсолютні показники часу до руйнування в середовищах у останніх залишаються вищими.

Введення в бітум Б (160) 3 і 6 % полімеру призводить до суттєвого підвищення його стійкості до розчинення. Так, спеціально проведений експеримент показав, що ступінь розчинення в дизельному паливі 20 % маси зразків, складених з дрібного однорідного піску і бітумного в'язучого, збільшується у разі введення в бітум Б (160) 3 і 6 % СБС в 2,5 і 6,5 разів відповідно (рис. 3). Такі результати, ймовірно, обумовлені підвищенням консистенції мальтенової (найбільш схильною до розчинення) частини бітуму за рахунок витрати бітумних масел на пластифікацію і набухання СБС. У той же час отримані результати підтверджують припущення, висловлені щодо стійкості в паливній середовищі БМП  $B_{64}^{10MP}$  (102), отриманого з використанням пластифікатору.

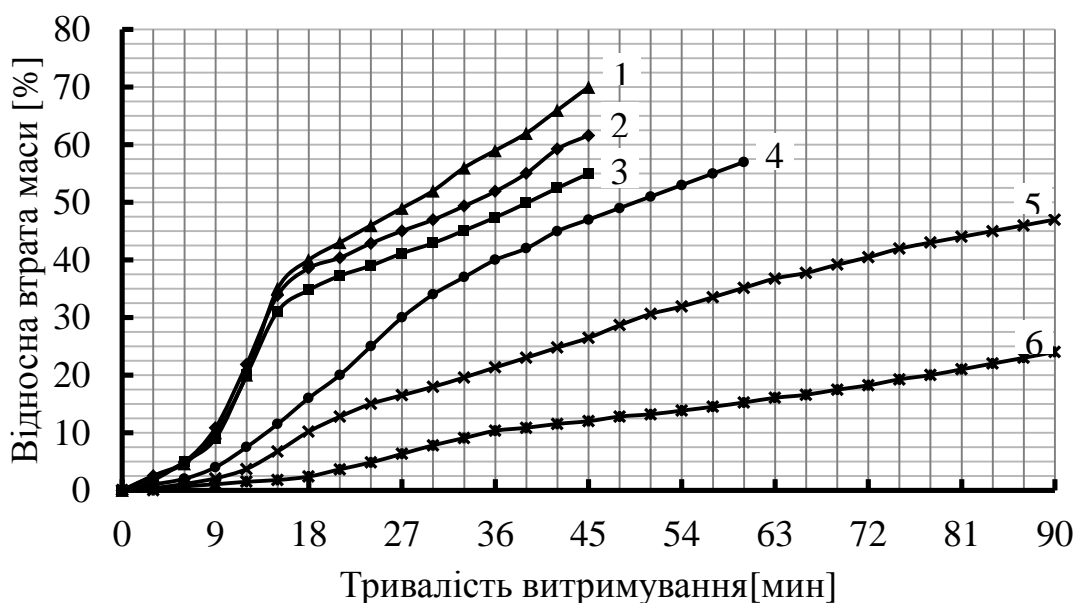


Рис. 3. Розчинність бітумів і БМП в дизельному паливі при 22 °С: 1 – Б (160); 2 – Б (103); 3 – Б (64); 4 –  $B_{64}^{10MP}$  (102); 5 –  $B_{160}^{3П}$  (107); 6 –  $B_{160}^{6П}$  (66)

Так як середостійкість в дизельному паливі асфальто- і асфальтополімербетонів головним чином обумовлена здатністю в'язучих, що входять до їх складу, чинити опір розчинювальній дії середовища, то введення полімеру в бітум супроводжується істотним підвищенням довговічності асфальтобетону в паливному середовищі. Так, введення 3 % СБС підвищує значення коефіцієнта  $K_{дп}^{0,2}$  показника на 0,03–0,11. Подальше збільшення вмісту полімеру з 3 до 6 % призводить до додаткового підвищення цього показника ще на 0,09–0,10. Введення до складу БМП пластифікатору знижує значення коефіцієнта  $K_{дп}^{0,2}$  на 0,11 в порівнянні з асфальтополімербетонм на БМП  $B_{160}^{3п}$  (107), отриманому за технологією прямого введення полімеру в бітум.

Введення ПАР практично не впливає на показники міцності асфальтобетону, як у випадку з чистим бітумом, так і у випадку БМП на його основі з 3 % СБС (табл. 4). У той же час введення ПАВ сприяє суттєвому підвищенню стійкості асфальто- і асфальтополімербетонів, як у воді, так і в розчинах NaCl і H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Спільне введення полімеру і ПАР в бітум дозволило досягти практично максимальних показників середостійкості.

Таблиця 4

Вплив добавки ПАР на час до руйнування асфальто- і асфальтополімербетонів типу «Г» та їх середостійкість

індекс в'язучого	Водонасичення, %	Міцність (22 °С), МПа	ЧР на повітрі при $\sigma_d/R_{виг,с}$ (22 °С)	Коефіцієнти стійкості в середовищах							
				Вода				5 % р-н NaCl		2 % р-н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
				$K_B^{0,2}$	$K_B^{9ч}$	$K_B^{ст}$	$K_B^{зг}$	$K_C^{ст}$	$K_C^{зг}$	$K_K^{ст}$	$K_K^{зг}$
Б (160)	5,4/ 3,5	2,63/ 1,53	6500/ 305	0,85	0,81	0,72	0,69	0,76	0,69	0,71	0,64
$B_{160}^{0,7ПАВ}$ (155)	4,7/ 3,3	2,65/ 1,66	11820/ 530	0,91	0,88	0,90	0,85	0,92	0,88	0,82	0,72
$B_{160}^{3п}$ (107)	4,9/ 3,3	3,56/ 2,45	21070/ 565	0,88	0,87	0,88	0,86	0,91	0,90	0,91	0,91
$B_{160}^{3п+0,7ПАВ}$ (102)	3,9/ 2,5	3,55/ 2,35	24615/ 585	0,94	0,93	0,95	0,96	0,98	1,01	0,97	0,99

У п'ятому розділі наведений розроблений і затверджений Укравтодором галузевий стандарт на метод визначення середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів (СОУ 42.1-37641918-086:2013 «Асфальтобетон дорожній. Метод визначення показника стійкості в агресивних середовищах»).



## ВИСНОВКИ

1. Теоретично і експериментально показано, що оцінка стійкості асфальто- і асфальтополімербетонів при одночасній дії навантажень і рідких агресивних середовищ за часом від завантаження до руйнування при чистому вигині і фіксованому рівні напруженого стану, за співвідношенням напруження ( $\sigma_d$ ), що прикладається, і міцності при вигині ( $R_{\text{виг}}$ ), в межах 0,10–0,20, є більш об'єктивною і відповідає умовам роботи цих матеріалів у покритті, ніж традиційна оцінка, заснована на визначенні ступеня зниження міцності зразків на стиск після витримування в середовищі протягом 15 діб.

2. Показник середостійкості, який визначається при вигині, більш чутливий до зміни вмісту в'язучого, його консистенції і способу введення в бітум полімеру, ніж стандартний показник, отримуваний при випробуванні на стиск. Це свідчить про доцільність його застосування для прогнозування довговічності асфальтобетону в дорожньому покритті, в якому критичними є напруження розтягу.

3. Збільшення вмісту бітумного в'язучого в асфальтобетоні призводить до переходу залежностей часу до руйнування, так само як і показників міцності, через максимум. При цьому оптимальний вміст в'язучого, що відповідає максимуму, у разі випробувань на довговічність при вигині, на 10–15 % більше, ніж у випадку випробувань на міцність при стиску, що призводить до зростання коефіцієнта середостійкості від 0,81 до 0,88 у воді і 5-ти процентному розчині NaCl і від 0,76 до 0,89 у 2-х процентному розчині H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

4. Довговічність асфальтобетону істотно залежить від консистенції бітуму. При послідовному переході від бітуму з penetрацією  $43 \times 0,1$  мм до бітумів з penetрацією  $64 \times 0,1$  мм,  $103 \times 0,1$  мм и  $160 \times 0,1$  мм час до руйнування асфальтобетону під навантаженням при  $\sigma_d/R_{\text{виг}} = 0,20$  відповідно зменшується в 3,8; 9,6 і 18,6 раз. Модифікація цього ряду бітумів 3-ма відсотками стирол-бутадієн-стирол збільшує час до руйнування асфальтобетонів на їх основі в 2,2; 2,1 і 3,2 рази відповідно. Цей приріст знижується при порівнянні асфальтополімербетонів з асфальтобетонами на бітумах близькою консистенції: у разі БМП з penetрацією  $107 \times 0,1$  мм і бітуму з penetрацією  $103 \times 0,1$  мм він склав 1,7 разів.

5. Коефіцієнти середостійкості асфальтобетону у воді і в розчинах NaCl і H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при  $\sigma_d/R_{\text{виг}} = 0,2$  в меншій мірі, ніж час до руйнування, залежать від марки використовуваного бітуму. Так їх різниця для асфальтобетонів на бітумах з penetрацією 64 і  $160 \times 0,1$  мм знаходиться в межах 0,04–0,05. Пряме введення в бітум 3 і 6 % СБС підвищує значення цих коефіцієнтів на 0,03–0,04 і 0,07–0,08 відповідно.

6. Технологія приготування БМП з використанням масляного розчину полімеру відносно середостійкості асфальтополімербетонів менш ефективна, ніж технологія прямого введення полімеру в бітум. Спільне введення поверхнево-активної речовини і полімеру призводить до синергетичного ефекту відносно середостійкості асфальтополімербетону.

7. Безпосереднє введення полімеру в бітум підвищує коефіцієнт середоустойчивості асфальтобетону в дизельному паливі при  $\sigma_d/R_{\text{виг}} = 0,2$  на 0,03–0,11. При цьому ступінь приросту коефіцієнта середостійкості тим вище, чим більше вміст полімеру, тоді як введення полімеру з маткового розчину призводить до зниження середостійкості асфальтополімербетону в порівнянні з асфальтобетоном на чистому бітумі з близькою пенетрацією (0,25 проти 0,36).

8. Результати досліджень використані при розробці затвердженого Укравтодором галузевого стандарту СОУ 42.1-37641918-086:2013 «Асфальтобетон дорожній. Метод визначення показника стійкості в агресивних середовищах» і в лекційному курсі «Фізико-хімічна механіка» будівельних матеріалів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у наукових фахових виданнях:*

1. Золотарев В.А. Влияние вида и уровня напряженно-деформированного состояния на коэффициент пластичности асфальтобетона: [Текст] / В.А. Золотарев, С.В. Ефремов, Р.А. Хамад // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: сб. науч. работ / М-во образования и науки Украины, ДонНАСА. – Макеевка, 2012. – № 1(93). – С. 41–47. (Особистий внесок: визначення швидкісних залежностей міцності асфальтобетону при різних схемах деформування).

2. Хамад Р.А. Статистическая оценка времени жизни асфальтобетона при статической усталости: [Текст] / Р.А. Хамад // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета и Северо-Восточного Научного Центра Транспортной Академии Украины: сб. науч. работ / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ. – Харьков, 2013. – № 63. – С. 45–50.

3. Золотарев В.А. Устойчивость асфальто- и асфальтополимербетонов в жидких агрессивных средах при сжатии и изгибе: [Текст] / В.А. Золотарев, Р.А. Хамад, Д.В. Калашник // Автошляховик України. – 2013. – № 5. – С. 32–37. (Особистий внесок: визначення показників тривалої стійкості до агресивних середовищ асфальтобетонів на чистих і модифікованих полімером бітумах різної консистенції).

4. Золотарев В.А. Влияние модификации битума полимером типа СБС на устойчивость асфальтополимербетонов в жидких агрессивных средах: [Текст] / В.А. Золотарев, Р.А. Хамад // Автошляховик України. – 2014. – № 6. – С. 18–26. (Особистий внесок: визначення показників стійкості до агресивних середовищ асфальто- і асфальтополімербетонів при заданих рівнях напруженого стану).

5. Khamad R. Estimation of fuel resistance of asphalt concrete and polymer modified asphalt concrete: [Text] / R. Khamad // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – 3/11 (75). P. 35–38.

*Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:*

6. Асфальтобетон дорожній. Метод визначення показника стійкості у агресивних середовищах: СОУ 42.1-37641918-086:2013 [Чинний від 2014–03–01] /

Розробники: С.В. Ефремов, В.А. Золотарев, Р.А. Хамад. – К.: Укравтодор, 2013. – 15 с. (Стандарт організації України). (Особистий внесок: отримання та систематизація експериментальних даних).

*Матеріали апробації результатів дисертаційного дослідження:*

7. Ефремов С.В. Влияние водных растворов ПАВ на сцепление битума с подложкой и долговечностью асфальтобетона: [Текст] / С. В. Ефремов, В.А. Золотарев, Р.А. Хамад // Проектирование, строительство и эксплуатация дорожных одежд: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвященной 80-летию ХНАДУ и дорожно-строит. факультета, Харьков, 28–29 октября 2010 г. / ХНАДУ. – Харьков, 2010. – С. 184–189. (Особистий внесок: аналіз і оцінка впливу змочуючої здатності рідкого середовища на процес руйнування асфальтобетону під навантаженням).

8. Золотарев В.А. Влияние напряженно-деформированного состояния асфальтобетона на скоростные зависимости его прочности: [Текст] / В.А. Золотарев, С.В. Ефремов, Р.А. Хамад // Программа ежегодной XXIV научной сессии «Ассоциация исследователей асфальтобетона»: программа 70-й науч.-метод. и науч.-исследовательской конф. МАДИ, 1–2 февраля 2012 г. – Москва, 2012. (Особистий внесок: визначення швидкісних залежностей міцності асфальтобетону при різних схемах деформування).

9. Хамад Р.А. Вибір схеми напруженого стану для оцінки стійкості асфальтобетонів у агресивних середовищах: [Текст] / Р.А. Хамад // Програма 76-ї науково-технічної та науково-методичної конференції: програма наук.-техн. та наук.-метод. конф. ХНАДУ, 9–13 квітня 2012 р. – Харків, 2014. – С. 40.

10. Хамад Р.А. Оцінка довговічності асфальтобетонів різної міцності з урахуванням рівня їх напруженого стану: [Текст] / Р.А. Хамад // Програма 77-ї науково-технічної та науково-методичної конференції: програма наук.-техн. та наук.-метод. конф. ХНАДУ, 13–17 травня 2013 р. – Харків, 2013. – С. 39.

11. Хамад Р.А. Влияние содержания битума на долговечность асфальтобетона при одновременном действии нагрузки и жидких агрессивных сред: [Текст] / Р.А. Хамад // Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог: материалы междунар. науч.-техн. конф., Харьков, 14–15 ноября 2013 г. / ХНАДУ. – Харьков, 2013. – С. 298–304.

12. Хамад Р.А. Вплив добавок полімерів і ПАР на довговічність асфальтобетонів: [Текст] / Р.А. Хамад // Програма 78-ї науково-технічної та науково-методичної конференції: програма наук.-техн. та наук.-метод. конф. ХНАДУ, 13–17 травня 2014 р. – Харків, 2014. – С. 45.

## АНОТАЦІЯ

Хамад Рамі Арефович. Оцінка стійкості асфальто- і асфальтополімербетонів до рідких агресивних середовищ. – На правах рукопису.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, 2015.

У роботі виконано аналіз існуючих методів оцінки стійкості асфальтобетонів в рідких агресивних середовищах з точки зору їх прогностичності та відповідності реальним умовам експлуатації асфальтобетону в дорожньому покритті. Показано, що найбільш прийнятною схемою деформування для оцінки середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів є чистий вигин при одночасній дії напруження та агресивного середовища. Оцінку середостійкості асфальто- і асфальтополімербетонів різної міцності доцільно визначити при рівні напруженого стану в межах 0,1–0,2 від міцності при вигині.

Розглянуто показники середостійкості асфальтобетону при різних схемах деформування – стиску, непрямого розтягування по твірної і вигину. Співставленні показники середостійкості асфальтобетону (у: воді; 5 % розчині хлориду натрію, 2 % розчині сірчаної кислоти; дизельному паливі), що отримані за результатами визначення втрати міцності після попереднього витримання в середовищі та часу до руйнування в умовах одночасного впливу навантаження і середовища.

Вивчено закономірності зміни середостійкості асфальтобетону в залежності від вмісту і консистенції в'язучого, технології введення полімеру типу СБС і його вмісту в бітумі, наявності у в'язучому поверхнево-катіоноактивної речовини.

Результати дисертаційної роботи використані при розробленні затвердженого Укравтодором галузевого стандарту СОУ 42.1-37641918-086:2013 «Асфальтобетон дорожній. Метод визначення показника стійкості в агресивних середовищах».

Ключові слова: бітум, асфальтобетон, полімер, асфальтополімербетон, агресивне середовище, середостійкості, довговічність, рівень напруженого стану.

## АННОТАЦІЯ

Хамад Рами Арефович. Оценка устойчивости асфальто- и асфальтополимербетонов к жидким агрессивным средам. – На правах рукописи.

Диссертационная работа на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков, 2015.

На основе изучения научно-технической литературы выполнен анализ существующих методов оценки устойчивости асфальтобетонов в жидких агрессивных средах с точки зрения их прогностичности и соответствия реальным условиям эксплуатации асфальтобетона в дорожном покрытии. В работе были определены показатели средоустойчивости асфальтобетона при различных схемах деформирования – сжатие, не прямое растяжение по образующей и изгиб. Сопоставлены значения показателей средоустойчивости асфальтобетона (в: воде; 5 % растворе хлорида натрия; 2 % растворе серной кислоты; дизельном топливе), полученных по степени снижения прочности образцов, предварительно

выдержанных в среде, и по уменьшению времени до разрушения в условиях совместного воздействия нагрузки и среды.

Показано и теоретически обосновано, что наибольшую опасность для асфальтобетона представляет совместное воздействие жидких агрессивных сред и растягивающих напряжений. В соответствии с этим, наиболее приемлемой схемой испытания представляется чистый изгиб образцов балок, погруженных в агрессивную среду, под действием заданной (постоянной) нагрузки. При этом, в качестве показателя средоустойчивости принят коэффициент, определяемый как отношение времен до разрушения серии образцов в исследуемой среде и на воздухе. Его значения тем меньше, чем ниже величина постоянной нагрузки. Для объективной оценки средоустойчивости асфальто- и асфальтополимербетонов различной прочности целесообразно проводить испытания при одинаковых уровнях напряженного состояния, которые находятся в пределах 0,1–0,2 от прочности на изгиб.

Показана нецелесообразность использования стандартной схемы испытания, предусматривающей предварительное выдерживание образцов в среде, для определения устойчивости асфальтобетона к растворам солей и кислот, так как эти среды при длительном взаимодействии с асфальтобетоном могут приводить к увеличению его прочности за счет упрочнения битумного вяжущего.

Установлено, что количество битума, при котором достигаются максимальные показатели времени до разрушения асфальтобетона под нагрузкой на воздухе и в исследуемых средах, на 10–15 % выше оптимального его содержания, определенного по стандартным показателям прочности. В то же время показано, что избыточное содержание битума приводит к снижению устойчивости асфальтобетона по отношению к дизельному топливу.

Получены результаты относительно времени до разрушения при сопоставимых уровнях напряженного состояния асфальто- и асфальтополимербетонов на битумах и битумах, модифицированных полимером (БМП), различной консистенции. Они свидетельствуют, что эффективность полимера в отношении долговечности и средоустойчивости асфальтобетона повышается по мере снижения вязкости модифицируемого битума.

Установлено, что технология приготовления БМП с использованием масляного раствора полимера в отношении средоустойчивости асфальтополимербетонов менее эффективна, чем технология прямого введения полимера в битум. Показано, что топливоустойчивость асфальтополимербетона на основе БМП, приготовленного с применением раствора полимера в индустриальном масле И-40А, существенно ниже его аналога на БМП, полученного по технологии прямого введения полимера в битум. Совместное введение поверхностно-активного вещества и полимера приводит к синергетическому эффекту в отношении средоустойчивости асфальтополимербетона.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке утвержденного Государственной службой автомобильных дорог Украины

(Укравтодор) отраслевого стандарта СОУ 42.1-37641918-086:2013 «Асфальтобетон дорожный. Метод определения показателя устойчивости в агрессивных средах».

Ключевые слова: битум, асфальтобетон, полимер, асфальтополимербетон, агрессивная среда, средоустойчивость, долговечность, уровень напряженного состояния.

## ABSTRACT

Khamad R.A. Assessment of Asphalt Concretes and Polymer Modified Asphalt Concretes Resistance to Aggressive Liquid Environments. – Manuscript.

Dissertation work for scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 05.23.05 – building materials and products. – Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, 2015.

In this dissertation thesis we have analyzed available methods for assessing asphalt concretes (hereinafter referred to as asphalts) resistance to liquid aggressive environments in aspects of their prognostic ability and their compliance with real operating conditions of the road pavement. It has been shown that the most acceptable mode of deformation to assess asphalts and polymer modified asphalts (PMAs) corrosion resistance is pure bending. In this case, it is advisable to conduct testing experiments under the simultaneous action of the aggressive liquid environment. The assessment of the corrosion resistance of asphalts and PMAs with different strength is advisable to conduct when the level of loading corresponds to the range 0,1–0,2 of their strength at bending.

Indices of asphalt corrosion resistance under different modes of deformation were analyzed: compression, indirect tension, and bending. Indices of asphalt corrosion resistance in different liquid media (water; 5 % sodium chloride solution; 2 % sulfuric acid solution; diesel fuel) were compared with the data of resistance obtained as a result of strength loss after a prior treatment in aggressive environment, and with the data on the time of destruction under the influence of stress and environment.

We have studied asphalt concrete corrosion resistance dependence on binder quantity and consistency; on the technology of introduction of SBS polymer and its quantity into the bitumen; on the presence of cationic antistripping additive in bitumen and polymer modified bitumen.

The results of the dissertation work were used at the development of industry standard SOU 42.1-37641918-086:2013 «Road Asphalt Concrete. Method for Determination of Resistance to Aggressive Environments», which has been approved by the State Automobile Road Agency of Ukraine.

Keywords: bitumen, asphalt concrete, polymer, polymer modified asphalt concrete, aggressive liquid, corrosion resistance, durability, level of loading.