

це не призведе до зниження експлуатаційних якостей асфальтобетону та відповідності його умовам роботи дорожніх покриттів.

Поряд зі зростанням об'ємів використання модифікованих бітумів з поліпшеними властивостями та асфальтобетонів на їх основі, широке застосування в дорожній галузі гумової крихти дозволить значно покращити екологічну ситуацію.

Висновки

1. Ефективним способом утилізації зношених шин є використання гумової крихти для поліпшення властивостей бітумів та асфальтобетонів.

2. Гумова крихта підвищує в'язкість та теплостійкість бітумів, надає їм еластичності, поліпшує низькотемпературну поведінку та зменшує темпи старіння в'язучих.

3. Ефективність впливу гумової крихти на властивості бітумів залежить від способу отримання та розміру її часток.

Більш ефективною є гумова крихта, отримана механічним подрібненням (за термозсувною технологією) з полідисперсним гранулометричним складом з максимальним розміром часток до 2 мм.

4. Модифікація асфальтобетону може виконуватись двома способами:

- ▶ за рахунок використання бітуму, що вміщує гумову крихту («мокрый спосіб»);
- ▶ шляхом введення гумової крихти безпосередньо в суміш підчас її приготування («сухий спосіб»).

«Мокрий спосіб» модифікації асфальтобетону більш ефективний, «сухий спосіб» — більш простий та економічний.

5. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на зниження вартості модифікованого бітуму за рахунок часткової заміни вузькоспеціалізованих добавок дешевою гумовою крихтою.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 11501-78 Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы (Битумы нафтові. Метод визначення глибини проникності голки).
2. ГОСТ 11506-73 Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару (Битумы нафтові. Метод визначення температури розм'якшеності за кільцем і кулею).
3. ДСТУ Б В.2.7-135:2014 Битуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови.
4. ГОСТ 11507-78 Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу (Битуми нафтові. Метод визначення температури крихкості за Фраасом).
5. ГОСТ 18180-72 (СТ СЭВ 4583-83) Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева (Битуми нафтові. Метод визначення зміни маси після прогріття).
6. ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801-98) Будівельні матеріали. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань.
7. ДСТУ Б В.2.7-310:2016 Битуми дорожні, модифіковані гумовою крихтою. Технічні умови.
8. ДСТУ 4044-2001 Битуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови.
9. СОУ 45.2-00018112-069:2011 Будівельні матеріали. Битуми нафтові дорожні в'язкі дистиляційні. Технічні умови.

УДК 624.21

- © Коваль П. М., канд. техн. наук, професор (НАОМА), академік ТАУ;
 © Оксень Є. І., докт. техн. наук., завідувач відділу штучних споруд;
 © Полюга Р. І., канд. техн. наук, провідний науковий співробітник;
 © Стоянович С. В., канд. техн. наук, науковий співробітник;
 © Ковальчик Я. І., канд. техн. наук, науковий співробітник;
 © Нечипоренко М. В., науковий співробітник (ДП «ДерждорНД»)

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ МОСТА ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Анотація. Приведені результати досліджень конструкцій прогонової будови моста після тривалої експлуатації. Проведені дослідження базуються на традиційних тензометричних методах та з застосуванням сучасних методів акустичної та віброакустичної емісії.

Аннотация. Приведены результаты исследований конструкций пролетного строения моста после длительной эксплуатации. Проведенные исследования базируются на традиционных тензометрических методах и с применением современных методов акустической и виброакустической эмиссии.

Abstract. The results of research constructions span bridge after prolonged use. The research is based on traditional methods of strain and using modern methods of acoustic and vibroacoustic emissions.

Вступ

На автомобільних дорогах України більшість мостів побудована із залізобетону. Особливо багато транспортних споруд зведено в 60 — 90 роках ХХ століття, коли була сформована сітка автодоріг нашої держави. Переважно прогонові будови цих мостів влаштовувались із попередньо напружених збірних залізобетонних балок та плит з натягом арматури на упори. Для мостів з прогонами 6, 12, 15, і 18 м часто використовувались двопустотні попередньо напружені залізобетонні плити. Ці плити по довжині з'єднуються між собою бетонними шпонками. Такі прогонові будови мають значні особливості в роботі, особливо при дії циклічних навантажень, зростанні інтенсивності та ваги транспортних засобів. Тому забезпечення надійної і безпечної експлуатації прогонових будов із збірних попередньо напружених плит є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Роки експлуатації мостів зі збірних плит, об'єднаних шпоночними з'єднаннями, виявили ряд недоліків таких конструкцій [1]. Обстеження та випробування таких споруд показали, що велика кількість поздовжніх стиків не забезпечує надійної сумісної

роботи окремих елементів, внаслідок чого деякі плити знають перевантажень. Шпоночні з'єднання в процесі експлуатації руйнуються, через дефектні стики просочується вода з проїзної частини, яка спричиняє корозію бетону і арматури.

У роботі [2] звертається увага на те, що для безаварійної експлуатації та стратегічного планування ремонту та реконструкції споруд зростає потреба в уточненні оцінки технічного стану їх елементів, в розширенні досліджень з прогнозування залишкового ресурсу конструкцій.

Метою досліджень є встановлення технічного стану прогонової будови моста із попередньо напружених двопустотних плит та визначення можливості його подальшої експлуатації.

Методика досліджень. Міст через р. Говтва розташований на км 173+688 автомобільної дороги Р-52 Дніпропетровськ — Царичанка — Кобеляки — Решетилівка. Рік побудови моста — 1987 р. (рис. 1). Прогонові будови збірні залізобетонні із плит з поздовжніми пустотами циліндричної форми, виконані відповідно до типового проекту серії 3.503-12.

Технічні параметри моста:

- ▶ довжина моста 55,0 м;
- ▶ габарит по ширині 8,40+2×1,05 м;
- ▶ поздовжня схема моста 3×18,0 м;
- ▶ статична схема — розрізна;
- ▶ прогонова будова — збірна залізобетонна в поперечному напрямку із 10-ти попередньо напружених двопустотних плит об'єднаних поздовжніми шпонками;
- ▶ опори — двохрядні опори стійкові з забивних паль, об'єднаних поверху насадкою;
- ▶ розрахункові навантаження на міст — НК-80, А-11.

В результаті обстеження моста були виявлені дефекти прогонових будов та опор, що знижують надійність споруди та її довговічність, а також дефекти, що знижують вантажопідйомність елементів моста.

Внаслідок погіршення технічного стану моста виникла необхідність у проведенні досліджень його несних конструкцій для визначення їх фактичних характеристик міцності і деформативності, вантажопідйомності та призначення режиму експлуатації споруди.

Для оцінки ступеня небезпеки дефектів, швидкості їх росту, а також прогнозування їх подальшого розвитку були застосовані як традиційні методи так і більш сучасні, метод акустичної емісії та віброакустичної емісії.

Випробування моста виконували згідно вимог діючих нормативних документів [3, 4, 5]. В якості випробувального навантаження використовували два завантажені автомобілі марки КрАЗ вагою 26,0 т. кожен. Загальна вага випробувального навантаження становила 52,0 т.

Відповідно до мети досліджень було реалізовано шість схем навантаження прогонових будов (рис. 2):

- ▶ Схема №1 — несиметричне завантаження прогону 2-3: встановлення одного автомобіля біля правого тротуару з верхової сторони на відстані 2,5 м від середини прогону до задньої осі автомобіля (рис. 2, а);



Рис. 1. Загальний вигляд моста



Рис. 2. Загальний вигляд розміщення навантаження: а) схема №1, б) схема №4



Рис. 3. Обладнання для проведення випробувань прогонової будови моста: а) розташування перетворювачів ПАЕ та ПВАЕ на поверхні плити, де 1 — перетворювач віброакустичної емісії (ПВАЕ), 2 — перетворювач акустичної емісії (ПАЕ); б) обладнання для реєстрації віброакустичних сигналів

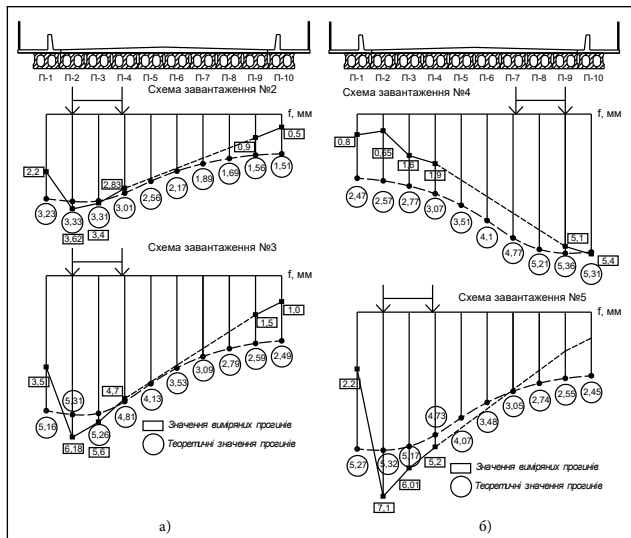


Рис. 4. Результати випробувань моста: а) схеми №2 та №3, б) схеми №4 та №5

- Схема №2 — несиметричне завантаження прогону 2-3: встановлення одного автомобіля біля правого тротуару (крайня вісь автомобіля по центру прогону будови);
- Схема №3 — несиметричне завантаження прогону 2-3: встановлення двох автомобілів біля правого тротуару (створення максимального згинального моменту в середині прогону 2-3);
- Схема №4 — несиметричне завантаження прогону 2-3: встановлення двох автомобілів біля лівого тротуару (створення максимального згинального моменту в середині прогону 2-3) (рис. 2, б);
- Схема №5 — несиметричне завантаження прогону 0-1: встановлення двох автомобілів біля правого тротуару (створення максимального згинального моменту в середині прогону 0-1).

Під час статичних випробувань виконувалися такі заміри:

- прогинів (вертикальних переміщень) — посередині прогону 2-3 плит П-1, П-2, П-3, П-4, П-9, П-10 механічними барабанно-шестерневими прогиномірами з дрютяним зв'язком системи Аістова ПАО-6 та Максимова;
- сигналів акустичної емісії в плиті П-2 прогону 2-3 за допомогою програмно-технічним комплексом «АКЕМ» на базі персонального комп'ютера з використанням технології «PCLabCard».

Для виявлення впливу динамічного навантаження від реального руху транспортних засобів на стан плит моста та визначення впливу стану плит на частоту їх власних коливань проведені динамічні випробування. Динамічне навантаження створювалось реальним рухом транспортних засобів. Для реєстрації та аналізу динамічних характеристик прогону будови моста використовувались перетворювачі віброакустичної емісії (ПВАЕ) типу ММА7341L — MEMS (мікроелектронна механічна система), що на виході формують аналоговий сигнал по нарузі пропорційний прискоренню точки його кріплення (рис. 3, а, б).

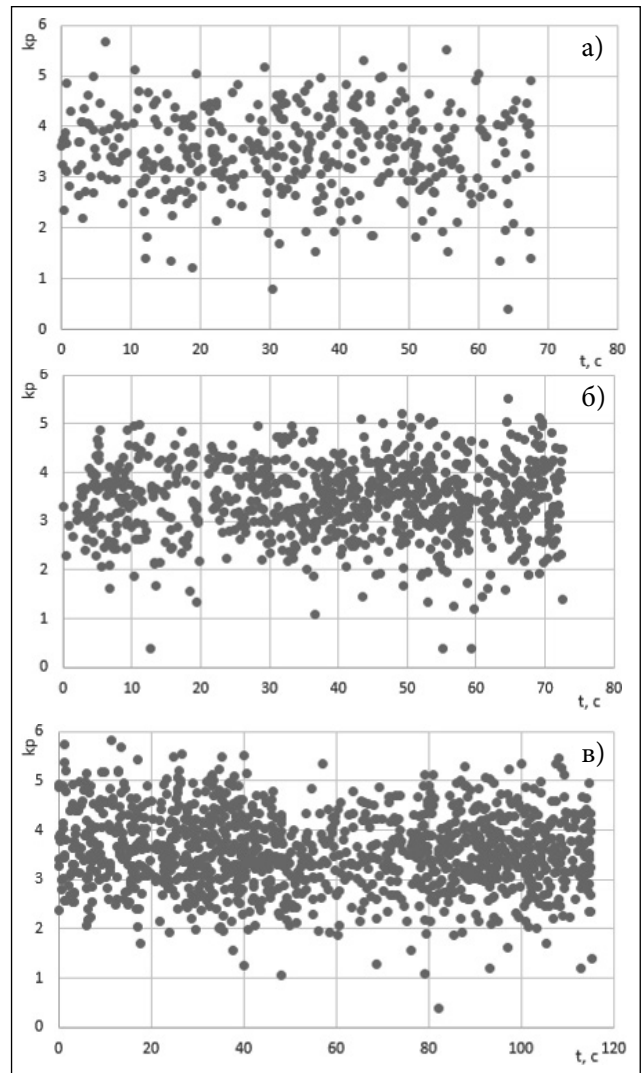


Рис. 5. Зміна коефіцієнту K_p сигналів АЕ зафіксованих ПАЕ-1 при випробуванні прогону будови за схемами №1, №2, №3

а) тимчасове навантаження 8,34 тм (схема №1); б) тимчасове навантаження 13,9 тм (схема №2); в) тимчасове навантаження 21 тм (схема №3).

ПВАЕ при динамічних випробуваннях встановлювались по середині прогону 2-3 на нижній поверхні плит проїзної частині. Утримання ПВАЕ на поверхні плит здійснювалось за рахунок дії магнітних сил між неодимовим магнітом корпусу перетворювача та сталевую арматури крізь захисний шар бетону. Динамічні випробування проводились шляхом встановлення та порівняння віброакустичних характеристик і значень власних частот коливання двох плит, з яких одна знаходиться в працездатному стані, а друга потребує визначення стану внаслідок пошкоджень, дефектів та залишкових деформацій. Динамічні дослідження проводились для встановлення стану плити П-2 в прогоні 2-3, яка на момент випробувань мала залишкові деформації прогину та дефекти з'єднання з суміжними плитами. В якості працездатної прийнята плита П-8 цього ж прогону, оскільки вона за попереднім зовнішнім оглядом з ознак відсутності зовнішніх тріщин та відхилень від площин-

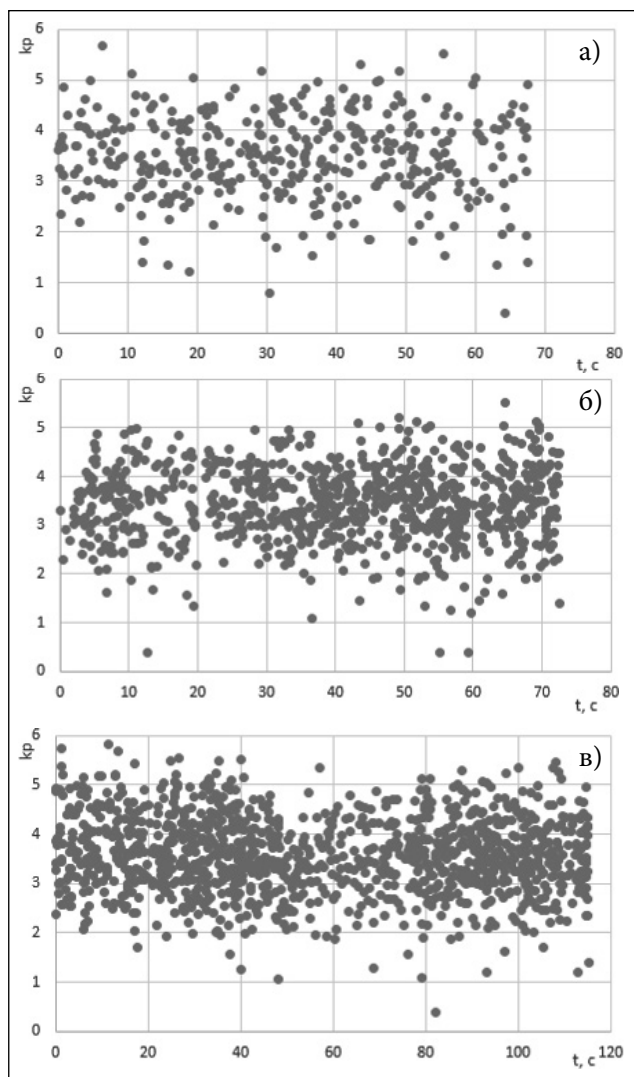


Рис. 5. Зміна коефіцієнту K_p сигналів АЕ зафіксованих ПАЕ-1 при випробуванні прогонової будови за схемами №1, №2, №3: а) тимчасове навантаження 8,34 тм (схема №1); б) тимчасове навантаження 13,9 тм (схема №2); в) тимчасове навантаження 21 тм (схема №3).

ної форми граней та від прямолінійної форми ребер була віднесена до 2 (другого) експлуатаційного стану.

Результати дослідження несних конструкцій моста. В результаті статичних випробувань прогонових будов моста були визначені прогини плит, а також зареєстровані сигнали акустичної емісії.

Для порівняння та аналізу отриманих під час випробування прогинів плит були виконані теоретичні розрахунки прогонової будови моста при дії випробувального навантаження за допомогою ПК «Ліра».

На **рис. 4** наведені графіки зміни вимірних та теоретичних значень прогинів плит в поперечному напрямку прогонових будов при відповідних схемах навантаження.

На основі порівняння значень вимірних та теоретичних прогинів плит було визначено значення конструктивного коефіцієнта K , згідно СОУ 45.2-00018112 воно повинно знаходитись в межах 0,7 — 1,0. Експериментальне значення конструктивного коефіцієнта K пе-

Таблиця 1
Динамічні параметри плит П-2 і П-8 прогону 2-3

Найменування	Одиниця вимірювання	Плита №	
		П-2	П-8
Коефіцієнт віброакустичної характеристики, K_{ya}	–	3,29	0
Власна частота коливань прогину повздовж вертикальної осі, V_v	Гц	10,681	11,296

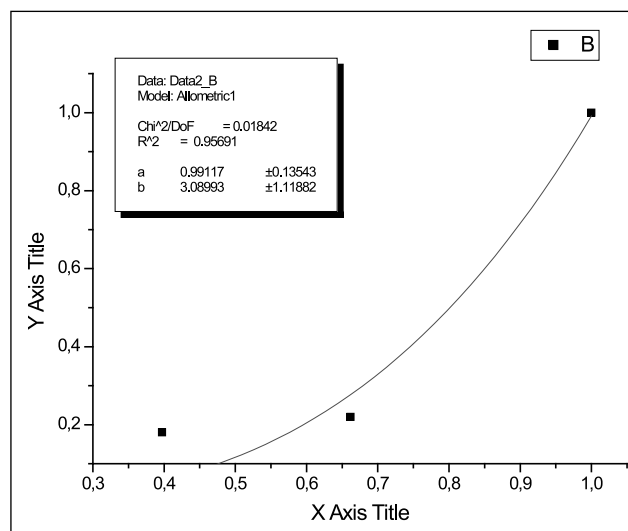


Рис. 6. Залежність нагромадження енергії сигналів АЕ зафіксованих ПАЕ-1 від навантаження в циклі для схем №1, №2, №3

ревищує 1, що свідчить про відсутність у споруди її елементів резервів несної здатності, що може бути наслідком порушення спільної роботи плит прогонових будов. Це підтвердило результати попереднього обстеження конструкцій прогонових будов моста, де були виявлені дефекти, що свідчили про зміну роботи прогонових будов в поперечному напрямку.

Одним з критеріїв оцінки моста за результатами статичних випробувань, згідно з СОУ 45.2-00018112-044, є співвідношення вимірних пружних і залишкових прогинів, що виражається показником роботи конструкції α . Значення показника роботи конструкції α для металевих та залізобетонних мостів, що знаходяться в експлуатації може досягати 0,05. Експериментальне значення показника роботи конструкції α при схемах завантаження №3 та №5 для частини плит приймає значення більше 0,05, що свідчить про незадовільну роботу прогонових будов споруди.

Дослідження сигналів акустичної емісії виконувалися для плити П-2 прогону 2-3.

Обробка критеріальної оцінки виявлення сигналів АЕ від тріщин проводилася відповідно за коефіцієнтом K_p [5]. Результати обробки критеріальної оцінки K_p показали, що при навантаженні прогонових будов моста за прийнятими схемами завантаження фіксуються сиг-

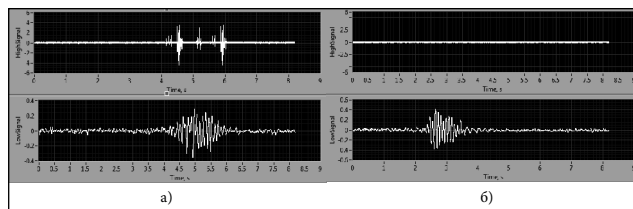


Рис. 7. Залежність нагромадження енергії сигналів АЕ зафіксованих ПАЕ-1 від навантаження в циклі для схем №1, №2, №3: а) плита П-2; б) плита П-8

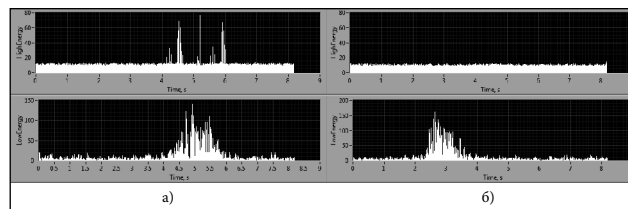


Рис. 8. Характер зміни енергії віброакустичних сигналів під час проїзду транспортного засобу: а) плита П-2; б) плита П-8

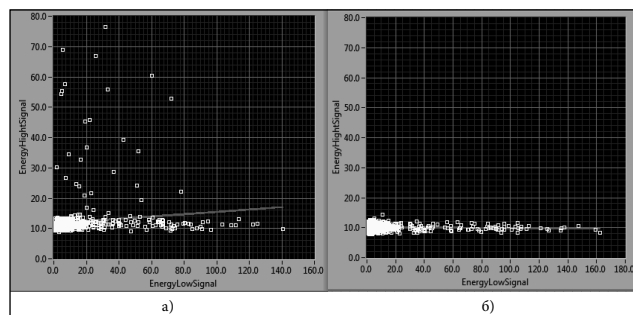


Рис. 9. Віброакустичні характеристики плит: а) плита П-2; б) плита П-8

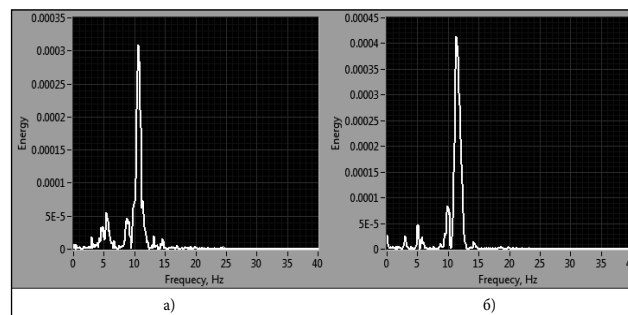


Рис. 10. Амплітудно-частотні характеристики плит

нали АЕ від розвитку мікротріщин ($K_p > 5,5$). На рис. 5 представлено зміну коефіцієнту K_p сигналів АЕ, зафіксованих ПАЕ-1 при схемах завантаження №1, №2, №3.

Оцінку небезпеки процесів, що відбуваються в структурі матеріалів при навантаженні прогонової будови моста за схемами №1, №2, №3 здійснювали шляхом аналізу кінетики розвитку випромінювання АЕ з використанням спільного аналізу даних, отриманих при всіх схемах завантаження [5].

Результат проведеної обробки даних випромінювання АЕ показав, що починаючи з 11 секунди існує залежність між рівнем навантаження і накопиченою енергією сигналів АЕ, що приведена на рис. 6.

Значення показника степені $b > 3$ (рис. 6), тобто при навантаженні прогонової будови моста за схемами завантаження №1, №2, №3 дефекти в структурі матеріалу є небезпечними і розвиваються.

Динамічні випробування моста проводились шляхом встановлення та порівняння віброакустичних характеристик і значень власних частот коливання плити П-2 та плити П-8 прогону 2-3 під дією експлуатаційного навантаження — рухомих транспортних засобів.

Під час досліджень здійснювалась реєстрація вібраційного (низькочастотного) та акустичного (високочастотного) сигналів, що утворюються в плитах внаслідок динамічного навантаження від реального (експлуатаційного) руху транспортних засобів. Приклади віброакустичних сигналів, що зафіксовані в плитах П-2 і П-8, наведено на рис. 7. Розмірність сигналів на діаграмах вказана в « M/c^2 », розмірність часу — «с».

Загальний вигляд діаграм зміни енергій вібраційного та акустичного сигналів під час проїзду транспортного засобу відповідно до діаграм на рис. 7 приведено на рис. 8. Розмірність енергії коливань на діаграмах вказана в « M/c^2 ».

З діаграм енергії коливань, шляхом виключення параметра часу, для плит П-2 та П-8 побудовані віброакустичні характеристики, що наведені у вигляді окремих експериментальних точок та узагальнюючих апроксимуючих лінійних залежностей (рис. 9).

Для плит П-2 та П-8 також були розраховані та побудовані амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) (рис. 10).

Встановлені значення динамічних параметрів плит наведено в табл. 1.

Результати проведених досліджень показують, що при динамічних навантаженнях моста потоком рухомих транспортних засобів:

- ▶ на плиті П-2 фіксується випромінювання акустичної енергії так, що коефіцієнт віброакустичної характеристики K_{va} складає значення 3,29;
- ▶ після проїзду транспортних засобів плита здійснює вільні затухаючі коливання, частота коливань повздовж вертикальної вісі V_v яких складає 10,296 Гц.

Наявність цих двох ознак та порівняння динамічних параметрів плит П-2 і П-8 (плита П-8 при проїзді транспортних засобів випромінює акустичної енергії з величиною, яка може бути зареєстрована) вказує на те, плита П-2 має значні пошкодження, що постійно розвиваються під час руху потоку транспортних засобів. Зменшення власної частоти коливань прогину повздовж вертикальної вісі плити П-2 на 5,46% вказує на втрату міцності, а також на втрату об'єднання з суміжними плитами.

Висновки

За результатами досліджень конструкції моста було встановлено значне порушення спільної роботи плит прогонової будови. Визначено, що дефекти в структурі матеріалу прогонових будов є небезпечними та мають тенденцію до розвитку і при підвищенні рівня наван-

таження збільшуються. В результаті цього знижується вантажопідйомність споруди та її довговічність.

У цілому міст перебуває в непрацездатному експлуатаційному стані (стан 5).

ЛІТЕРАТУРА

1. Мости: конструкції та надійність / Лучко Й. Й., Коваль П. М., Корнієв М. М. [та ін.] — Лівів: Каменярь, 2005. — 989 с.
2. Лантух-Лященко А. І. До визначення граничного стану прогонових будов автодорожніх мостів / А. І. Лантух-Лященко, К. В. Медведєв // Мости та тунелі: Теорія, дослідження, практика. — Дніпропетровськ: Вид-во ФОР Удовиченко О. М., 2012. — Вип. 3. — С. 101-105.
3. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування: ДБН В.2.3-6:2009 — [Чинний від 2009-03-01] — К.: ДП «ДерждорНДІ», 2009. — 54с. — (Державні будівельні норми).
4. Споруди транспорту. Статичні випробування автодорожніх мостів: СОУ 45.2-00018112-044:2009 — [Чинний від 2009-11-05] — К.: ДП «ДерждорНДІ», 2009. — 11с. — (Стандарт організації України).
5. МВ 218-03450778-240-2004 Метод акустико-емісійного діагностування технічного стану мостів при статичних випробуваннях.

УДК 624.21

© Коваль П. М., канд. техн. наук, професор, академік ТАУ;
© Ковальчик Я. І., канд. техн. наук, ст. викладач (НАОМА)

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТІВ ЗА КРИТЕРІЯМИ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ, ЯКІ ОТРИМАНІ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Анотація. У статті представлено аналіз результатів випробування та обстеження залізобетонних прогонових будов мостів різних типів за критеріями тріщиностійкості, які отримані методом акустичної емісії. Наведені рекомендації з використання різних типів залізобетонних прогонових будов на дорогах I категорії.

Ключові слова: залізобетонний міст, натурні випробування, критерій тріщиностійкості, строк служби, метод акустичної емісії, довговічність.

Аннотация. В статье представлен анализ результатов испытания и обследования железобетонных пролетных строений мостов различных типов по критериям трещиностойкости, полученных методом акустической эмиссии. Приведенные рекомендации по использованию различных типов железобетонных пролетных строений на дорогах I категории.

Ключевые слова: железобетонный мост, натурные испытания, критерий трещиностойкости, срок службы, метод акустической эмиссии, долговечность.

Annotation. The article presents the analysis of test and inspection of reinforced concrete bridge spans various types by acoustic emission crack resistance criteria. Recommendations of using of different types of reinforced concrete spans on the highways are presented.

Keywords: concrete bridge, full-scale test, criteria fracture, lifetime, method of acoustic emission durability.

Вступ

Згідно вимог державних будівельних норм [1] проектний строк служби (довговічність) залізобетонних мостів повинен становити: для монолітних — 100 років; збірно-монолітних — 80 років, збірних — 70 років. Але дані аналітичної експертної системи управління станом мостів (АЕСУМ), які базуються на обстеженні автодорожніх мостів при паспортизації, свідчать, що серед 13 547 залізобетонних мостів, які не досягли 80 років експлуатації, 3 386 або 25% перебувають у стані 4 (обмежено справні), 135 або 1% — у стані 5 (аварійні).

Як свідчать висновки різних дослідників [2], однією із основних причин деградації несних конструкцій залізобетонних елементів є виникнення і розвиток у них тріщин.

Варто відмітити, що регламентація проектних строків служби залізобетонних мостів не враховує вид армування прогонових будов — зі звичайним або попередньо напруженим. Оскільки вид армування суттєво впливає на тріщиностійкість елементів, а від тріщиностійкості залежить довговічність мостів, треба дослідити цю проблему експериментальним шляхом на натурних об'єктах.

Мета даної роботи — провести аналіз тріщиноутворення при випробуванні залізобетонних прогонових будов з різними типами армування за критеріями тріщиностійкості, які отримані методом акустичної емісії та дослідити тенденцію їх розвитку при експлуатації споруд.

Для аналізу впливу виду армування на тріщиностійкість залізобетонних прогонових будов мостів були виконані натурні випробування різних типів прогонових будов