

П.М. Коваль, А.Є. Фаль, І.П. Бабяк, Р.І. Полюга, П.М. Сташук
Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М.П. Шульгіна, м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПЕРШОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО МОСТА УКРАЇНИ

© Коваль П.М., Фаль А.Є., Бабяк І.П., Полюга Р.І., Сташук П.М., 2010

Розглянуто перший залізобетонний арокний міст в Україні. Описано методи його досліджень та визначення технічного стану. Наведено результати обстеження та випробування моста тимчасовим навантаженням.

Ключові слова: залізобетонна арка, технічна діагностика, розрахунки моста, результати досліджень.

This paper is devoted to the first reinforced concrete arch bridge in the Ukraine. The method of investigation and studing of technical condition are described. The results of testing of bridge for the live load are introduced.

Keywords: reinforced concrete arch, technical diagnostic, calculation of bridge, the results of investigation

Постановка проблеми. Імовірно, перший залізобетонний міст, збудований в Україні, який існує дотепер, був споруджений у 1892 році на території Національного університету “Львівська політехніка” (рис. 1). Щодо дати його будівництва, то в історичних джерелах є різні дані. В книзі [1] стверджується, що він був збудований у 1892 році. В цей час в головному корпусі Львівської політехніки та в саду біля нього проходила Галицька будівельна виставка, і цей пішохідний міст був побудований як виставковий експонат.

Але металева табличка, встановлена у 1964 році з ініціативи професора Курила, має напис римськими цифрами – MDCCCXCIV, тобто 1894 рік. У цей рік у Львові проходила Загальна крайова виставка. Тому деякі науковці вважають саме цей рік датою будівництва моста [2]. Цей міст продемонстрував досягнення теорії мостів і будівельної індустрії тих часів, його називали застиглою в повітрі стрічкою (рис. 1). Автор проекту моста – професор Максиміліан Тулле (1853–1939), завідувач кафедри будівництва мостів Львівської політехніки. Він зробив великий внесок у розроблення основ теорії залізобетону і розрахунків мостів [3].



а



б

Рис. 1. Вид на міст збоку (а), вид на опору моста (б)

На час виконання дослідження – 2004 рік, міст експлуатувався 112 років. За такий значний термін експлуатації у споруді виникла низка дефектів, які істотно впливали на технічний стан моста. Тому було прийнято рішення про обстеження і випробування цього пішохідного моста.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Відомо, що технічний стан – це стан, який характеризується в певний момент часу, за певних умов зовнішнього середовища значенням параметрів (показників експлуатаційної придатності), встановлених на цей об'єкт. Регулювання технічного стану споруд можна виконувати втручанням в процес експлуатації. Втручання має два види: пасивне та активне. Перший вид – це обстеження конструкцій, така дія не вносить змін в об'єктивний процес експлуатації, але дає змогу отримати фактичні показники експлуатаційної придатності. Другий вид втручання – це активний спосіб регулювання, який полягає в поточному, капітальному ремонті чи реконструкції споруд [4].

Робота з обстеження, випробування і оцінки технічного стану моста виконувалась відповідно до вимог, чинних на час виконання досліджень нормативних документів України [5, 6, 7], будівельних норм і правил на проектування мостів [8].

Мета досліджень. Метою цих досліджень є визначення технічного стану конструкцій моста, їх фактичних характеристик міцності та деформативності.

Для досягнення мети була розроблена програма обстеження та випробування моста, яка передбачала виконання таких робіт:

- візуальний огляд конструкцій моста;
- дослідження конструкцій моста неруйнуючими методами (визначення міцності бетону, визначення розташування робочої арматури, її діаметра та товщини захисного шару, ступеня карбонізації бетону, визначення корозійно активних зон арматури);
- випробування моста статичним навантаженням;
- вимірювання ширини розкриття тріщин у плиті прогонової будови, максимальних прогинів та відносних деформацій;
- запис сигналів акустичної емісії (АЕ) під час випробування моста;
- обробка та аналіз отриманих результатів досліджень та випробувань;
- складання висновків за результатами виконаної роботи.

Виклад основного матеріалу. Залізобетонний пішохідний міст за статичною схемою є безшарнірною аркою прогоном 11,0 м зі стрілою підйому 2,2 м (рис. 2). Висота перерізу (товщина плити) у п'ятах 125 і 140 мм, в замку 85 мм.

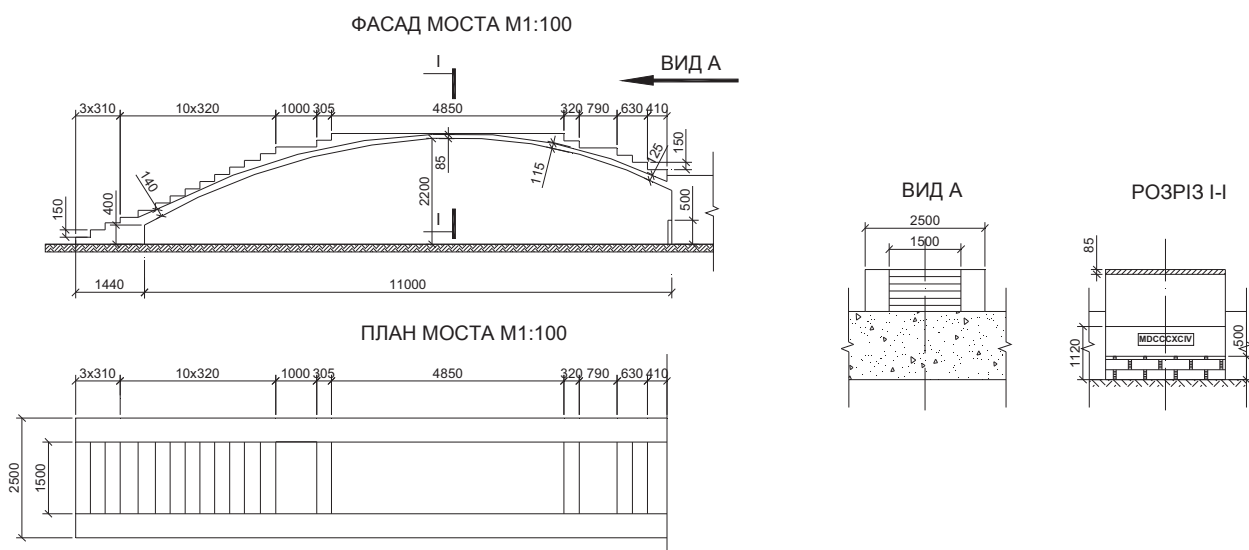


Рис. 2. Залізобетонний арокний пішохідний міст на території Національного університету "Львівська політехніка"

Враховуючи історичну цінність цієї споруди, для дослідження стану моста використовували сучасні неруйнівні методи технічної діагностики мостів. Сучасне діагностичне обладнання дає змогу максимально повно й об'єктивно оцінити реальний стан конструкцій та їх елементів. Це дає підставу для обгрунтованішого прийняття рішення щодо ремонту та подальшого режиму експлуатації споруди.

Перевагою діагностичних приладів нового покоління є те, що, крім традиційних візуальних обстежень, вони дають змогу ефективно і швидко визначити фізико-механічні характеристики матеріалів обстежуваних конструкцій, стан елементів, прогнозувати поведінку елементів у процесі подальшої експлуатації. За допомогою цих приладів на цьому об'єкті визначали:

- глибину і величину карбонізації бетону (Carbo Detect);
- місце розташування і діаметр арматури, товщину захисного шару (СМ52);
- ймовірність та інтенсивність корозії арматури (Canin);
- поверхневу міцність бетону (молоток Кашкарова);
- реєстрували сигнали акустичної емісії.

Програма досліджень моста передбачала вимірювання електричного потенціалу на поверхні арматури CANIN” вздовж та впоперек прогону моста з кроком 150 і 200 мм з метою встановлення ділянок плити, де спостерігається корозія арматури.

Для оцінки впливу зафіксованих пошкоджень на експлуатаційні якості моста здійснювали випробування з використанням методу акустичної емісії відповідно до методики [9], розробленої ДерждорНДІ. Метою випробування моста з використанням методу акустичної емісії було:

- виявлення джерел акустичної емісії (АЕ), які можуть бути пов'язані з дефектами, що виявляють активність за прийнятих умов навантаження моста, виявлення закономірностей процесу випромінювання АЕ;
- дослідження АЕ при статичному й динамічному видах навантаження для оцінки технічного стану моста.

Реєстрацію та обробку сигналів акустичної емісії здійснювалася з використанням програмно-технічного комплексу “АКЕМ”. Давач АЕ встановлювали на плиті біля замка арки (рис. 7).

У результаті огляду несучих конструкцій моста встановлено таке:

- опори моста мають такі дефекти: тріщини, виколи бетону;
- в арочній прогоновій будові виявлені такі дефекти: тріщини, виколи бетону, руйнування захисного шару, оголення та корозія арматури, корозія бетону. В прогоновій будові виявлені по всій довжині моста регулярні тріщини. Максимальна ширина розкриття тріщин, зафіксована в чвертях плити прогону арки, без навантаження становить 0,5 мм. Виявлено поздовжні тріщини в плиті арки. Виявлено місця, де активно проходить корозія арматури (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Руйнування захисного шару бетону, оголення і корозія арматури (а), стан верхньої частини арки: тріщини, сколи бетону, зарості трави (б)

Встановлено, що бетон тіла опор та плити прогонової будови має середню міцність на стиск 31,0–35,6 МПа, що відповідає, в середньому, класу В25.

Дослідження ступеня карбонізації бетону приладом Carbo Detect показало, що карбонізація бетону пройшла на всю товщину захисного шару бетону.

Робоче армування виконане з двох сіток з гладкої арматури діаметром 12 мм.

За отриманими дослідними даними побудовані діаграми розподілу електричного потенціалу на поверхні арматури плити. Розташування визначення корозійно активних зон арматури наведено на рис. 4. Обробку даних та порівняння отриманих результатів виконували за таблицею.

Ступінь корозії арматури залежно від різниці потенціалів за приладом “CANIN”

Значення різниці потенціалів, мВ	Ймовірність корозії, %
< -350	≥ 90
-350 ... -200	не визначена
≥ -200	< 10

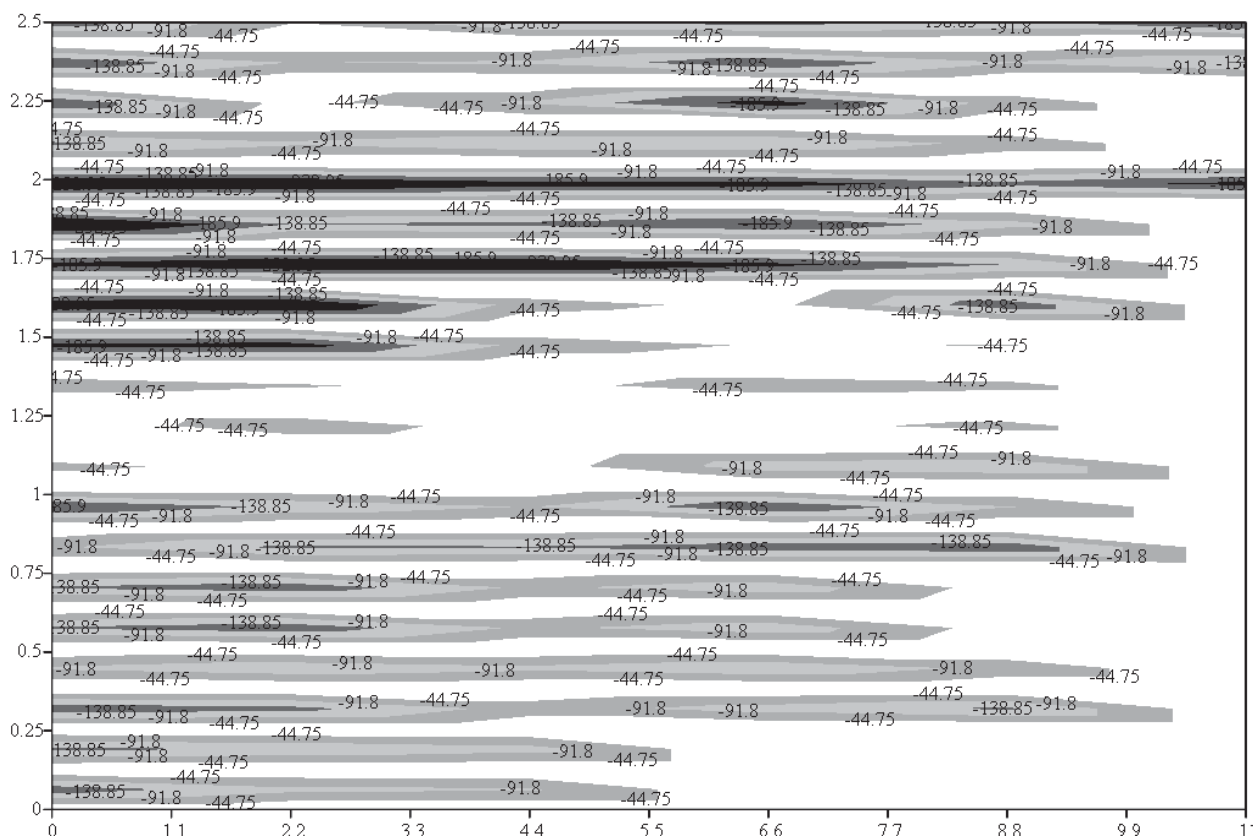


Рис. 4. Визначення корозійно активних зон арматури по нижній поверхні моста, мВ, (горизонтально – вздовж прогону, вертикально – поперек прогону)

Під час статичних випробувань моста були реалізовані дві схеми завантаження (рис. 5).

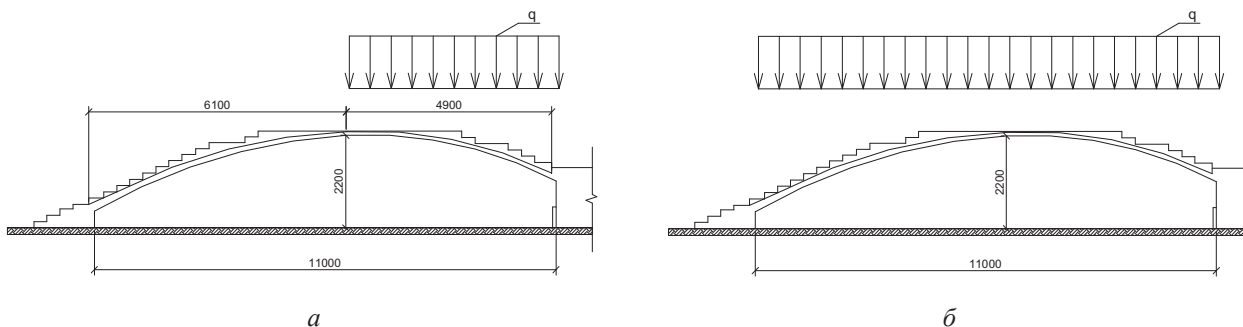


Рис. 5. Схеми завантаження моста: а – несиметрична (схема 1); б – симетрична (схема 2)

Схеми встановлення приладів наведені на рис. 6

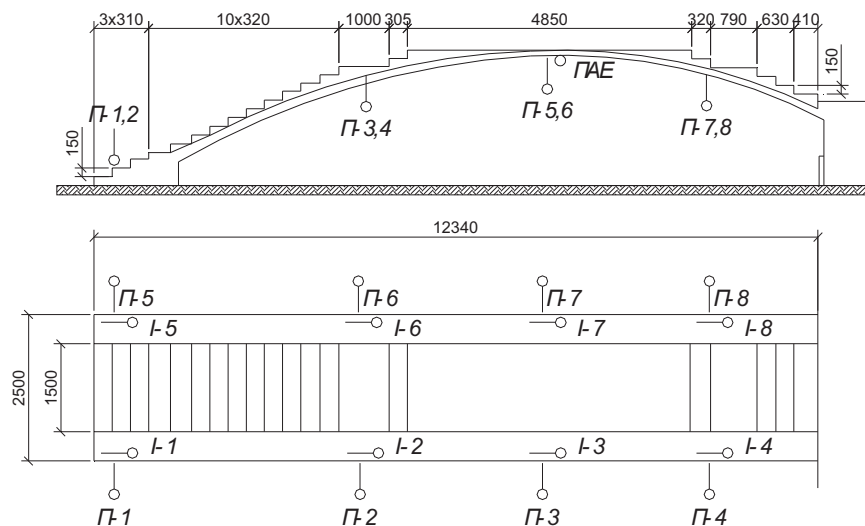


Рис. 6. Схема розміщення приладів під час випробування моста:
П – прогиноміри, *I* – індикатори на базі 200 мм, П-АЕ – перетворювач акустичної емісії

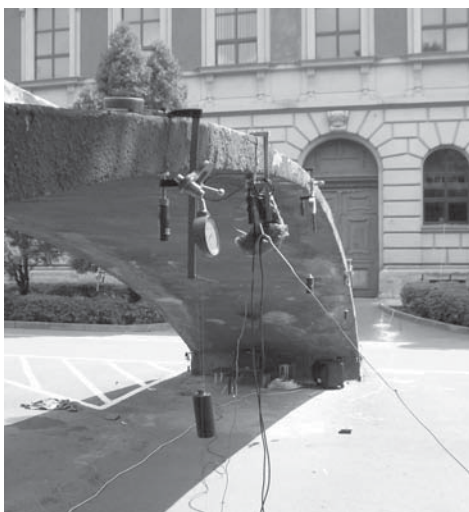
Схема 1. Завантаження половини прогону арки (несиметричне завантаження) – завантаження частини прогону моста завдовжки 4,9 м розподіленим навантаженням інтенсивністю $2,5 \text{ кН/м}^2$.

Схема 2. Завантаження всього прогону арки (симетричне завантаження) – завантаження прогону на всю довжину моста розподіленим навантаженням інтенсивністю $2,1 \text{ кН/м}^2$.

Як випробувальне навантаження використовували натовп.

Під час статичних випробувань робилися такі заміри:

- напружень (відносних деформацій) – в замку, в чвертях прогону та в п'ятах арки мікроіндикаторами на базі i компаратором;
- ширини розкриття тріщин в плиті арки – мікроскопом МПБ-2;
- прогинів – у замку, у чвертях прогону – барабанно-шестерневими прогиномірами дротяного зв'язку системи Аістова ПАО-6;
- сигналів АЕ за допомогою програмно-технічного комплексу АКЕМ (рис. 7).



а



б

Рис. 7. Розміщення приладів під час випробування арки (а); завантаження моста тимчасовим симетричним навантаженням за схемою 2 (б)

Для оцінки теоретичних прогинів і напружень прогонової будови моста від тимчасових навантажень виконано розрахунок з використанням програмного комплексу “ЛИРА”. З метою точнішого моделювання моста використовували об’ємні кінцеві елементи. Розрахункова модель подана на рис. 8.

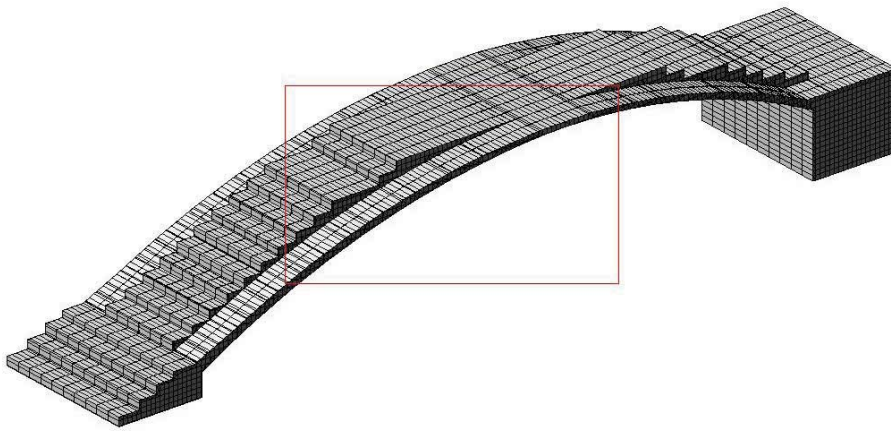


Рис. 8. Розрахункова модель аничного залізобетонного моста

Аналіз отриманих результатів розрахунку показав задовільну збіжність з величинами прогинів і напружень, одержаними під час випробувань. Характери епюр прогинів арки, отриманих під час випробувань і теоретичних розрахунків, збігаються (рис. 9).

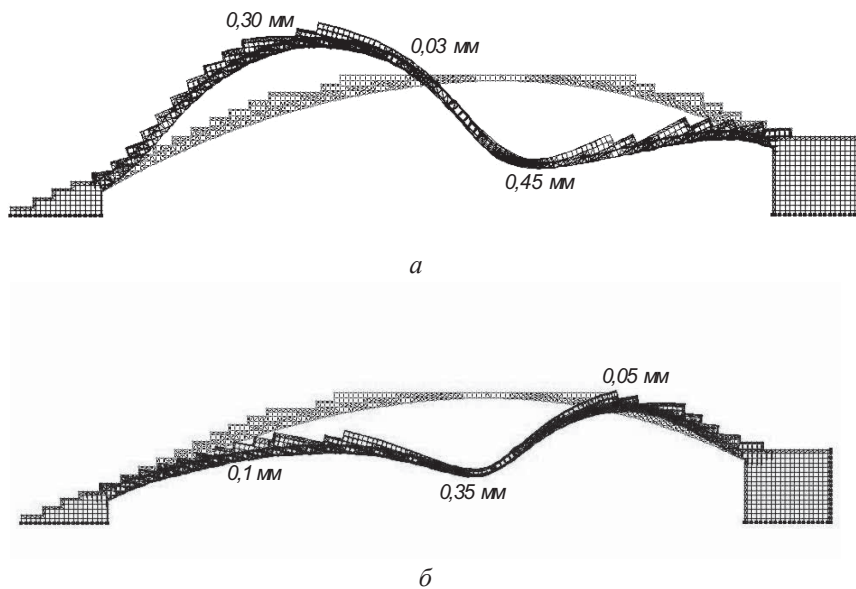


Рис. 9. Епюри прогинів арки: а – при схемі завантаження 1; б – при схемі завантаження 2

У результаті досліджень несучих конструкцій моста встановлено таке.

Тріщини, які виявлені при обстеженні, стабілізувалися і не розвиваються, про що свідчить відсутність сигналів АЕ. Міцність бетону (клас В25) є достатньою для сприйняття аркою зовнішніх навантажень. Це підтверджують отримані при випробуванні максимальні напруження в чверті прогону арки, які становлять 0,48 МПа. Під час обстеження в арці виявлено регулярні тріщини, максимальна концентрація яких спостерігається у чвертях арки. Без впливу тимчасового навантаження максимальна ширина розкриття тріщин становить 0,5 мм. При дії тимчасового навантаження зафіксовано збільшення ширини розкриття тріщин до 0,9 мм. Ширина розкриття тріщин більша від допустимої відповідно до чинних норм – 0,3 мм.

Висновки. При обстеженні моста виявлено тріщини в плиті арки та опорах, оголення та корозію арматури, корозію бетону. Випробування моста свідчать про достатню міцність бетону, жорсткість перерізів та несучу здатність прогонової будови на час випробувань. Дослідження матеріалів конструкції моста показало, що захисний шар бетону зазнав карбонізації на всю товщину. Арматура кородує – як оголена, так і та, що розміщена в бетоні. Це свідчить про зниження довговічності конструкції моста. Для забезпечення довговічності моста необхідно виконати ремонтні роботи з використанням сучасних технологій і матеріалів. Необхідно зупинити процес карбонізації бетону, закрити тріщини матеріалом, який би забезпечив їх щільність і герметичність, і зупинити процес корозії арматури.



Рис. 10. Сучасний вигляд моста після ремонту

Після дослідження моста фірма “Альпсервіс” з Харкова виконала ремонт моста матеріалами, які надала фірма “Sika-Poland”. Виконані ремонтні роботи істотно покращили технічний стан моста і забезпечили можливість його надійної експлуатації (рис. 10).

1. Національний університет “Львівська політехніка” / Голова ред. колегії Ю.Я. Бобало. – Логос Україна, 2008. – 57 с. 2. Кваша В.Г. Перший залізобетонний міст у Львові та його відновлення / В.Г. Кваша, Б.Г. Гнідець, О.В. Панченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. – 2006. – Вип. 73. – С. 113–116. 3. Лучко Й.Й. Мости: конструкції та надійність / [Й.Й. Лучко, П.М. Коваль, М.М. Корнієв та ін.]; за ред. В.В. Панасюка і Й.Й. Лучка. – Львів: Каменяр, 2005. – 989 с. 4. Клименко Є.В. Основні засади керування технічним станом залізобетонних конструкцій / Є.В. Клименко, В.С. Дорофєєв // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 600. – С. 171–175. 5. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування ДБН В.2.3-6-2002 [чинний від 01.01.2002], Держбуд України, 2002, 27 с. 64. Споруди транспорту. Мости та труби. Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються. ВБН В.3.1-218-174-2002 [чинний від 01.01.2002], Укравтодор, 2002, 76 с. 7. СНиП 2.05.03-84. “Мосты и трубы”. 8. Лантух-Лященко А.І. Настанови з визначення технічного стану мостів / [А.І. Лантух-Лященко, В.І. Кир’ян, П.М. Коваль і ін.]; за ред. д-ра техн. наук А.І. Лантух-Лященко // Транспортна академія України. – К.: Логос, 2002. – 117 с. 9. Метод акустико-емісійного діагностування технічного стану мостів при статичних випробуваннях МВВ 218-03450778-240-2004 [чинний від 01.01.2005]. Укравтодор, 2004, 23 с.