

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ МОНОЛІТНОЇ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ ЕСТАКАДИ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Коваль П.М.

Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури

Сташук П.М.

Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна

Ковальчик Я.І.

Національний транспортний університет

Вступ

Введення нових норм проектування мостів [1,2,3] суттєво збільшило вимоги щодо забезпечення надійності та довговічності мостів. Для залізобетонних мостів важливим критерієм досягнення нормованих параметрів є їх тріщиностійкість. Тому дослідження тріщиностійкості залізобетонних конструкцій мостів, прогнозування розвитку процесів тріщиноутворення і впливу їх на стан споруди є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень

На таких великих і складних об'єктах, як мости, при дослідженнях важко мати доступ до елементів споруд. Тому фіксація процесів тріщиноутворення на них дуже ускладнена. Практично єдиним методом, який дає змогу фіксувати процес утворення і розвитку тріщин, а також здійснювати прогнозування небезпеки цих процесів при експлуатації мостів є метод акустичної емісії (АЕ) [4].

Згідно з сучасними прийнятими визначеннями, акустична емісія – це випромінення матеріалом пружних хвиль, викликаних локальною динамічною перебудовою матеріалу. При виникненні і розвитку в матеріалі під дією напружень дефекту структури – тріщини, випромінюються сигнали АЕ. В останні роки досягнуто значних успіхів щодо фіксації, обробки і аналізу сигналів АЕ [5,6] з розробкою відповідних програмних комплексів.

Важливим кроком щодо застосування методу АЕ у системі технічної діагностики стану конструкцій була запропонована [4,5] оцінка небезпеки процесів руйнування, що відбуваються в структурі матеріалів об'єктів при навантаженні. Вона здійснюється за аналізом кінетики розвитку випромінювання АЕ з використанням спільного аналізу даних, отриманих на етапах витримки під зростаючим навантаженням.

З урахуванням запропонованих у працях [4-8] розробок та після експериментальної перевірки таких підходів при випробуванні ряду автодорожніх мостів у систему технічної діагностики транспортних споруд було введено метод АЕ діагностування [9].

Мета даного дослідження – дослідити процес тріщиноутворення в залізобетонній конструкції прогонової будови моста із використанням методу акустичної емісії при статичних випробуваннях та оцінити небезпеку розвитку тріщин.

Методика дослідження

Об'єкт дослідження – естакада по вул. Набережно-Хрещатицькій, яка була збудована у 2010 році в Києві (рис. 1).



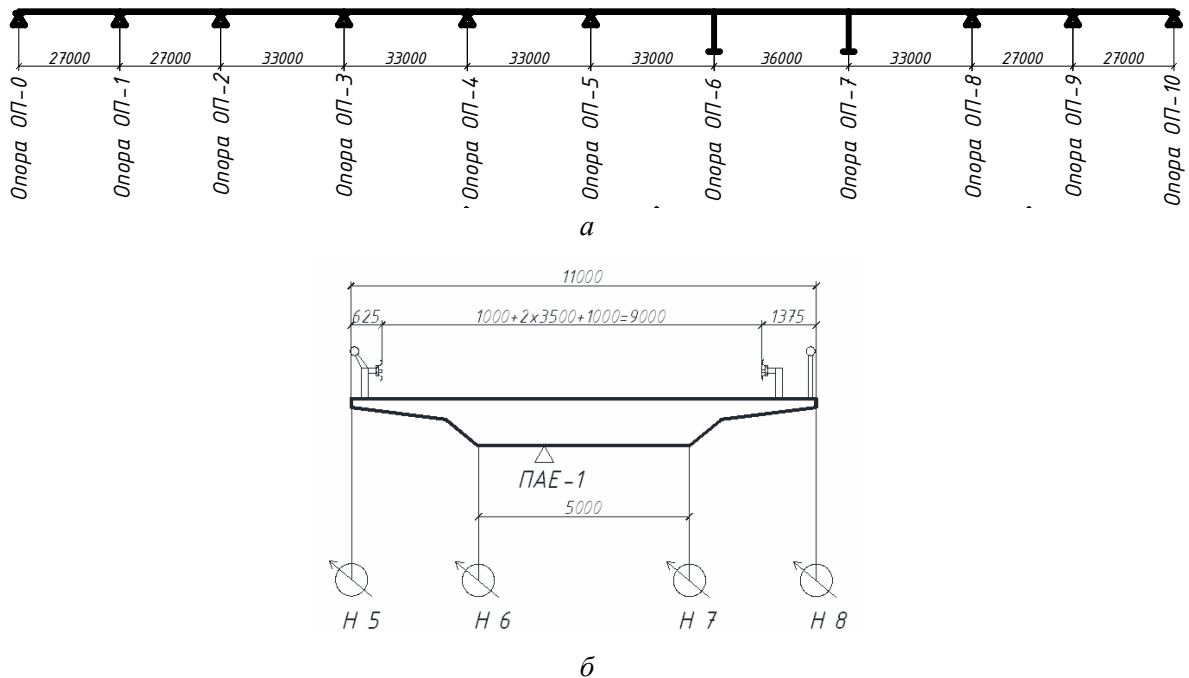
Рис. 1. Естакада на вул.Набережно-Хрещатицькій у м. Київ

Естакада складається з десяти нерозрізних прогонів. Матеріал конструкції прогонової будови – попередньо напружений монолітний залізобетон. Схема естакади комбінована: балкова нерозрізна, опори 6 і 7 об'єднані з прогоновою будовою і утворюють раму для перекриття найбільшого прольоту в 36 м. Схема нерозрізної монолітної прогонової будови $24\text{ м} + 30\text{ м} + 4 \times 33\text{ м} + 36\text{ м} + 33\text{ м} + 30\text{ м} + 24\text{ м}$, довжина 309 м (рис. 2, а).

Попереднє напруження прогонової будови створене обтиском – 28 пучками канатної арматури. Кожен пучок складається із 19 канатів (1x7) з номінальним діаметром 15,2 мм за EN 10138-98. Сила натягу кожного пучка – 352 т (згідно проектної документації).

Габарит проїзної частини моста Г-9. Кількість смуг руху – 2. Ширина кожної смуги руху – 3,75 м, а смуг безпеки – по 1 м. Ширина службового проходу з правого боку – 0,75 м (рис. 2, б).

Товщина прогонової будови змінна, в центральній частині шириною 5 м – 1,1 м, по краях на консолях – 0,2 м. Така мала товщина плити (1/33,7 максимального прольоту 36 м) обумовлена вимогою досягнення мінімальної робочої висоти естакади (рис. 2, б). Споруда запроектована згідно чинних норм [1, 2, 3].



а – поздовжня схема; б – поперечний переріз прогонової будови в прольоті 9-10: ПАЕ – перетворювач АЕ, Н5÷Н8 – прогиноміри.

Рис. 2. Схема естакади

Після завершення будівництва естакади були зафіксовані такі технологічні тріщини, які виникли в процесі виконання робіт: у прогоні 1-2 з шириною розкриття 0,3 мм, у прогоні 2-3 з шириною розкриття 0,2 мм, у прогоні 3-4 з шириною розкриття 0,2 мм, у прогоні 7-8 з шириною розкриття 0,25 мм, у прогоні 8-9 з шириною розкриття 0,2 мм. На поверхню бетону естакади нанесене захисне покриття.

Необхідно дослідити, чи не будуть ці технологічні тріщини в процесі експлуатації мати тенденцію до розвитку, і чи будуть виникати в конструкціях естакади тріщини, які можуть впливати на надійність та довговічність споруди. Це можна виконати, провівши статичні випробування моста з використанням методу АЕ згідно [9]. При цих випробуваннях навантаження потрібно прикладати зростаючими ступенями (мінімум три завантаження), і за аналізом кінетики розвитку випромінювання АЕ оцінюється небезпека процесів руйнування.

Випробувальне навантаження – три завантажені баластом автомобілі (МАЗ 551605 вагою: 31,3 т, 31,7 т, 31,7 т). Загальна вага випробувального навантаження становила 94,7 т.

Схему завантаження трьома автомобілями (кінцева) показано на рис. 3 [10]. Реєстрація та обробка сигналів акустичної емісії здійснювалася з використанням програмно-технічного комплексу “АКЕМ”.

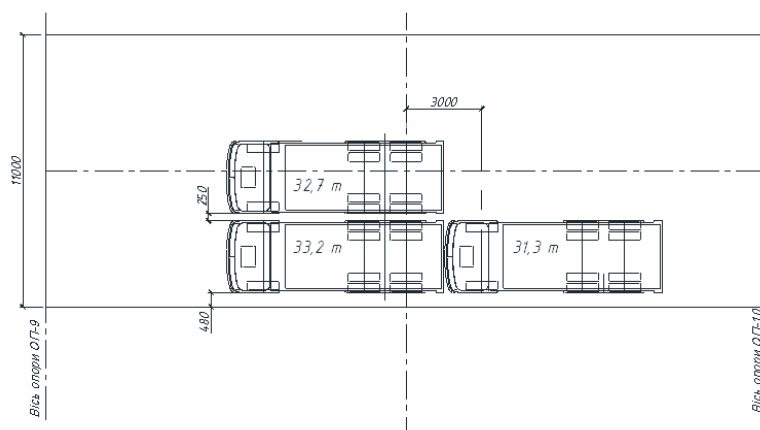


Рис. 3. Схема завантаження прогону 9-10

Перетворювачі акустичної емісії встановлювали на поверхні бетону прогонової будови 9-10 (ПАЕ-1) та в прогоні 8-9 (ПАЕ-2), давачі встановлено згідно рис. 2, б.

Реєстрація та аналіз сигналів АЕ під час статичних випробувань проводилась із моменту зупинки автомобілів в місцях, визначених схемами випробувань. Інформація реєструвалась протягом 30 с.

Обробка критеріальної оцінки виявлення сигналів АЕ від тріщин проводилась відповідно 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 [5]. 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;

τ_j – тривалість зареєстрованого сигналу АЕ.

При встановленні давача АЕ на поверхні металу значення критерію виділення сигналів АЕ від тріщин Kp , враховуючи прийняті параметри порогу дискретизації, становить 3, при встановленні ПАЕ на поверхню бетону – 6. Перевищення цих значень відповідно для металу і бетону свідчить про утворення тріщин.

Оцінка небезпеки процесів руйнування [5, 8, 9], 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 їх 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 обраному часовому перерізі;

P_i – значення навантаження на досліджуваній об'єкт;

$E_{i\max}$ – максимальне значення накопичення енергії сигналів АЕ під час витримки під навантаженням на ступенях у обраному часовому перерізі;

$P_{i\max}$ – максимальне значення навантаження на об'єкт дослідження при випробуванні. Проведення аналізу із апроксимацією експериментальних даних у відповідності до попередньо описаного виконують за формою:

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

де a, b – константи;

ti – часовий переріз реєстрації сигналів АЕ.

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

Результати досліджень

Оцінку небезпеки процесів, що відбуваються в структурі матеріалів при навантаженні прогонової будови моста трьома ступенями за схемою рис. 3, здійснювали шляхом аналізу кінетики розвитку випромінювання АЕ з використанням спільного аналізу даних, отриманих на всіх ступенях завантаження [5, 8, 9]. Графік залежності прогину f від моменту M для кожного етапу завантаження згідно схеми рис. 3 показаний на рис. 4. Кут нахилу прямої графіку не змінюється. Це свідчить, що в прогоновій будові відсутні тріщини (перелом графіка f - M свідчить про утворення тріщин). Відповідно при даних навантаженнях не повинні бути зареєстровані сигнали АЕ, які свідчать про утворення макротріщин.

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

На рис. 5 представлено зміну коефіцієнту Kp сигналів АЕ, зафіксованих ПАЕ-1 при ступінчастому завантаженні послідовно одним, двома, трьома автомобілями згідно схеми рис. 3. На рисунках сигнали від мікротріщин розташовані нижче штрих-пунктирної лінії, це свідчить про те, що макротріщини в конструкції прогону 9-10 не виникають.

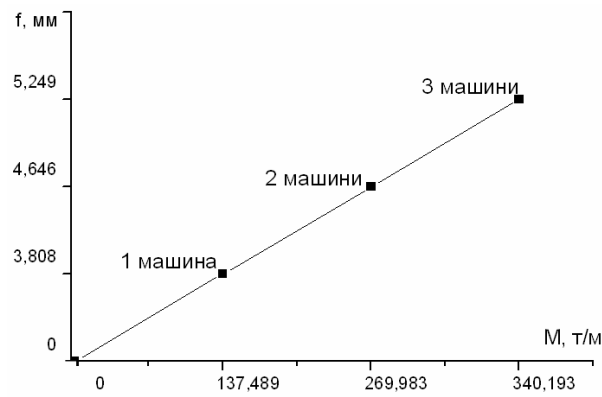
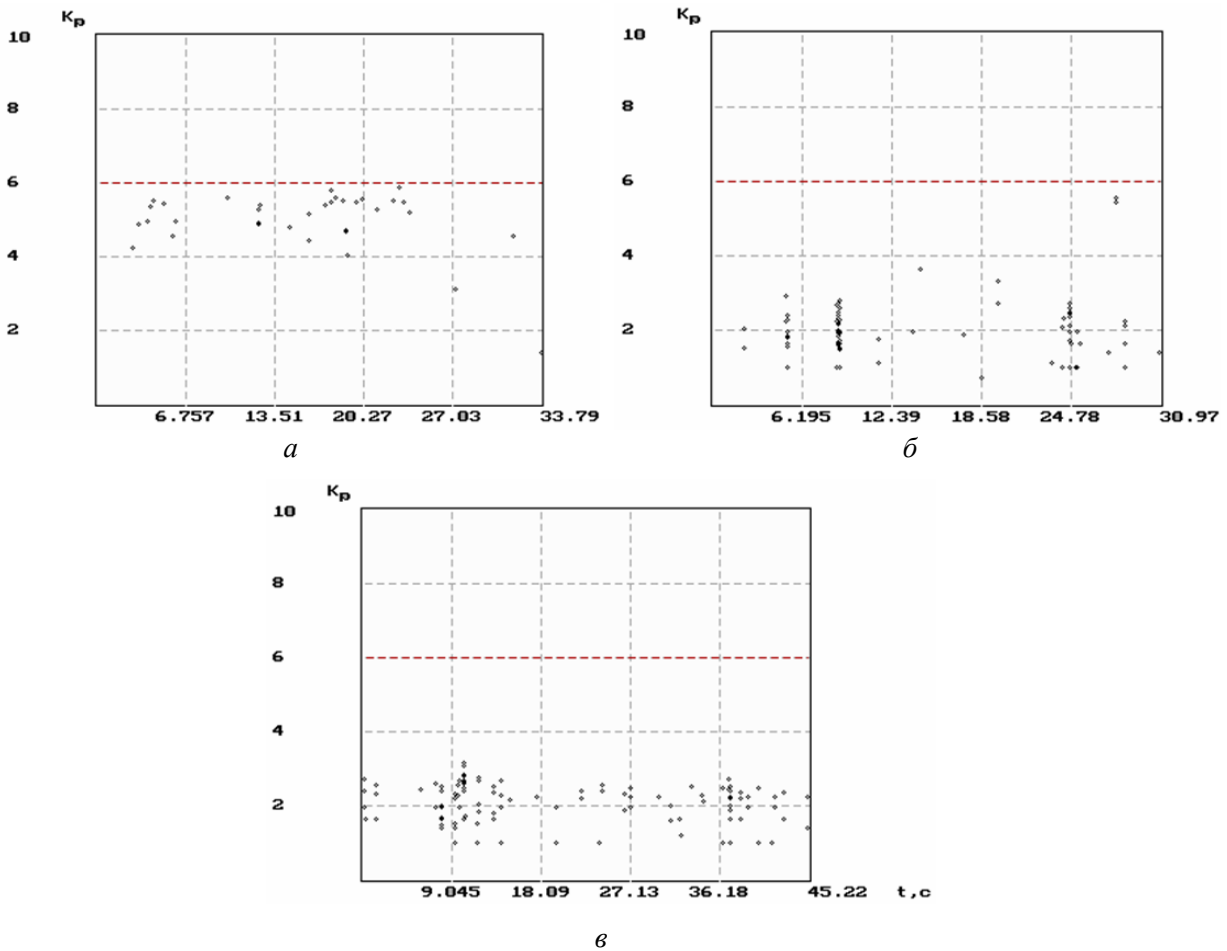


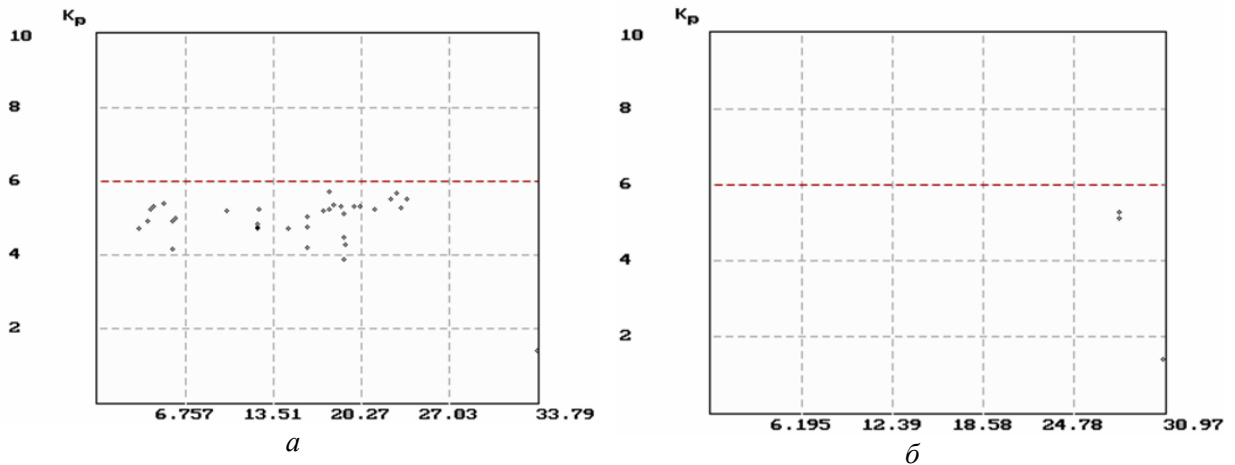
Рис. 4. Графік залежності прогину f від моменту M

На рис. 6 представлено зміну коефіцієнту K_p сигналів АЕ, зафіксованих ПАЕ-2 при схемі завантаження. На рисунках сигнали від мікротріщин розташовані нижче штрих пунктирної лінії, що свідчить про те, що макротріщини в конструкції прогону 8-9 не виникають. Під час такого завантаження прогін 9-10 був зігнутий, а прогін 8-9 вигнутий (розтягнута верхня зона перерізу).



$a - 137 \text{ т/м}$; $б - 269 \text{ т/м}$; $в - 340 \text{ т/м}$.

Рис. 5. Зміна коефіцієнту K_p сигналів АЕ, зафіксованих ПАЕ-1 при випробуванні прогонової будови за схемою рис.3. Тимчасове навантаження на прогонову будову згідно схеми



$a - 137 \text{ т/м}; b - 269 \text{ т/м}.$

Рис. 6. Зміна коефіцієнту K_p сигналів АЕ зафіксованих ПАЕ-2 при випробуванні прогонової будови за схемою рис. 3. Тимчасове навантаження на прогонову будову згідно схеми

Результат проведеної обробки даних показав, що починаючи з 15 секунд існує залежність між рівнем навантаження і накопиченою енергією сигналів АЕ, що приведена на рис. 7. Аналіз отриманої залежності з формалізацією даних показує, що вона описується виразом (3). При цьому значення коефіцієнтів в наближеному виразі (3) рівні (рис. 7): $a = 0.03549$; $b = -3.67329$; $\sigma^2 = 0.00148$. Значення показника степеня $b < 3$, тобто при навантаженні прогонової будови моста за схемою завантаження №1 дефекти в структурі матеріалу не є небезпечними.

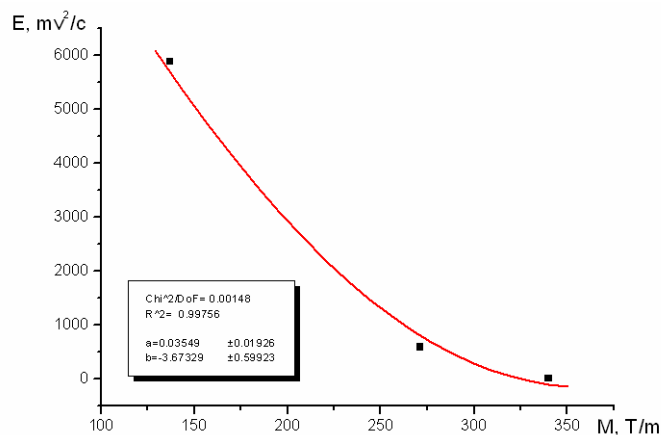


Рис. 7. Залежність нагромадження енергії сигналів АЕ зафіксованих ПАЕ-1 від навантаження в циклі для схеми рис. 3. Часовий відрізок процесу нагромадження 15 с

Висновки

Випробування естакади, проведені з використанням методу акустичної емісії показали, що при випробувальному навантаженні в ньому не виникають тріщини, розвиток яких є небезпечним для конструкцій прогонових будов моста. Технологічні тріщини, які виникли при будівництві естакади, не мають тенденції до розвитку. Використання методу АЕ при статичному випробуванні мостів дає важливу інформацію щодо процесів тріщиноутворення і є перспективним для забезпечення надійної і довговічної експлуатації транспортних споруд.

Література

1. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. ДБН В.2.3-14:2006. – 359 с.
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. ДБН В.1.2-15:2009. – 56 с.
3. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. ДБН В.2.3-22:2009. – 43 с.
4. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. – К: Изд-во КМУГА, 1999. – 305 с.
5. Новиков Н.В., Филоненко С.Ф. Влияние параметров акустического тракта на числовое значение критериальной оценки выделения сигналов АЭ от трещин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1995. – № 1. – С.47-52.
6. Бабак В.П., Филоненко С.Ф. Вплив порогу обмеження на критеріальну оцінку виділення сигналів акустичної емісії від тріщин // Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 7. – С.31-39.
7. Бабак В.П., Филоненко С.Ф. Математические модели оценки и прогнозирования состояния изделий методом акустической эмиссии // РадиоЭлектроника и информатика. – 2000. – № 2. – С.62-68.
8. Филоненко С.Ф. Анализ кинетики развития процессов разрушения методом акустической эмиссии // Международная научная конференция: “Синергетика 2000. Самоорганизующиеся процессы в системах и технологиях”: Материалы конференции, г. Комсомольск-на-Амуре, 2000 г. – С. 94-97.
9. МВВ 218-03450778-240-2004 Метод акустико-емісійного діагностування технічного стану мостів при статичних випробуваннях.
10. Технічний звіт з обстеження і випробування естакади вздовж вулиці Набережно-Хрещатицької в м. Києві. Керівник роботи Сташук П.М., ДерждорНДІ, Київ 2010. – 180 с.
11. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. ДБН В.2.3-6:2009. – 52 с.