

Запропоновано удосконалення до методики інженерного розрахунку міцності похилих перерізів та прогинів сталобетонних балок за СНиП 2.03.01-84\* враховують вплив жорстких торцевих упорів.

Запропонована фізична модель роботи сталобетонних елементів під дією поперечних сил у вигляді дисково-зв'язкової системи пояснює фізичну суть роботи таких елементів під навантаженням. Фізична модель дає змогу змоделювати саме ті причини вичерпування несучої здатності окремих елементів сталобетонних конструкцій, що призводять до їхнього руйнування.

1. Клименко Ф.Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием. – К.: Будівельник, 1984. – 88 с. 2. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Фамуляк Ю.Є. Міцність сталобетонних балок без торцевих упорів та з упорами різної потужності // Вісн. ЛДАУ. – Львів, 2000. – С. 132–136. 3. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Фамуляк Ю.Є. Сталобетонні конструкції з жорсткими торцевими анкерами // Будівництво України. – 2003. – № 5. – С. 23–28. 4. Фамуляк Ю.Є., Мазурак А.В., Волинець М.Е. Вплив жорстких анкерних зв'язків зовнішньої арматури сталобетонних балок на їх міцність і жорсткість // Зб. матеріал. конф. “25 років сталобетонних конструкцій з зовнішнім армуванням”. – Львів, 1996. – С. 109–112. 5. Фамуляк Ю.Є. Розвиток зсувів між стрічковою арматурою і бетоном в сталобетонних балках з торцевими упорами // Вісн. ЛДАУ. – Львів, 2002. – С. 75–79. 6. Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. – К.: Будівельник, 1989. – 105 с.

УДК 624.012.35:620.179.17

П.М. Коваль, П.М. Сташук  
Державний дорожній науково-  
дослідний інститут імені М.П. Шульгіна  
03113, м. Київ, пр. Перемоги, 57

## МОНІТОРИНГ ТРИЩИНОУТВОРЕННЯ У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТА ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

© Коваль П.М., Сташук П.М., 2007

Наведено результати досліджень залізобетонних конструкцій прогонових будов естакади, що зазнала вогневого впливу, біля станції метро “Шулявська” в м. Києві із використанням методу акустичної емісії. На підставі виконаних досліджень надано рекомендації з обмеженої експлуатації споруди.

The results of the researches using acoustic emission method of bridge superstructures near the Shulavska underground station in the city of Kyiv are represented. On the basis of these investigation the recommendations of limited exploitation of the bridge structures are given.

**Постановка проблеми.** Підвищення надійності та довговічності мостів на автомобільних дорогах в Україні внаслідок збільшення транспортних потоків стає все актуальнішим. Одним із перспективних методів у прогнозуванні ресурсу та визначенні технічного стану конструкцій і споруд є методи механіки руйнування, але застосування цих методів потребує знання координат розташування дефекту, його форми і розмірів, знання напруженого стану і механічних властивостей матеріалу в області дефекту. Тому використання методів механіки руйнування в натурних складних конструкціях, якими є автодорожні мости, є дещо ускладнене. Найдоцільніше використання методів, які реагують на активізацію того або іншого дефекту за супутніми ознаками, наприклад, за

випромінюванням пружних хвиль, викликаних переміщеннями дислокацій, появою їхніх небезпечних концентрацій у якому-небудь місці конструкції, виникненням і розвитком тріщин. До цієї групи необхідно передовсім зарахувати метод акустичної емісії (АЕ).

Метод АЕ є одним з найінформативніших і найперспективніших методів дослідження і неруйнівного контролю будівельних конструкцій. В останні роки в Україні його активно починають використовувати і при дослідженні мостів. Акустична емісія [1–3] – це явище, що полягає у випромінюванні пружних коливань в твердих тілах при їхньому деформуванні. Основними джерелами АЕ вважають ковзання, руйнування в кристалах та їхніх скупченнях, тертя поверхонь розриву одна до одної, рух дислокацій і зламів, релаксації пружної матриці при русі дислокацій, розвиток тріщин. Необхідною умовою здійснення АЕ діагностування мостів [4, 5] є створення навантаження на випробовувану споруду, котре ініціює в матеріалі досліджуваного об'єкта активність джерел АЕ (тріщин). Метою АЕ діагностування є виявлення, визначення координат та спостереження (моніторинг) за розвитком джерел АЕ, що пов'язані із розвитком тріщин у досліджуваних конструкціях автодорожніх мостів. У разі виявлення у конструкції дефектів метод АЕ може бути використаним для спостереження за їхнім розвитком. Метод АЕ може також бути використаним для оцінки швидкості розвитку дефектів для завчасного припинення випробування і запобігання руйнуванню споруди, а також для оцінки впливу на вантажопідйомність моста дефектів та пошкоджень в елементах конструкції.

Характерні особливості методу АЕ, які визначають його можливості у виконанні технічної діагностики мостів, такі:

- метод забезпечує знаходження та реєстрацію тільки тих дефектів, які розвиваються, що дає змогу класифікувати їх не за розміром, а за ступенем їхньої небезпеки;
- у промислових умовах метод дає змогу виявляти приріст тріщини на десяті частки міліметра. Згідно з теоретичними розрахунками можлива фіксація приросту тріщин у матеріалі, при дії на нього зовнішніх навантажень близько  $10^{-6}$  мм<sup>2</sup>, що вказує на високу чутливість методу;
- метод інтегральний і забезпечує контроль всього об'єкта з використанням одного або декількох перетворювачів, що нерухомо закріплені на конструкції;
- метод уможлиблює контроль технологічних процесів виробництва та зміни властивостей матеріалів;
- розташування та орієнтація дефектів не впливають на їхнє виявлення;
- метод має значно менше обмежень, зв'язаних із структурою й властивостями матеріалів, ніж інші методи неруйнівного контролю.

Наведені властивості методу АЕ уможлиблюють його ефективне його використання для спостереження за процесами тріщиноутворення конструкцій автодорожніх мостів. Визначальним у цій задачі є правильний вибір критеріїв оцінки стану конструкцій за сигналами АЕ.

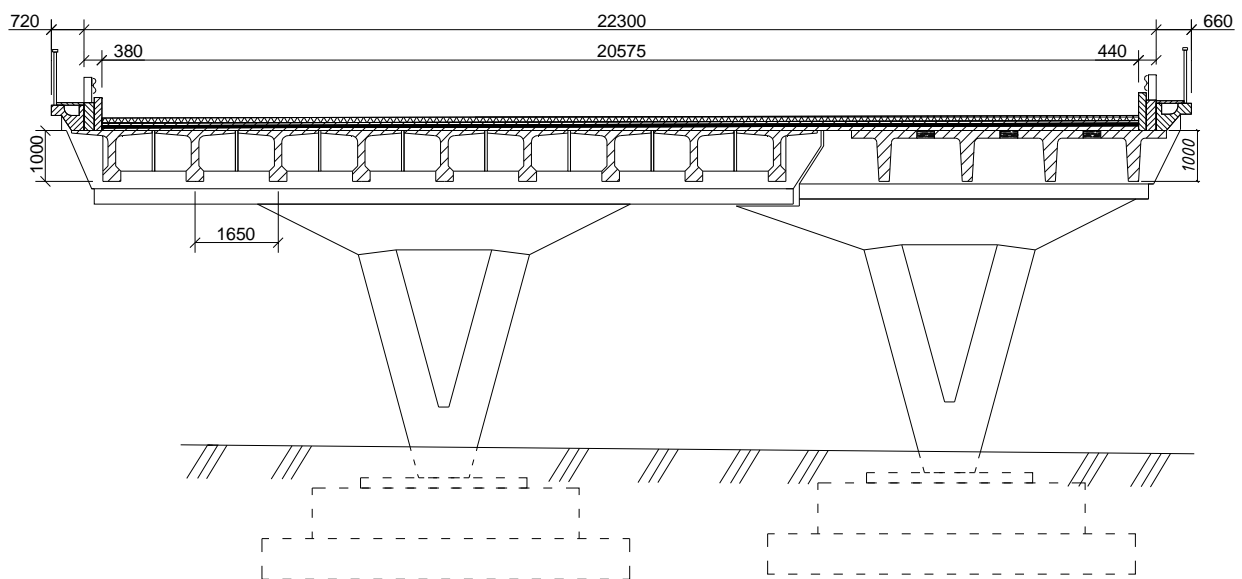
**Експериментальні дослідження.** Естакада біля станції метро “Шулявська” в м. Києві збудована у 1964 р. Спеціальне обстеження частини естакади, що зазнала вогневого впливу, виконане працівниками Державного дорожнього науково-дослідного інституту імені М.П. Шульгіна у квітні 2007 року. Виконання досліджень зумовлено погіршенням технічного стану прогонів 14-15, 15-16, 16-17 в результаті вогневого впливу на них через пожежу (рис. 1).

Естакада складається з 17 прогонів розрізної системи. В 1986 р. була здійснена реконструкція споруди в прогонах 6–12 з розширенням габариту до 20,15 м та влаштуванням додаткових з'їздів, які виконані у вигляді пандусів. Схема естакади – балочна розрізна 17×16,76. Довжина естакади з урахуванням довжини підпірних стінок підходів – 408,9 м. Габарит проїзної частини в прогонах 0–6 та 16–17 – Г-13,8 + 2×0,75 м, у прогонах 6–16 – Г-20,1+0,75+1,0 м. Прогони естакади перекриті балковими розрізними прогоновими будовами із збірного залізобетону (рис. 2). У семи прогонах старої частини естакади – від опори Оп 0 до опори Оп 7 – прогонові будови мають в поперечному перерізі 11 залізобетонних діафрагмових балок з каркасною арматурою, виготовлених за типовим проектом “Союздорпроекту” випуск 56. В інших прогонах старої частини прогонові будови

складаються в поперечнику з 9 попередньо напружених діафрагмових балок, виготовлених за типовим проектом “Союздорпроекту” випуск 122–62. Розширення прогонових будов у прогонах 6–16 виконано з використанням чотирьох залізобетонних бездіафрагмових балок з каркасною арматурою, виготовлених за типовим проектом “Союздорпроекту” випуск 56 – доповнення. Фасадні балки старої частини естакади в прогонах 0–7 мають декоративні поширення нижньої частини ребер подібно попередньо напруженим балкам в інших прогонах. Конструкція дорожнього полотна на естакаді складається з залізобетонної плити проїзної частини, стічного трикутника, гідроізоляції, захисного шару бетону та асфальтобетонного покриття. Проміжні опори естакади “V” – подібні зі збірного залізобетону індивідуального проектування. Ригелі проміжних опор розвинуті на всю висоту балок прогонової будови та складені з двох частин з поздовжнім зазором між ними. Опорні частини на всіх опорах, крім стоянів – металеві тангенційного типу. Деформаційні шви на естакаді закритого типу.



*Рис. 1. Естакада біля станції метро “Шулявська” після пожежі*



*Рис.2. Поперечний переріз прогонової будови 14–15*

Щоб оцінити вплив дефектів на несучу здатність конструкцій естакади, було виконано статичні та динамічні випробування. Враховуючи характер дефектів прогонових конструкцій, було прийняте рішення про зменшення рівня випробувального навантаження. Випробувальним навантаженням були три завантажені баластом автомобілі марки МАЗ та п'ять спецавтомобілів “водовозів”. Загальна вага випробувального навантаження становила 1016 кН.

Враховуючи тривалість пожежі (85–94 хв), характер пошкоджень бетону опор та прогонових будов, та такі зовнішні ознаки, як вигорання сажі та зміна кольору бетону, можливо припускати, що поверхневі шари конструкцій в зоні пожежі були місцями нагріті до температури вище за 900° С. Наявність термічної ерозії та зміни кольору бетону на глибині більше ніж 50 мм в нижніх поясах балок прогонових будов дає змогу стверджувати, що попередньо напружена арматура балок була нагріта до 500 °С [6].

Результати статичних випробувань прогонових будов свідчать про забезпечення просторової роботи конструкцій прогонових будов. Значення прогинів балок з попередньо напруженою арматурою в прогонах 14–15 і 15–16 порівняно із аналогічними конструкціями, не пошкодженими пожежею [7], є більшими на 20 % (прогін 14–15) та 32 % (прогін 15–16). Значення прогинів балок з попередньо напруженою арматурою в прогоні 13–14 співмірні із прогинами аналогічних конструкцій, не пошкоджених пожежею [7].

Реєстрація та оброблення сигналів акустичної емісії (АЕ) здійснювалися з використанням програмно-технічних комплексів “АКЕМ” (рис. 3).



Рис. 3. Програмно-технічний комплекс “АКЕМ”

Реєстрація та аналіз сигналів АЕ під час статичних випробувань здійснювались із моменту зупинки автомобілів в місцях, визначених схемами випробувань. Інформація реєструвалась протягом 30 с. Обробка критеріальної оцінки виявлення сигналів АЕ від розвитку тріщин виконувалась за коефіцієнтом  $K_p$ . Згідно з теоретичними положеннями параметр  $K_p$  характеризує ступінь зміни густини енергії в зареєстрованому сигналі АЕ та використовується для виявлення сигналів від тріщин [8–10]. Для його визначення використовують формулу:

$$K_{pj} = \lg(E_{cj}/\tau_j^2), \quad (1)$$

де  $E_{cj}$  – енергія від  $j$ -го зареєстрованого сигналу АЕ;  $\tau_j$  – тривалість зареєстрованого сигналу АЕ.

Оцінка небезпеки руйнування [9, 10], що відбуваються в структурі матеріалів об'єктів при навантаженні, здійснюється за аналізом кінетики розвитку випромінювання АЕ з використанням спільного аналізу даних, отриманих на етапах витримки під навантаженням. Для порівняння та узагальнення результатів, незалежних від розмірності аналізованих параметрів, використовують їхню формалізацію із нормуванням шкал до одиничної:

$$\bar{E}_H = f(\bar{P}) \quad (2)$$

де

$$\bar{E}_H = E_i / E_{i\max};$$
$$\bar{P} = P_i / P_{i\max};$$

$E_i$  – значення накопичення енергії сигналів АЕ під час витримки на ступенях навантаження у вибраному часовому перерізі;  $P_i$  – значення навантаження на досліджуваний об'єкт;  $E_{i\max}$  – максимальне значення накопичення енергії сигналів АЕ під час витримки під навантаженням на ступенях у вибраному часовому перерізі;  $P_{i\max}$  – максимальне значення навантаження на об'єкт дослідження під час випробування. Здійснення аналізу із апроксимацією експериментальних даних відповідно до попередньо описаного виконують за формою:

$$\bar{E}_H = a\bar{P}^b, \text{ при } t_i = \text{const}, \quad (3)$$

де  $a, b$  – константи;  $t_i$  – часовий переріз реєстрації сигналів АЕ.

Абсолютне значення показника степеня  $b < 3$  свідчить, що дефекти, котрі розвиваються в структурі матеріалу, не є небезпечними. За значення показника степеня  $b \geq 3$  розвиток дефектів є небезпечним.

При навантаженні прогонових будов естакади за прийнятими схемами завантаження у їхніх конструкціях фіксуються сигнали акустичної емісії від розвитку мікротріщин. При завантаженні прогонової будови 14–15 відбувається критичний розвиток дефектів на мікрорівні (рис.4), і у разі перевищення тимчасового навантаження над випробувальним можливе руйнування конструкцій прогонових будов.

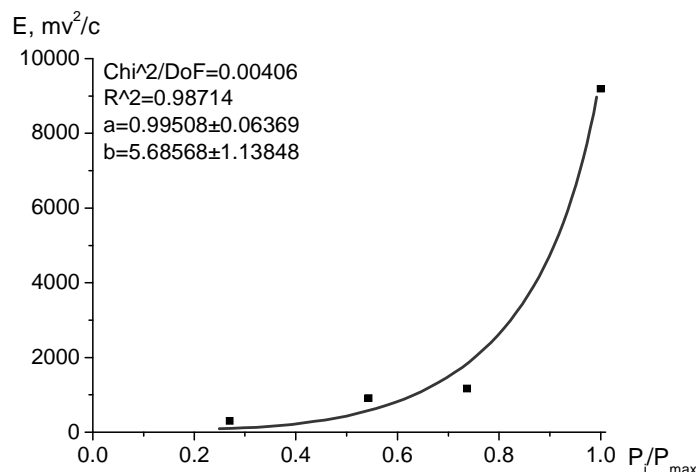


Рис. 4. Залежність накопичення енергії сигналів АЕ, зафіксованих у прогоновій будові 14–15 від навантаження в циклі для схеми 2

За результатами досліджень встановлено, що вогнева дія пожежі викликала незворотні зміни у стані несучих конструкцій прогонів 14–15, 15–16, 16–17 естакади та знизила їхню несучу здатність і жорсткість. Граничне навантаження на пошкоджені прогони естакади становить:

- для автомобільного навантаження в колоні – 10 тс;
- допустиме навантаження на вісь автомобіля – 7 тс.

Враховуючи низьку вантажопідйомність прогонових будов, для подальшої тимчасової експлуатації споруди було вжито запобіжні заходи з посилення пошкоджених пожежею конструкцій, а саме: у липні 2007 р. встановлено конструкції посилення опор Оп-14, Оп-15, Оп-16, балок прогонових будов в прогонах 14–15, 15–16, 16–17 та плит проїзної частини в прогонах 14–15, 15–16, 16–17; при експлуатації естакади з тимчасовим посиленням виконуються періодичні контрольні дослідження (моніторинг).

Основним методом періодичних контрольних досліджень було вибрано метод АЕ.

Моніторинг тріщиноутворення у прогонових будовах естакади із використанням методу АЕ здійснювали з використанням експлуатаційного навантаження, із фіксацією сигналів акустичної емісії. Реєстрація та оброблення сигналів акустичної емісії здійснювалася з використанням програмно-технічного комплексу “АКЕМ”. Основними критеріями стану конструкцій естакади прийнято параметр  $K_p$  сигналів АЕ та енергію сигналів  $E$ .

Перетворювачі акустичної емісії (ПАЕ) встановлювали на поверхні бетону балки № 2 прогонової будови 14-15 (ПАЕ1), та на поверхні бетону балки №4 прогонової будови 15-16 (ПАЕ2). Схема встановлення ПАЕ на конструкції прогонової будови наведена на рис. 5. Реєстрація та аналіз сигналів АЕ під експлуатаційним навантаженням реєструвалась протягом 800–2300 с.

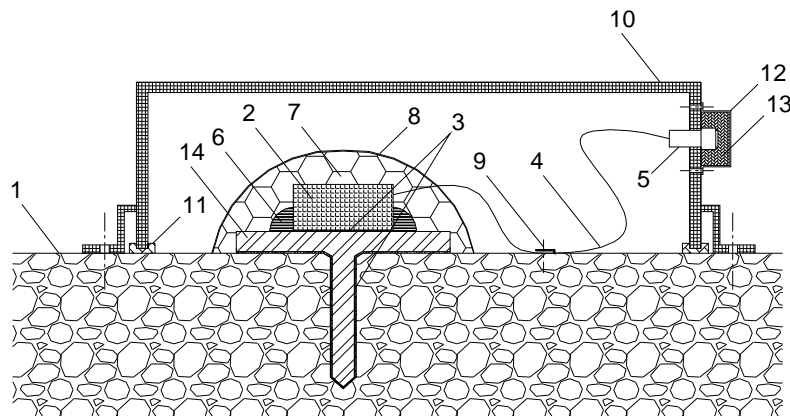


Рис. 5. Схема встановлення ПАЕ на залізобетонній конструкції.

1 – поверхня конструкції; 2 – ПАЕ; 3 – контактне середовище; 4 – кабель; 5 – штекер; 6 – клей;  
7 – силіконове чи інше захисне покриття; 8 – алюмінієва фольга; 9 – притискач кабелю;  
10 – захисний корпус ПАЕ; 11 – ущільнювальна прокладка; 12 – ковпачок; 13 – захисне покриття;  
14 – хвилевід

На рис. 6 наведено значення накопичення енергії сигналів акустичної емісії, зареєстрованих ПАЕ1 у матеріалі конструкції прогонових будов.

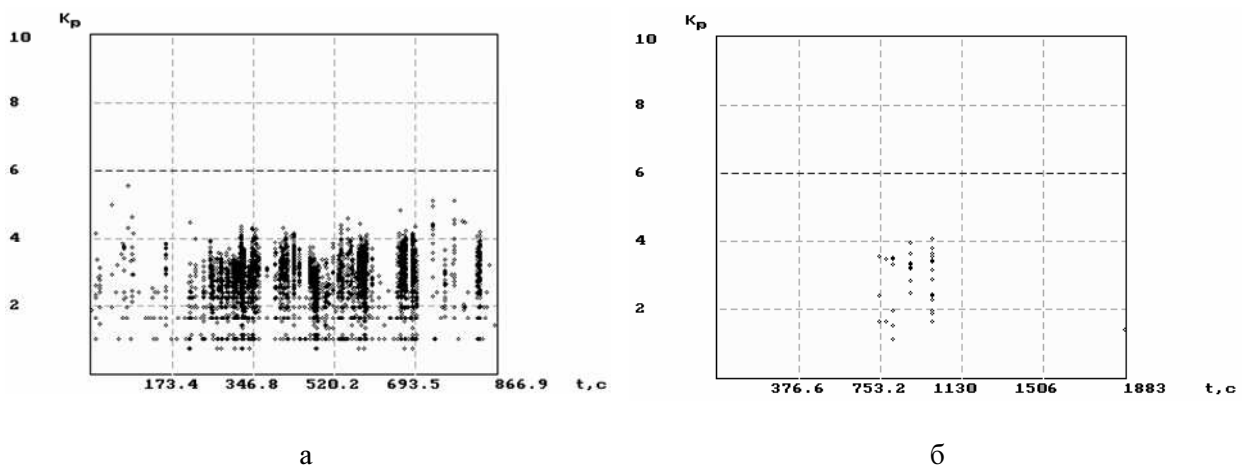


Рис. 6. Зміна коефіцієнта  $K_p$  сигналів АЕ, зафіксованих у матеріалі прогонової будови під експлуатаційним навантаженням. Дата реєстрації сигналів АЕ:  
а – 04.05; б – 17.09 р. Канал реєстрації ПАЕ1

На рис. 7 наведено значення накопичення енергії сигналів акустичної емісії, зареєстрованих ПАЕ1 у матеріалі конструкції прогонових будов.

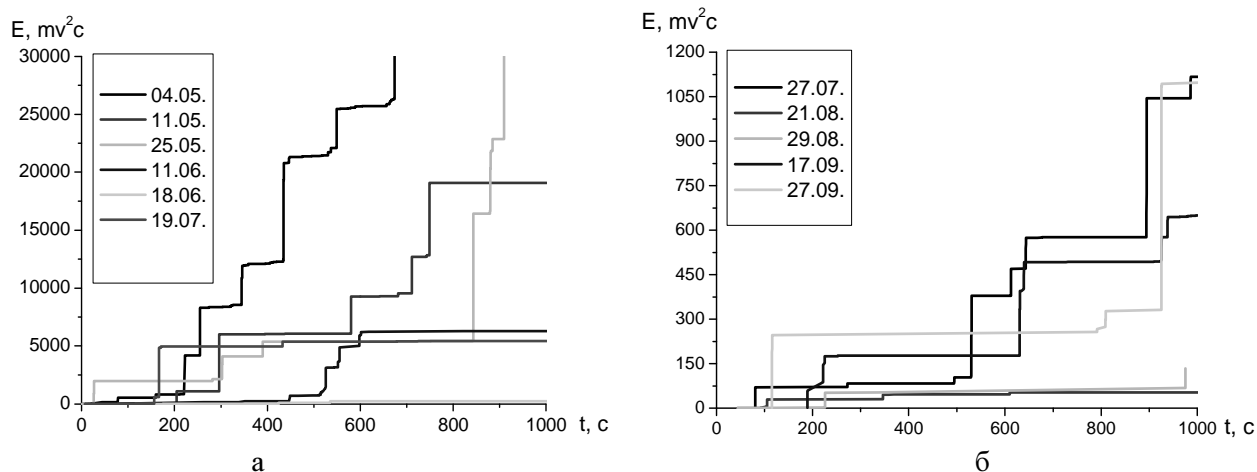


Рис. 7. Значення накопичення енергії сигналів акустичної емісії, зареєстрованих ПАЕІ у матеріалі конструкції прогонових будов:  
*а* – до встановлення конструкцій підсилення; *б* – після встановлення конструкцій підсилення

Контрольним методом досліджень вимірюють провисання балок прогонових будов естакади (рис. 8).

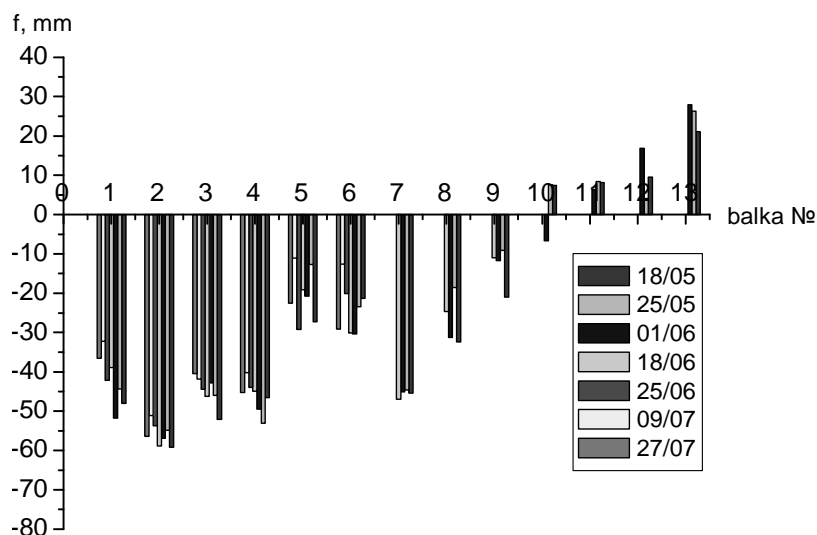


Рис. 8. Провисання балок у прогоні 14–15

З рис. 8 помітно, що загалом значення провисань балок прогонової будови 14–15 стабільні і загалом спостерігається їхнє незначне зменшення. Випромінювання сигналів АЕ, а саме накопичення енергії сигналів АЕ (рис. 7, *а*) також зменшувалось. Значне зменшення інтенсивності випромінювання сигналів АЕ та загасання процесів тріщиноутворення відбулось після встановлення конструкцій підсилення (рис. 7, *а, б*).

**Висновки.** Результати періодичних контрольних досліджень конструкцій прогонових будов естакади біля станції метро “Шулявська” в м. Києві із використанням методу АЕ корелюються із результатами, отриманими традиційними методами.

1. Як критерії оцінки розвитку процесів тріщиноутворення у залізобетонних натурних конструкціях можна використовувати параметр  $K_p$  сигналів АЕ та енергію сигналів  $E$ .

2. Доцільно для моніторингу технічного стану транспортних споруд використовувати метод АЕ, який дає об’єктивну інформацію про процеси тріщиноутворення в їхніх конструкціях.

1. ДСТУ 2374-94 Розрахунки на міцність та випробування технічних виробів. Акустична емісія. Терміни та визначення. 2. ГОСТ 27655-88 Акустическая эмиссия. Термины, определения и

обозначения. 3. ASTM E 1316-94 "Standard Definitions of Terms Relating to Acoustic Emission". 4. MBV 218-03450778-240-2004 Метод акустико-емісійного діагностування технічного стану мостів при статичних випробуваннях. 5. Коваль П.М., Сташук П.М. Дослідження залізобетонних конструкцій методом акустичної емісії // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2001. – Вип. 63. – С. 276–282. 6. Бабак В.П., Філоненко С.Ф. Вплив порогу обмеження на критеріальну оцінку виділення сигналів акустичної емісії від тріщин // Вісн. ЖІТІ. – 1998. – № 7. – С. 31–39. 7. Обстеження і випробування частини естакади, що зазнала вогневого впливу на перетині вул. Довженка – вул. В. Гетьмана та пр. Перемоги // Звіт НДР. – К.: ДерждорНДІ, 2006. – 111 с. 8. Філоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. – К.: Министерство образования Украины. КМУЦА, КНТУ Украины "КПИ", 1999. – 304 с. 9. Бабак В.П., Філоненко С.Ф. Математические модели оценки и прогнозирования состояния изделий методом акустической эмиссии // Радиоэлектроника и информатика. – 2000. – № 2. – С. 62–68. 10. Філоненко С.Ф. Анализ кинетики развития процессов разрушения методом акустической эмиссии // Междунар. научн. конф. "Синергетика 2000. Самоорганизующиеся процессы в системах и технологиях": Материалы конф., г. Комсомольск-на-Амуре, 2000. – С. 94–97.

УДК 625.7

**В.В. Кострицький, І.П. Гамеляк\*, Л.А. Дмитренко\*\***

Київський національний університет технологій та дизайну (КНУТД)  
01601, м. Київ-11, вул. Немировича-Данченка, 2,

\*Національний транспортний університет, кафедра ДБМ і хімії  
01010, м. Київ, вул. Суворова, 1,

\*\*Лабораторія АДВЛ "Текстиль-Тест" при КНУТД  
01601, м. Київ-11, вул. Немировича-Данченка, 2

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕОГРАТ ДЛЯ АРМУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ**

© Кострицький В.В., Гамеляк І.П., Дмитренко Л.А., 2007

**Наведено результати експериментального дослідження властивостей геограт, призначених для армування асфальтобетонного покриття. Виконано порівняння чотирьох типів геограт за структурними, фізико-механічними та експлуатаційними показниками властивостей.**

**In this article the results of experimental research of properties of geogrid are represented intended for the reinforcement of flexible pavement. Comparison is executed 4-types of geogrid after the structural, mechanical and operating indexes of properties.**

**Актуальність досліджень з армування асфальтобетонного покриття геогратами. Підвищення міцності, зсувостійкості та тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів в аеродромному і дорожньому будівництві є актуальною проблемою у зв'язку зі збільшенням розрахункових навантажень (до 115–130 кН/вісь або 11,5–13 тс/вісь) і все вищою інтенсивністю руху (до 7–22 % на рік).**

Починаючи з середини 80-х років в межах ЄСРП для цих цілей почали застосовуватися армувальні ґратки із скловолокна [1].

Спочатку використовувалися склопластикові сітки типу СПАП КАМА. В останні роки набуло поширення скло ґратки типу Армдор та пропонується велика кількість синтетичних сіток. Однак необхідно використовувати тільки дорожні ґратки. Розмір вічок сіток повинен бути 15×20 мм, для забезпечення зчеплення з нижнім шаром, що надзвичайно важливо, як було показано у [2].