

ВИПРОБУВАННЯ ПРОГІННИХ БУДОВ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ РУХОМИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Наведено методику та апаратно програмний комплекс для визначення структурних параметрів прогінної будови моста за результатами її випробувань рухомим навантаженням.

Представлены методика и апаратно программный комплекс для определения структурных параметров пролетного строения моста по результатам его испытаний движущейся нагрузкой.

The paper presents a technique and the program complex for definition of structural parameters of span structure of highway bridges by results of their tests by moving load.

Визначення технічного стану мостів України є важливою задачею загальнодержавного значення, актуальність цього питання неодноразово підкреслювалася провідними спеціалістами галузі [1; 2]. При визначенні технічного стану прогінних будов моста важливу роль відіграє знання про її фактичні структурні (внутрішні) параметри [3; 4]. Серед останніх одними з найважливіших є статична та динамічна жорсткості прогінної будови, характер її просторової роботи та зусилля від постійного навантаження. Оцінку характеру просторової роботи та визначення статичної жорсткості прогонової будови рекомендується виконувати за результатами її статичних випробувань [5]. Відомі методи проведення статичних випробувань прогонових будов мостів вимагають на певний час зупинити рух транспорту по споруді [5; 6], що при зростаючій інтенсивності руху стає досить складно та дорого. Методика визначення структурних параметрів прогонової будови за результатами її випробувань рухомим навантаженням, яка розроблена автором [7], дозволяє значно скоротити час натурних робіт у порівнянні зі статичними випробуваннями та в більшості випадків обходитися без закриття руху по споруді.

Визначення динамічних реакцій прогонової будови від дії рухомого навантаження відноситься до задач статистичної динаміки. Заміна рухомого навантаження нерухомим, яке змінюється за гармонічним законом значно спрощує математичний аналіз. Найбільш відомим є розв'язок задачі про динамічний відгук балки, по якій рухається сила, запропонований в минулому столітті академіком Криловим. Цей розв'язок увійшов в усі базові підручники з динаміки будівельних конструкцій. Для прогону середини балки з прогіном L під час руху по ній сили P зі швидкістю v , вказаний розв'язок описується таким рівнянням [8; 9]

$$y_{L/2}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{P\delta_{11}}{k^4(1-\beta_k^2)} \times \sin \frac{k\pi}{2} \left(\sin \frac{k\pi v}{L} t - \beta_k \sin k\omega_k t \right),$$

де δ_{11} – прогин балки від одиничної сили в середині прогону; ω_k – циклічна частота власних коливань балки k -ї форми;

$$\beta_k = \theta_k / \omega_k; \quad \theta_k = k\pi v / L.$$

Аналіз цього розв'язку, як і аналіз розв'язку системи диференціальних рівнянь для більш загального випадку, дозволив окреслити основні умови, обмеження та принципи визначення структурних параметрів прогонової будови за результатами її випробувань рухомим навантаженням. Дослідження динамічного відгуку МСЕ – моделі прогонової будови на рухоме навантаження дозволило ще раз підтвердити зроблені висновки. Остаточне формулювання вимог методики щодо навантаження, апаратно-програмного комплексу та алгоритмів визначення структурних параметрів прогонових будов виконувалося після ряду експериментальних робіт.

Розроблена методика дозволяє:

- отримувати лінії впливу загальних та місцевих деформацій характерних точок прогінних будов більшості типів автодорожніх мостів (оцінка просторової роботи прогінної будови);
- визначати статичну та динамічну жорсткості прогінної будови;
- визначати амплітудно-частотний спектр власних коливань прогінної будови;
- оцінювати та вести контроль постійного навантаження на прогінну будову.

Зміст методики полягає в отриманні сімейства віброграм контрольованих параметрів відгуку конструкції на рухоме навантаження та подальшій їх обробці за певними алгоритмами. Як навантаження використовуються рухомі одиночні транспортні засоби як з загального транспортно-го потоку, так і спеціально підготовлені.

Для практичної реалізації методики було створено апаратно-програмний комплекс. Комплекс приладів для реєстрації динамічних реакцій прогонової будови складається з чотирьох основних блоків: блок живлення та синхронізації, блок датчиків, блок перетворення сигналів датчиків (АЦП) та їх запису на флеш-пам'ять (F), блок передачі даних з флеш-пам'яті в ПК. Загальна структурна схема комплексу наведена на рис. 1.

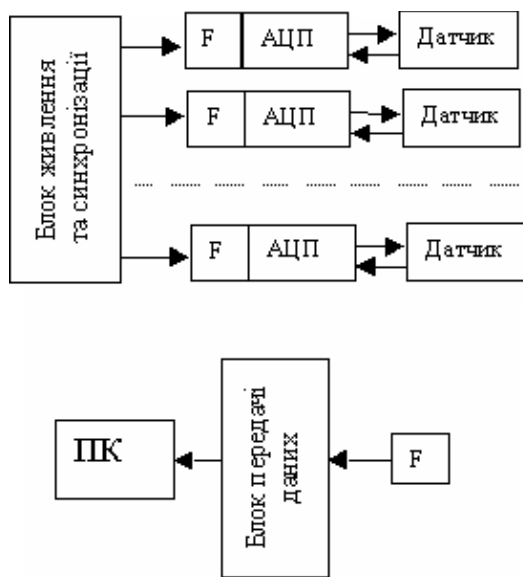


Рис. 1

Як видно з блок схеми, реєстрація сигналів від датчиків розділена на дві фази: запис на флеш-пам'ять та передача даних з флеш-пам'яті в ПК. При більшому часі, який витрачається на весь процес введення даних в ПК, така структура має цілий ряд переваг:

- на порядок нижча вартість всього комплексу в порівнянні з комплексом прямого запису на ПК;
- можливість використовувати будь-які ІВМ – сумісні ПК без їх переобладнання;
- можливість використання необмеженої кількості датчиків;
- можливість роботи на об'єкті без ПК;
- при застосуванні синхронізуючого радіоімпульсу можлива відмова від кабельних з'єднань.

Для даного комплексу було розроблено та створено два типи датчиків: перший на оптико-цифровій, другий на тензометричній базі. Обидва датчика призначені для вимірювання загальних деформацій з точністю 0,01мм. У той же час, можливе використання будь-якого датчика з аналоговим вихідним сигналом, настройка блока АЦП на конкретний датчик відбувається автоматично. Блок АЦП має рідкокристалічний дисплей, який дає можливість контролювати величину сигналу від датчика та вільний об'єм пам'яті. Кожен модуль, який складається із датчика та АЦП, можна використовувати повністю автономно. Блок синхронізації дозволяє виконувати синхронний запис на всю кількість необхідних модулів «АЦП+датчик» та ставити помітки в часі. Загальний вид комплексу приладів показано на рис. 2.

Рис. 2

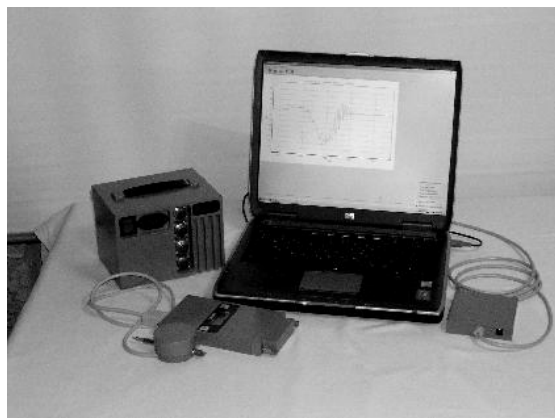


Рис. 2

Програмне забезпечення системи побудовано за модульно-ієрархічним принципом і має три рівні. На верхньому ступені ієрархії знаходиться програмний модуль, який забезпечує настройку конфігурації програмного середовища та виконує управління масивами даних. На наступному ступені знаходяться модулі, що здійснюють зв'язок з блоком зчитування та займаються перетворенням форматів даних. На нижньому ступені ієрархії знаходяться модулі обробки даних та їх графічної візуалізації. Інтерфейс програми виконано у вигляді загальноприйнятого «вікна» на інтерактивній основі.

Для прикладу коротко розглянемо результати випробування рухомим навантаженням шляхопроводу по пр. 40-річчя Жовтня в м. Києві. Шляхопровід має двоконсольну балкову прогінну будову з монолітного залізобетону з косиною 72°. Геометрична схема прогонової будови 6,06 + 15,54 + 6,06 (м). У поперечному перерізі прогінна будова має чотири поздовжні балки, які об'єднані між собою поперечними балками. За характерні точки були вибрані перерізи головних балок в середині прогону, при випробуваннях реєструвалися загальні деформації у вибраних точках. Навантаження (автомобілі КрАЗ масою по 21,0 т) рухалося по шля-

хопроводу зі швидкістю близько 40 км/год в інтервалах руху загального транспорту, які утворювалися внаслідок роботи світлофорів (5...10 с). Всього було виконано 8 заїздів автомобілів по різних полосах проїжджої частини. На рис. 3 показано віброграми динамічних прогинів головних балок, які були зареєстровані під час одного з заїздів.

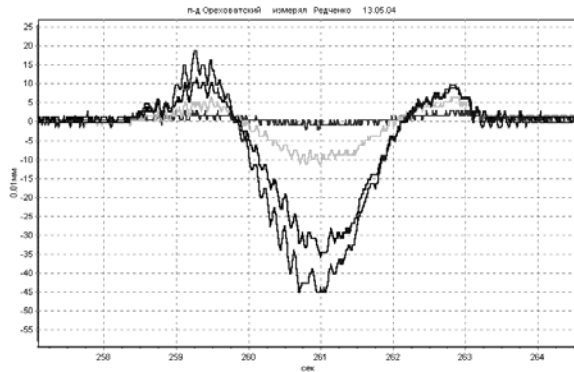


Рис. 3

Виділяючи квазістатичну складову для кожної віброграми, маємо можливість побудови поверхні впливу прогонів для кожної балки, а отже, знайти натурні значення інтегрованої статичної жорсткості прогінної будови та розподілу зусиль між балками (коефіцієнт поперечної установки). Крім цього, в даному випадку, додатково є можливість оцінити наявність та довжину перехідних плит.

Таким чином, наведена методика дозволяє виконувати визначення всіх тих параметрів прогінної будови, які традиційно визначаються на першому етапі статичних випробувань. При цьому одночасно можливе визначення динамічних характеристик конструкції.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Лантух-Лященко А. І. Проблеми створення національної системи експлуатації мостів // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення: Зб. доп. Українського міжгалузевого науково-практичного семінару. – К., 1998. – С. 138–145.
2. Дудник Е. С. О техническом состоянии некоторых больших мостов // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення: Зб. доп. Українського міжгалузевого науково-практичного семінару. – К., 1998. – С. 50–53.
3. Лантух-Лященко А. І. Наставни з визначення технічного стану мостів / А. І. Лантух-Лященко, В. І. Кир'ян, П. М. Коваль та ін. – К.: Логос, 2002. – 117 с.
4. ВБН В.3.1-218-174-2002 Мости та труби. Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються. – К.: Укравтодор, 2002. – 76 с.
5. ВСН 32-78 Инструкция по определению грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1979. – 142 с.
6. Лучко Й. Й. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів та конструкцій / Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. Л. Дем'ян. – Л.: Каменяр. – 2001. – 436 с.
7. Редченко В. П. Оцінка просторової роботи прогонової будови моста за результатами її випробування рухомим навантаженням // Автомобільні дороги і транспортне будівництво: Збірн. наук. пр. – К.: НТУ, 2004. – Вип. 68. – С. 84–88.
8. Киселев В. А. Строительная механика. Специальный курс. – М., 1969. – 427 с.
9. Безухов Н. И. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах / Н. И. Безухов, О. В. Лужин, Н. В. Колкунов. – М.: Высш. шк. – 1987. – 262 с.

Надійшла до редколегії 25.05.04.