

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

© Редченко В.П., 2010

Проаналізовано розвиток методів динамічних випробувань автодорожніх мостів в Україні та світі. Подано основні результати авторських досліджень з розроблення та впровадження нових методів динамічних випробувань.

Ключові слова: міст, динамічні випробування, частота, спектральний аналіз.

In the article the analysis of development of methods of dynamic tests of road bridges in Ukraine and world is stated. Main outcomes of researches by author on the given subjects are too.

Keywords: bridge, dynamic tests, frequency, spectral analysis.

Вступ. Мости, як правило, є складними динамічними системами. В усьому світі спостерігається тенденція до збільшення довжини прогонових будов мостів та широкого застосування гнучких конструкцій, що робить ці споруди ще чутливішими до динамічних навантажень. Під час проектування таких мостів доводиться розв'язувати низку складних задач, пов'язаних із забезпеченням динамічної стійкості їх конструкцій при дії експлуатаційного (рухомого), вітрового, сейсмічного та інших навантажень. Після закінчення будівництва правильність прийнятих рішень перевіряють за допомогою натурних динамічних випробувань [1,2]. Окрім цього, на динамічні випробування все більше покладають роль поточного контролю за технічним станом мостів і передусім великих мостів, на яких проведення статичних випробувань із закриттям руху завжди є дуже проблематичним. Знання динамічних параметрів споруд є необхідною умовою при визначенні їх сейсмостійкості [3].

Проблема. Незважаючи на активний розвиток останнім часом практичних методів динамічного розрахунку конструкцій, методи натурального визначення динамічних характеристик конструкцій в цьому плані значно відстають, дуже мало висвітлюються у вітчизняній науковій і технічній літературі [4]. Аналіз вітчизняної технічної літератури та публікацій на цю тему свідчить про те, що практика динамічних випробувань мостів в Україні завмерла на межі 80-х років ХХ століття і в кращому випадку реалізує методики, напрацьовані та висвітлені в літературі до вказаного періоду [5]. Відносно світової практики динамічних випробувань мостів, в останні 20 років тут спостерігається справжній бум розвитку їх методів, що пов'язано як з розвитком систем ресстрації динамічних реакцій, так і з розвитком методів їх опрацювання та аналізу [6]. За останні 20 років в Україні значно знизився інтерес до методів динамічних випробувань автодорожніх мостів, що має цілком реальні причини. По-перше, це "розчарування" у важливості динамічних випробувань саме для автодорожніх мостів. Вимоги щодо динамічного коефіцієнта для автодорожніх мостів у нормах на проектування значно спростилися, а от нові підходи до нормування інших їх динамічних характеристик відображення в цих нормах не знайшли. Звідси і спад, – що не є обов'язковим, те зазвичай і не цікавить (кошти на це теж не виділять). По-друге, проявився певний вплив авторитетів з динаміки споруд кінця минулого століття, які прямо пропагували розвиток активних методів динамічних випробувань (вібраційна машина тощо) як найперспективніший напрям. Ця теза за відсутності коштів на вібраційні машини веде або ж до розвитку альтернативних методів, або ж до використання динамічних випробувань на найпростішому рівні. За відсутності коштів для нових досліджень напрям розвитку є очевидним – динамічні випробування автодорожніх мостів в Україні продовжують виконуватися за методиками

50-х років XX століття. Звичайно, є ціла низка науковців та інженерів-мостовиків, які в своїй практиці намагаються розвивати та поширювати методи динамічних випробувань мостів. На жаль, за відсутності загальної координації їх роботи та напрацювання залишаються в архівах.

Метою цієї статті є донесення до широкого загалу інформації про стан розвитку динамічних методів випробування мостів у світі та подання авторських розробок з цієї тематики.

Огляд розвитку методів динамічних випробувань мостів. Аналіз останніх публікацій світових видань на тему динамічних випробувань мостів та інших будівельних споруд дає змогу окреслити завдання, які сьогодні ставлять перед цим видом випробувань та успішно вирішують на практиці (рис. 1).



Рис. 1. Завдання, які вирішуються методами динамічних випробувань

Для успішного практичного вирішення вказаних завдань в останні 20 років було розроблено цілу низку нових методик проведення динамічних випробувань та аналізу їх результатів. Серед інших варто відзначити бурхливий розвиток методу динамічних випробувань, який англійською має назву Ambient Vibration Test [7] (дослівно “вібраційні випробування у навколишньому середовищі”). При цих випробуваннях спеціальне навантаження не застосовується, а використовуються випадкові збудження (вітер, мікросейсміка, проїзд транспорту тощо.). Реєстрація реакцій конструкції виконується досить тривалий час (інколи декілька місяців). Ці випробування є певним аналогом пасивних динамічних випробувань, які ще в СРСР були визнані неперспективними, що відображено навіть в деяких нормативних документах Росії та України з вібраційної діагностики мостів [9,10]. Значному поширенню вказаний метод динамічних випробувань насамперед завдячує появі нових алгоритмів опрацювання динамічних реакцій конструкції, за яких вхідне збудження залишається невідомим і які отримали загальну назву “Out only” (“лише вихід”, на відміну від “In and Out” – “вхід і вихід” – при активній вібраційній діагностиці). В багатьох країнах світу методи аналізу сигналів “Out only” розглядались у низці дисертацій, за якими створено та впроваджено запатентовані програмні комплекси, які формують модель конструкції та в автоматичному режимі визначають її натурні динамічні параметри [11]. Загальноприйнятим став висновок про те, що моніторинг технічного стану будівельних конструкцій значних розмірів найкраще виконувати саме за допомогою їх ідентифікації через натурні динамічні характеристики (Modal Identification). Швидкими темпами розвиваються та впроваджуються в практику методики визначення пошкоджень будівельних конструкцій методами динамічних випробувань (Damage Identification).

Огляд виконаних досліджень. Істотною особливістю мостів є їх робота під рухомим навантаженням, яке викликає значну динамічну складову відгуку мостових конструкцій. Реакції

головних балок (загальні деформації) прогонової будови автодорожнього мосту на проїзд вантажівки подано на рис. 2. На графіку можна виділити дві чітко означені зони: зона А – реакція при безпосередній дії навантаження; та зона В – вільні коливання.

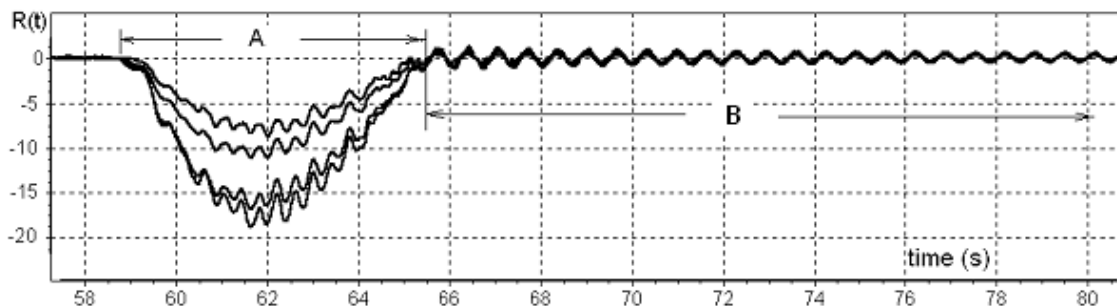


Рис. 2. Прогини головних балок прогонової будови мосту при проїзді вантажівки

Реакція балок на ділянці А являє собою суму квазістатичної реакції та динамічної реакції, викликаной рухом навантаження. Реакція балок на ділянці В є вільними коливаннями конструкції після з'їзду вантажівки. Амплітуда цих коливань для мостів є досить істотною і може становити до 50 % від максимального квазістатичного прогину від цього навантаження, що істотно відрізняє мости від більшості інших споруд, для яких амплітуди вільних коливань при пасивних випробуваннях виражені значно менше. Дослідження реакцій прогонових будов автодорожніх мостів на ділянці А були виконані автором упродовж 2001–2005 рр. За їх результатами була захищена кандидатська дисертаційна робота, а в 2007 році Укравтодор затвердив відомчі рекомендації [12]. Рекомендації спрямовані на широке впровадження в практику методик динамічних випробувань для визначення таких натурних характеристик, як:

- жорсткість прогонової будови;
- характер просторової роботи (поверхні впливу);
- маса прогонової будови.

Зазначені характеристики традиційно визначалися за результатами статичних випробувань чи за результатами натурних обмірювань. Викладені в рекомендаціях методики дають змогу виконувати випробування без зупинки руху транспорту по мосту, що особливо важливо в сучасних умовах. Умовою для успішної практичної реалізації методик є застосування сучасних цифрових вимірювальних комплексів. Алгоритми обробки й аналізу зареєстрованих динамічних реакцій розроблені з урахуванням використання стандартних і модифікованих до специфіки коливань будівельних конструкцій методів спектрального аналізу.

Розглянемо тепер ділянку В – вільні коливання конструкції. Реакція певної системи в часі є інтегралом згортки функції навантаження та імпульсної перехідної функції цієї системи. Перетворення Фур'є від згортки функцій дає добуток спектрів цих функцій, тому в частотній області реакція лінійної системи описується дуже просто:

$$S_{вих}(\omega) = S_{вх}(\omega)K(\omega), \quad (1)$$

де $S_{вх}(\omega)$ та $S_{вих}(\omega)$ – відповідно спектральні функції навантаження на вході та реакції на виході системи; $K(\omega)$ – спектральна функція імпульсної характеристики системи, яку ще називають *комплексною передаточною функцією* системи, або ж *передаточною характеристикою*, а її модуль та фазу – відповідно амплітудно-частотною та фазочастотною характеристиками системи.

На практиці передаточну функцію визначають, виконуючи випробування з використанням вібраційної машини та аналізуючи вхідні та вихідні сигнали. Аналізуючи (1), бачимо, що передаточну функцію лінійної системи можна також отримати прямим визначенням спектральної функції реакції системи на ідеальний одиничний імпульс. Інакше кажучи, реакції при вільних коливаннях та при вимушених коливаннях дають однакову інформацію про динамічні характеристики системи. Реальну конструкцію можна подати як систему з нескінченною кількістю

ступенів свободи та з нескінченною кількістю входів та виходів, які на практиці моделюються системами з певною кількістю входів та виходів (рис. 3) і для яких експериментально (з використанням вібраційної машини) знаходять набір передаточних функцій $K(\omega)_{ik}$ (матрицю передаточних функцій) [4].

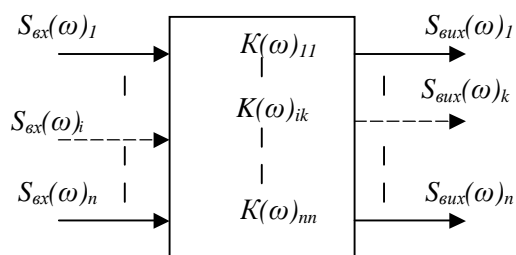


Рис. 3. Модель конструкції з N точками реєстрації реакції

Теоретично і в цьому випадку набір передаточних функцій можна отримати, визначивши низку спектральних функцій від реакцій системи на імпульси, що прикладаються в різних її точках. Як показали експериментальні дослідження, відмінність реального імпульсу від ідеального одиничного та неточності, пов'язані з отриманням спектральних функцій реакції на обмеженому в часі інтервалі, викликають певні труднощі та вносять розбіжності у результати, тому на пряму реалізувати вказаний підхід у визначенні передаточної функції з необхідною точністю не вдалося. Як побічний результат цих досліджень вдалося напрацювати методику визначення характеру просторової роботи конструкції за допомогою її випробування імпульсним навантаженням [12].

Для продовження досліджень було запропоновано модель, основну ідею якої можна записати таким виразом:

$$K_{ik}(w) = \sum_{n=1}^N K_{ikn}(w), \quad (2)$$

де $K(\omega)_{ik}$ – передаточна функція між точками i та k ; $K(\omega)_{ikn}$ – передаточна функція між точками i та k за n -ю власною формою (модальна передаточна функція).

Вільні коливання лінійної стаціонарної системи розглядаються як сума ортогональних реакцій за власними формами, ваговий вплив яких визначається модальними імпульсними функціями (функціями Гріна) або ж модальними передаточними функціями та початковими умовами, які передували вільним коливанням: швидкість (*імпульсна складова*) та зміщення (*кінематична складова*). Враховуючи ортогональність модальних функцій Гріна, кожен модальну передаточну функцію (перетворення Фур'є від модальної функції Гріна) можна визначити (розрахувати) як для лінійного осцилятора, а комплексну передаточну функцію можна отримати, склавши модальні передаточні функції (для практичного використання достатньо декількох перших форм). Для лінійних систем вираз (2), визначений через власні кутові частоти W , декременти коливань δ та амплітуди власних форм A (вагові коефіцієнти), у комплексній формі записується як:

$$K_{ik}(w) = \sum_{n=1}^N \frac{W_n A_{ikn}}{2} \left(\frac{e^{-jp/2}}{d_n W_n / 2p + j(w - W_n)} + \frac{e^{jp/2}}{d_n W_n / 2p + j(w + W_{ni})} \right), \quad (3)$$

Отже, опрацювання результатів випробувань зводяться до визначення частот, декрементів коливань та модальних коефіцієнтів впливу для кожної власної форми коливань системи (точніше, для тієї кількості N перших форм, які ми визначили для врахування). Частоти та декременти коливань визначаються методами спектрального аналізу за піковими положеннями амплітудних спектрів (Peak Picking method), форми коливань – за відношенням нормалізованих взаємних спектрів контрольованих точок. Теоретично повну інформацію про власні частоти та їх декременти коливань можна визначити за реакцією будь-якої точки конструкції (якщо вона не є вузловою для якоїсь із форм). На практиці це ще не завжди вдається, тому важливу роль відіграє планування випробувань, правильне визначення кількості точок вимірювання та їх розташування на

конструкції. Вирішальну роль при цьому відіграє методика опрацювання зареєстрованих сигналів, її роздільна здатність та точність визначення параметрів. Роздільна здатність для спектрального аналізу означає можливість виділення двох близьких частот двома піками на графіку амплітудного спектра – чим ближчі частоти розрізняються, тим більшою є роздільна здатність цього методу аналізу. Саме для мостових конструкцій розрізнення форм власних коливань, які мають близькі частоти, є важливою проблемою. Так, завдяки особливостям своєї конструкції переважна більшість прогонових будов автодорожніх мостів мають зони згущення частот, які утворюються близько частот власних коливань двовимірної балкової моделі за рахунок формування різних форм викривлення поперечного перерізу. Подібні згущення частот наявні і для нерозрізних балкових систем з однаковими чи близькими довжинами прогонів. Частоти різних форм у зонах вказаних згущень іноді відрізняються одна від одної лише на частки процента. Орієнтовна роздільна здатність спектрального аналізу є оберненою до часу функції, яку аналізуємо, відповідно тривалість віброграми у вказаних випадках повинна досягати декількох сотень секунд – і це у разі вільних коливань конструкції, коли згасання коливань на практиці відбувається іноді за лічені секунди. Очевидно, що для збільшення роздільної здатності спектрального аналізу під час аналізу вільних коливань будівельних конструкцій потрібно знайти особливий підхід.

Дослідження відомих методів спектрального аналізу, які застосовуються при опрацюванні результатів фонових динамічних випробувань (Ambient Vibration Test), показав, що вони належать до методів аналізу випадкових сигналів та є непараметричними методами, тобто в них не використовується інформація про сам сигнал. Такий підхід цілком виправданий для зашумлених сигналів з випадковим збудженням. Отримання спектра відбувається за таким алгоритмом:

1. Попереднє опрацювання віброграми, видалення неінформативних та бракованих ділянок, підбір загальної довжини віброграми залежно від бажаної точності та дисперсії результатів аналізу.
2. Поділ віброграми на певну кількість ділянок для осереднення спектральної оцінки (метод періодограми), кількість точок на кожній ділянці кратна двійці у цілочисловому степені.
3. Вибір вагової функції (“вікна”) для згладжування.
4. Знаходження швидкого перетворення Фур’є для кожної ділянки.
5. Нормалізація спектральних оцінок для кожної ділянки.
6. Сума нормалізованих амплітудних спектрів всіх ділянок та їх осереднення.
7. Коригування осередненого спектра (дія, обернена до накладання вагової функції).

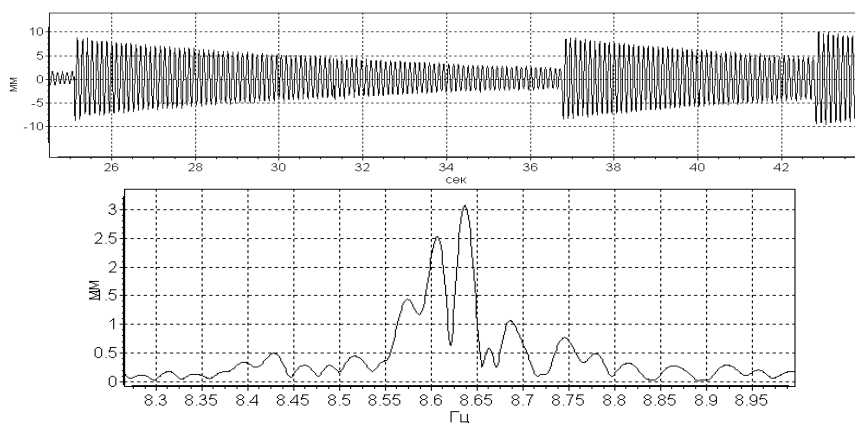


Рис. 4. Віброграма коливань лінійного осцилятора при дії випадкових імпульсів (вгорі) та її амплітудний спектр (внизу)

Використання цього алгоритму дає змогу виділяти власні частоти в коливаннях, які збуджені випадковими імпульсами та відбуваються на фоні сторонніх шумів. При цьому п. 1 та п. 2 відносно роздільної здатності виконують протилежні функції – збільшення загальної довжини віброграми веде до збільшення роздільної здатності, а поділ на ділянки – до її зменшення, в результаті чого роздільна здатність розглянутого методу часто є недостатньою. Необхідність поділу на ділянки та

знаходження осередненого спектра викликане особливістю дії випадкового імпульсного навантаження, за якого навіть спектр реакції осцилятора (одна власна частота) матиме дуже “порізаний” амплітудний спектр, хибні піки якого можна сприйняти за прояв власних частот (рис. 4).

Для вирішення проблеми роздільної здатності було вирішено відійти від непараметричних методів аналізу та скористатися тим, що для лінійних систем вільні коливання описуються сумою гармонічних функцій, які згасають за експоненціальним законом (в’язке тертя). Знання про початкову функцію значно спрощує дослідження її спектрального перетворення. Були виконані дослідження спектрального перетворення для функцій-аналогів реакцій лінійних систем з в’язким тертям. Встановлені властивості перетворення Фур’є залежно від початкової функції (наявних частот, їх різниці та фазового положення, величин декрементів коливання). Результати цих досліджень детально викладені в опублікованій монографії [13]. Були розроблені практичні методики для визначення амплітуд, частот та декрементів коливань за спектральними оцінками вільних коливань за наявності згущення частот. Проблему роздільної здатності вдалося повернути зі сфери аналізу до сфери технічного забезпечення – до проблеми точності та чутливості реєстраційного комплексу (зазначимо, що сказане стосується можливості отримання вільних коливань з потрібними амплітудами, як, наприклад, для мостів). Опрацювання віброграм відбувається за таким алгоритмом:

1. Попереднє опрацювання віброграми, оцінка її загальної та “незашумленої” тривалості, вибір “корисного” фрагмента.
2. Доповнення фрагмента “нулями” до довжини за необхідною дискретністю частот у спектрі.
3. Знаходження сім’ї спектрів зміщенням “робочого вікна” від початку віброграми.
4. Аналіз сім’ї отриманих спектрів та визначення амплітуд, частот та декрементів коливання.

За цим алгоритмом ми аналізуємо спектральну функцію вільних коливань, визначаємо її зміни, які викликані зміною фазового положення її гармонік, і залежно від цих змін знаходимо параметри коливань. Отже, поставлене завдання було вирішене і практична реалізація моделі за (3) стала цілком можливою. Окрім цього, новий підхід до аналізу з врахуванням властивостей спектральних функцій дав змогу розробити нові практичні методики визначення динамічних параметрів натурних конструкцій, які в поєднанні із 3-D моделюванням методом скінченних елементів на новому рівні дають змогу виконувати ідентифікацію споруд за їх динамічними характеристиками.

Як приклад, наведемо результати натурних досліджень (ДерждорНДІ, 2008–2009 рр.) руслової частини мосту–метро через р. Дніпро в м. Києві. Міст введено в експлуатацію в 1965 р (автор проекту – Фукс Г.Б.), довжина руслової частини мосту 687 м, ширина 29 м. Особливістю цього мосту є те, що його прогонові будови являють собою так зв. “фальшиві арки” (рис. 5).

Арки мосту утворені конструктивним елементом, який в проекті було названо “пташкою” і який являє собою збалансовані над опорою дві консольні піварки, з’єднані між собою у верхньому рівні через оголовок опори затяжкою. Затяжка виконана з напруженого пучкового армування, яке для зменшення загальної деформативності конструкції обтиснуте на залізобетонні конструкції проїзної частини мосту (блоки автопроїзду). У серединах кожного прольоту консолі сусідніх “пташок” шарнірно з’єднуються із забезпеченням поздовжніх (вздовж осі мосту) деформацій. Завдяки збалансованості кожної “пташки” на постійні навантаження сумісно вони працюють лише на тимчасове навантаження. Міст має дві проїзні частини для автотранспорту (з односторонніми тротуарами) та двоколійну смугу метрополітену, яку винесено на естакадну надбудову. Спеціалізовані обстеження, виконані у 1997 та 2008 роках, виявили значні деформації (прогини) кінців консолей всіх “пташок”. Для центральних прольотів прогини досягли 180...210 мм, при розрахункових тривалих деформаціях 70...90 мм. Порівняння даних за 2008 та 1997 роки показало, що деформації не стабілізувалися і продовжують наростати. Додаткові локальні дослідження арок та затяжки показали, що постійнодіючі напруження в бетоні елементів затяжки або ж близькі до нуля, або ж бетон вже є розтягнутим, замість того, щоб бути обтиснутим за проектом. Які відбулися

при цьому зміни в загальному балансуванні “пташок”, яка їх фактична робота на постійне та тимчасове навантаження, чи не переобтяжує одна консоль іншу? Відповіді на ці запитання можна дати, виконавши тотальне визначення постійних напружень у конструкціях всіх “пташок” та ряд статичних випробувань із закриттям руху по мосту. Такий підхід вимагав істотних додаткових коштів і викликав значні незручності, пов’язані з тривалим закриттям руху по мосту. Як альтернативу було запропоновано виконання динамічних випробувань за новітніми технологіями.

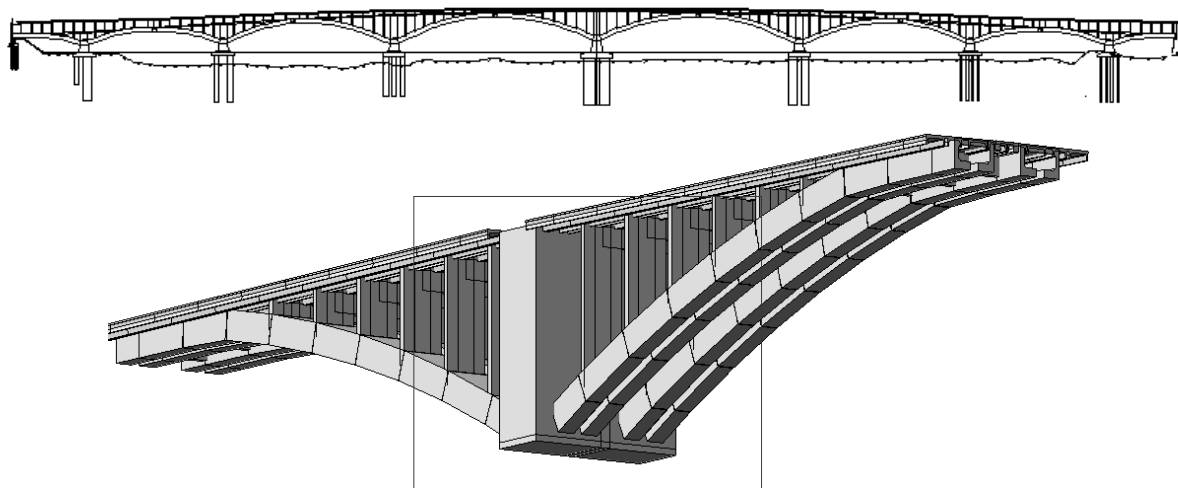


Рис. 5. Фасад мосту та 3-D модель центральної “пташки”

Динамічні випробування здійснювали без закриття руху, роль навантаження виконував експлуатаційний транспорт. Під час випробувань по чергово (режим однієї точки) реєструвалися віброшвидкості в середині кожного прольоту та напруження в бетоні окремих блоків арок та затяжок у двох з семи “пташок” (16 точок). Аналіз результатів випробування дав змогу чітко ідентифікувати дві перші форми власних коливань мосту, частоти яких становили $1,45 \pm 0,02$ Гц та $1,53 \pm 0,02$ Гц. Обидві перші форми коливань визначаються динамічними характеристиками центральної “пташки”, а розмах їх коливань зменшується до берегових “пташок” залежно від відношення прольотів та характеристик зв’язку між “пташками”. Аналіз обох форм та їх порівняння з розрахунковими формами моделі дали змогу зробити висновок про те, що за інтегральними характеристиками міст залишається в проектному режимі – арки та затяжки працюють повним перерізом, всі “пташки” залишаються збалансованими. Отримані результати дали змогу зарахувати проблеми мосту до невідповідностей за другою групою граничних станів, що вимагає невідкладних ремонтних робіт, але не впливає на вантажопідйомність мосту, яка і була оцінена як така, що відповідає проекту. У цьому випадку результати динамічних випробувань мосту стали визначальними під час прийняття цього важливого та непростого рішення.

Висновок. Динамічні випробування автодорожніх мостів, основані на новітніх методиках, є потужним та інформативним інструментом дослідження натурної роботи цих складних у динамічному аспекті споруд. Широке впровадження у практику сучасних методів динамічних випробувань дасть змогу на новому рівні виконувати визначення та моніторинг технічного стану мостів (як оперативний, так і постійний), особливо тих, які належать до великих, та для яких традиційні випробування є досить затратними та пов’язані з зупинкою руху.

1. EVACES’09. *Experimental vibration analysis for civil engineering structures / Proceedings of the international conference, Wroclav, Poland, 2009 – 208p.* 2. Коваль П.М. *Науковий супровід ДерждорНДІ системи експлуатації мостів України. / П.М. Коваль // Зб. н. ст. “Дороги і мости” випуск 7, том 1. – К.: ДерждорНДІ. – 2007 – С. 237...252.* 3. *Моніторинг будівельних конструкцій і*

застосування нових державних норм ДБН В.1.1-12:2006 «Будівництво в сейсмічних районах України» / [Хавкін О.К., Калюх Ю.І., Мар'єнков М.Г., Глуховський В.П., Приємський В.Д.] // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. –К.: НДІБК, 2008. – Вип.69. – С. 26–44. 4. Кулябко В.В. Динамика конструкцій, зданий и сооружений: уч. для вузов / В.В. Кулябко. – ЗГИА, Запорожье, 2005. – 232 с. 5. Кулябко В.В. Проблемы моделирования динамических нагрузок и расчетных схем сооружений, проведение динамических испытаний и анализа их результатов / В.В. Кулябко, В.А. Банах, В.П. Редченко // Зб. наук. пр. Вісник ДонНАБА – 2009. – Вип. 4(78) – С. 104–110. 6. Challenges in experimental vibration analysis for structural identification and corresponding engineering strategies / [Zhang J., Prader J., Moon K. A. F., Aktan A. E., Grimmelman K. A., Shama A.] // Proceedings of the international conference on experimental vibration analysis for civil engineering structures, Wroclaw, Poland, 2009. – P. 13–34. 7. Wenzel H. Ambient Vibration Monitoring / [Wenzel H., Pichler D.] John Wiley & Sons, Ltd, 2005 – 291 p. 8. Методические рекомендации по вибродиагностике автодорожных мостов. – М.: Росавтодор, 2001. – 24 с. 9. РВ.2.3-218-00018112-521:2006. Рекомендації з динамічних випробувань мостів та шляхопроводів. – К.: Укравтодор, 2006. – 34 с. 10. Andersen Palle. Identification of Civil Engineering Structures using Vector ARMA Models / P. Andersen. – Aalborg University. 1997. – 244 p. 11. РВ.2.3-218-03450778-711:2007 “Рекомендації з діагностики стану прогонових будов мостів за динамічною дією рухомого навантаження”. Укравтодор. – К., 2007. – 28 с. 12. Редченко В.П. Визначення розподілу зусиль між балками прогонової будови за результатами її випробування імпульсним навантаженням. / В.П. Редченко // Зб. наук. пр. Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського – 2009. – Вип. 3 – С. 165–171. 13. Редченко В.П. Особливості застосування спектрального аналізу при дослідженні коливань будівельних конструкцій: монографія / В.П. Редченко. – Дніпропетровськ: Пороги, 2010. – 98 с.

УДК 504.062, 504.433

Г.І. Рудько*, О.О. Мацієвська

*Державна комісія України по запасах корисних копалин,
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

РОЗПОДІЛ ФТОРУ В ПРИРОДНИХ ВОДАХ

© Рудько Г.І., Мацієвська О.О., 2010

Наведено результати аналізу гідрогеохімічного розподілу фтору в природних водах. Виявлено провінції з високим вмістом фтору в підземних водах. Показано вплив концентрації аніонів фтору в питній воді на стан здоров'я населення.

Ключові слова: фтор, природні води.

In the article the represented results of analysis of hydrogeochemical division of fluorine in natural waters. It is found out provinces with high maintenance of fluorine in underwaters. Influencing of concentration of anions of fluorine is rotined in a drinking-water on a health of population.

Keywords: fluorine, natural water.

Постановка проблеми. Рекомендована Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) концентрація фтору в питній воді – не більше за 1,5 мг/дм³ [13]. У багатьох країнах ця величина зазначена в державних нормативних документах на питну воду. Рекомендовані контрольні граничнодопустимі концентрації фтору у воді різних країн коливаються в межах цього рівня, причому точні значення залежать від температури повітря. В Україні нормативне значення концентрації фтору збігається з рекомендованим ВООЗ [1]. У Китаї та Індії рекомендована