

© А. М. Онищенко, докт. техн. наук, професор,
завідувач кафедри мостів, тунелів та
гідротехнічних споруд,
ORCID: 0000-0002-1040-4530,
e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com
(Національний транспортний університет);
© С. С. Завгородній, начальник Центру
мостів та будівельних конструкцій,
ORCID: 0000-0003-1928-4544,
e-mail: serhiy.zavhorodniy@gmail.com
(ДП «НІПІ»)

© Artur Onyschenko, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Head of the Bridges,
Tunnels and Hydraulic Structures Department,
ORCID: 0000-0002-1040-4530,
e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com
(National Transport University);
© Serhii Zavhorodnii, Head of the Center for
Bridges and Building Structures,
ORCID: 0000-0003-1928-4544,
e-mail: serhiy.zavhorodniy@gmail.com
(SE "NIDI")

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ МОСТІВ. ДОСВІД УКРАЇНИ ТА СВІТОВА ПРАКТИКА

MODERN APPROACHES TO IN-SITU BRIDGE TESTING IN THE EXPERIENCE OF UKRAINE AND WORLD PRACTICE

Анотація. Представлено результати комплексного дослідження технічного стану автомобільного багатопрогнового залізобетонного мосту на основі поєднання статичних і динамічних випробувань. Проаналізовано методіку випробування американського мосту за публікаційним джерелом та досвід натурного обстеження збірно-монолітного залізобетонного шляхопроводу в Україні. Для обох об'єктів реалізовано програму випробувань, що включала багатоканальні вимірювання прогинів, напружень і прискорень, визначення модальних характеристик і калібрування розрахункових моделей за результатами натурних спостережень.

Порівняння методів продемонструвало їхню близькість та підтвердило, що чинні українські нормативні документи є актуальними порівняно з міжнародними стандартами і забезпечують достовірність оцінки вантажопідйомності та технічного стану споруд. У роботі акцентовано на необхідності ширшого впровадження практики натурних випробувань під час приймання в експлуатацію новозбудованих і реконструйованих мостів, а також за потреби уточнення їхніх фактичних характеристик, що сприятиме підвищенню безпеки й довговічності транспортної інфраструктури.

Ключові слова: автомобільна дорога, власні форми коливань, дефект, статичне випробування, динамічне випробування, жорсткість, міст, модальне контролювання, прогонова будова, технічний стан, вантажопідйомність.

Abstract. The article presents the results of a comprehensive study of the technical condition of a multi-span reinforced concrete highway bridge using a combination of static and dynamic load tests. The testing methodology of an American bridge (according to a published source) and the experience of full-scale testing of a composite reinforced concrete overpass in Ukraine are analyzed. For both structures, the testing program included multi-channel measurements of deflections, stresses and accelerations, identification of modal characteristics, and calibration of analytical models based on field observations.

The comparison of methods demonstrated their similarity and confirmed that the current Ukrainian normative documents remain relevant in relation to international standards and ensure reliable assessment of load-carrying capacity and structural condition. The study emphasizes the need for wider implementation of full-scale testing during commissioning of newly built and reconstructed bridges, as well as when more accurate determination of their actual characteristics is required, which will enhance the safety and durability of the transport infrastructure.

Keywords: highway, natural vibration modes, defect, static testing, dynamic testing, stiffness, bridge, modal monitoring, superstructure, technical condition, load-carrying capacity.

Вступ

Визначення технічного стану мосту є обов'язковим та важливим етапом системи експлуатації автомобільних доріг, оскільки актуальність призначеного споруді технічного стану безпосередньо впливає на планування ремонтно-відновлювальних заходів і підтримання працездатності споруди. Технічний

стан встановлюють залежно від того, наскільки конструкції забезпечують вимоги граничних станів під дією нормативно регламентованих навантажень [1]. У практиці експлуатації це підтверджують шляхом порівняння фактичної вантажопідйомності з характеристичними тимчасовими навантаженнями. Для новозбудованих споруд, а також у випадках, коли розрахунковими методами складно врахувати

реальні умови роботи конструкцій, норми передбачають виконання натурних випробувань [2, 3].

Натурні випробування класифікують за типом прикладеного навантаження на статичні та динамічні. Статичні випробування виконують під дією навантаження, яке не викликає прискорень відносного руху точок конструкції (як правило, нерухоме навантаження від транспортних засобів, розміщених у заданих положеннях). Динамічні випробування проводять під дією сил, що зумовлюють прискорений відносний рух точок елементів і формують коливання, для цього застосовують рухомі транспортні засоби або спеціальні збудовачі коливань. Загальні вимоги до організації та проведення випробувань, складу програм і приймальних критеріїв визначені національними нормативними документами [2–7], а головною метою є отримання натурних даних для уточнення розрахункової моделі споруди та підтвердження розрахункових припущень.

Основна частина

Статичні випробування використовують для фіксації фактичних прогинів і деформацій на відомих рівнях навантаження, перевірки роботи конструкції за максимально наближених до експлуатаційних схем навантаження та, за потреби, для встановлення характеру можливого руйнування. Проведення статичних випробувань, як правило, потребує обмеження або зупинки руху на період випробувань. Ди-

намічні випробування спрямовані на визначення модальних параметрів (власних частот, форм коливань, демпфування), оцінювання ударного впливу рухомого навантаження та аналіз реакції споруди на короткочасні чи періодичні збурення. Збудження вільних коливань імпульсними впливами дає змогу оперативно отримувати інформативні показники за мінімального втручання в організацію руху. Комбіноване застосування статичних і динамічних методів у поєднанні з калібруванням розрахункових моделей за натурними даними зменшує невизначеність оцінювання та підвищує надійність висновків щодо придатності до експлуатації.

Як приклад розглянемо випробування автомобільного багатопрогонового залізобетонного мосту з розвідною секцією у штаті Флорида (США) [8]. Цей міст має довжину 912 м і був побудований у 1964 році (рис. 1). Споруда складається з розвідного металевого прогону та залізобетонних прогонів із використанням попередньо-напружених балок AASHTO II з кроком 2,4 м.

Під час цього випробування було проведено статичні та динамічні перевірки, метою яких було уточнення технічного стану споруди та визначення фактичної вантажопідйомності залізобетонних прогонів. Для реєстрації реакції конструкцій під час статичних і динамічних випробувань було використано комплексну систему вимірювань, що фіксувала переміщення, напруження та коливання (рис. 2).



Рис. 1. Вид на досліджуваний міст у штаті Флорида (США)

На нижніх поясах головних балок по контрольних точках розмістили потенціометри для контролю прогинів, тензодатчики для визначення напружено-деформованого стану та мережу акселерометрів для оцінки динамічних параметрів. Камери високої роздільної здатності дублювали контроль переміщень і фіксували рух транспорту. Така система забезпечила повне відтворення просторової роботи мосту та надала дані для модального аналізу й калібрування розрахункової моделі.

Для оцінки роботи споруди застосовано комбіновану програму навантаження, що містила статичні та динамічні випробування з двома різними вантажівками. Під час статичних тестів автомобілі послідовно встановлювали на чотири визначені позиції в кожній смузі руху, що дало змогу зафіксувати розподіл навантаження та перевірити лінійність деформацій.

Динамічні випробування відтворювали ті ж схеми, але з рухом автомобілів на регламентованих швидкостях, що дало змогу оцінити реакцію конструкції під час проїзду та визначити динамічний коефіцієнт. Такий підхід забезпечив комплексне уявлення про поведінку мосту за різних режимів експлуатації.

Під час статичних випробувань виконано повний цикл досліджень, спрямованих на визначення несної здатності та оцінку просторової роботи прогонової будови після ремонтних робіт. Основний етап передбачав почергове прикладання навантаження від двох випробувальних вантажівок різної маси та конфігурації осей (рис. 2). Кожну машину послідовно встановлювали за чотирма передбаченими схемами у межах кожної смуги руху, що дало змогу відтворити повний цикл впливу зосереджених навантажень по довжині прогону. У контрольованих перерізах, на чверті прольоту, посередині та на трьох чвертях, здійснювали вимірювання переміщень і напружень.

Натурні вимірювання прогинів і напружень, отримані під час статичних випробувань, використано для визначення коефіцієнтів розподілу живого навантаження (рис. 3), де максимальні значення становили близько 0,4 під однією вантажівкою та до 0,6 при сумуванні окремих схем навантаження, що підтвердило ефективну поперечну роботу плити. Порівняння з розрахунками за AASHTO та з розрахунковою моделлю показало близьку відповідність отриманих показників за певного запасу безпеки, передбаченого нормативними вимогами.

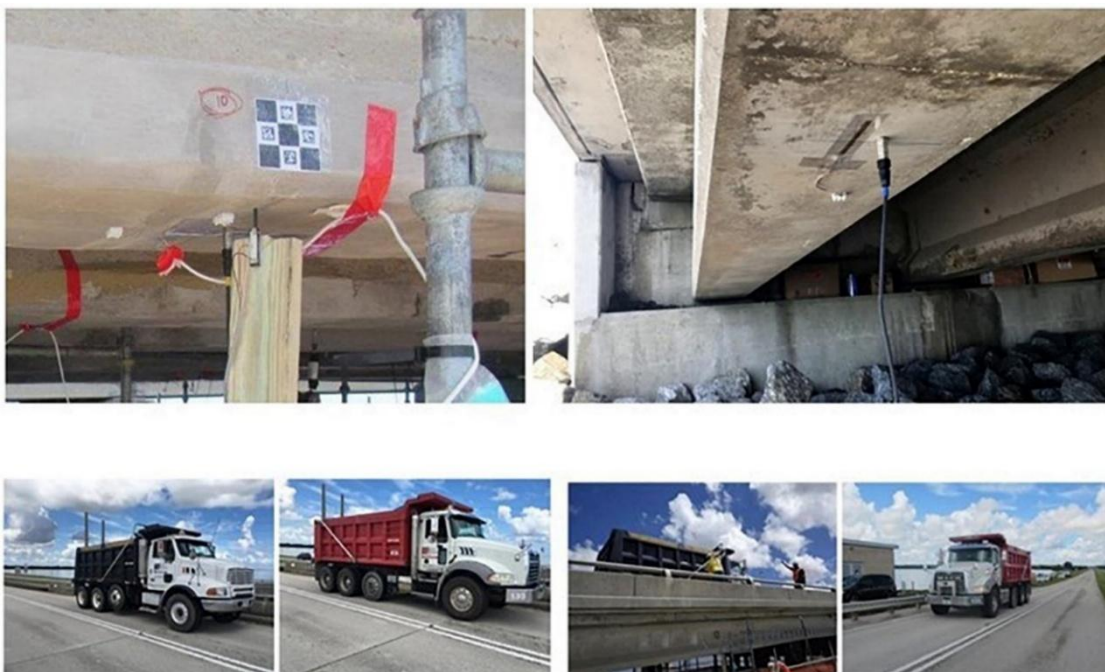


Рис. 2. Процес випробування мосту та датчики, які використовували під час тестування

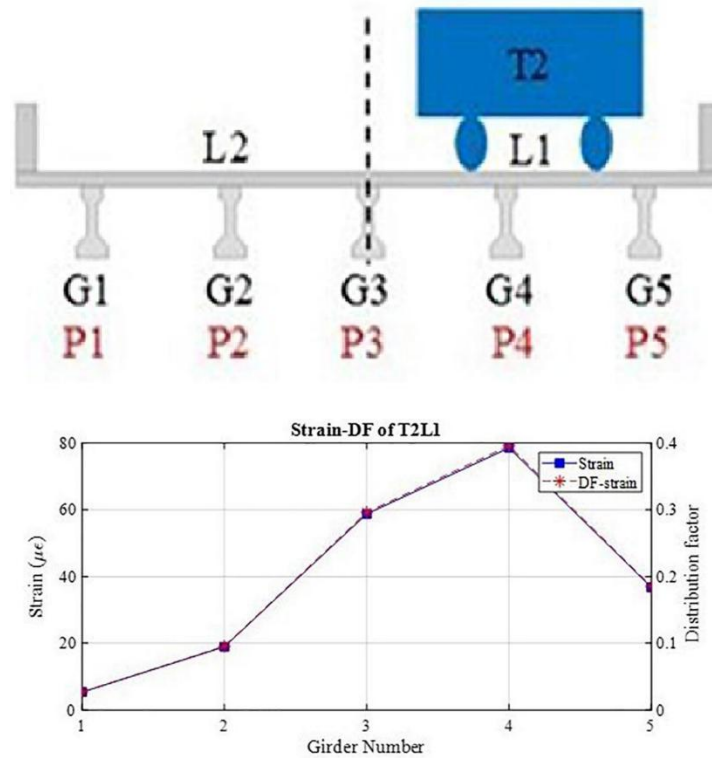


Рис. 3. Розподіл напружень і коефіцієнтів розподілу живого навантаження у головних балках для схеми навантаження

Для перевірки пружної роботи конструкції проведено порівняння реакції прогонової будови на різні рівні навантаження, що підтвердило її лінійність у робочому діапазоні. На основі отриманих коефіцієнтів розподілу навантаження та результатів розрахункової моделі визначено коефіцієнти вантажопідйомності за вимогами AASHTO, що дозволило оцінити фактичну несучу здатність прогонової будови мосту. Додатково перевірено експлуатаційну придатність за прогинами: максимальний прогин у середині прольоту становив близько 2,75 мм, що в кілька разів менше граничного значення $L/800$, що для даного прольоту становить 19,8 мм, за нормами AASHTO.

Комплекс проведених робіт показав, що прогонова будова зберігає розрахункову жорсткість, ефективно перерозподіляє навантаження між головними балками та має значний запас несучої здатності. Отримані результати стали основою для уточнення розрахункової моделі, оцінки залишкового ресурсу й підтвердження безпечної експлуатації мосту без обмежень руху.

Динамічні випробування були проведені у форматі модального тестування з визначенням власних частот та форм коливань для оцінки динамічних характеристик мосту, уточнення його розрахункової моделі та подаль-

шого контролю змін жорсткості у процесі експлуатації. Під час руху випробувальної вантажівки зі швидкістю 90 км/год здійснено реєстрацію прискорень у контрольних точках за допомогою п'ятнадцяти акселерометрів. Отримані результати опрацювали методами спектрального аналізу та ідентифікації коливань, що дало змогу за вимірними прискореннями визначити власні частоти, форми коливань і рівень затухання конструкції без потреби у штучному збудженні.

За результатами обробки встановлено, що перша основна форма коливань має характер поперечного згину прогонової будови з власною частотою близько 8,35 Гц. Порівняння отриманих експериментальних даних з уточненою розрахунковою моделлю підтвердило їхню узгодженість і достовірність. Отримані результати засвідчили адекватність моделі та створили основу для подальшого моніторингу змін жорсткості й граничних умов мосту в процесі довготривалої експлуатації.

Загалом використаний комплексний підхід до дослідження мосту на основі поєднання статичних і динамічних випробувань із розвинутою системою вимірювань і подальшим аналітичним опрацюванням даних. Статичні навантаження застосовано для виявлення фактичних ліній впливу, розподілу навантаження

та перевірки роботи конструкції під навантаженням, а динамічні – для визначення власних частот і форм коливань та калібрування розрахункової моделі. Ключовою особливістю методики є інтеграція натурних спостережень із розрахунковою моделлю, що дозволяє зіставити результати натурних вимірювань із теоретичними, які були отримані на основі розрахунків та підвищити точність оцінки технічного стану. Такий підхід забезпечує достовірну основу для подальшого моніторингу технічного стану споруди, оптимізації режимів експлуатації та планування ремонтно-відновлювальних заходів.

Для висвітлення підходів, що застосовуються в Україні, розглянемо приклад випробування залізобетонного шляхопроводу після завершення будівництва, розташованого на заході України. Метою проведення випробувань було отримання фактичних характеристик елементів і конструкцій шляхопроводу для технічної оцінки їх несучої спроможності, визначення реальної вантажопідйомності споруди та підготовка рекомендацій щодо її подальшої експлуатації. Об'єктом дослідження був трипрогоновий збірно-монолітний залізобетонний шляхопровід із розрізною схемою прольотів 21 + 33 + 21 м та габаритом проїзної частини Г11 + 1,8 м (рис. 4). Проектні тимчасові навантаження відповідають А15 та НК-100.

Кожна прогонова будова має у поперечнику вісім попередньо напружених збірних залізобетонних балок І-подібного перерізу, об'єднаних монолітною плитою проїзної частини. У межах центрального прогону проходять дві колії залізниці.

Для проведення статичних випробувань як навантаження використано чотири спеціально підготовлені вантажівки **MAN TGS 41.440** (рис. 5). Перед початком робіт кожен автомобіль було зважено з фіксацією його фактичної маси. Схеми навантаження розроблено таким чином, щоб забезпечити максимально рівномірне та показове прикладання зусиль. Було проведено випробування за шістьма схемами завантаження, три з розташуванням колон уздовж одного тротуару та три з їхнім розміщенням уздовж протилежного. У кожній схемі дві вантажівки першого ряду встановлювалися так, щоб їхні задні осі розміщувалися за серединою прогону, а дві вантажівки другого ряду розташовувалися позаду першого ряду максимально щільно із забезпеченням мінімального допустимого зазору (рис. 6, 7).



Рис. 4. Вид на фасад споруди нового шляхопроводу ліворуч за ходом кілометражу

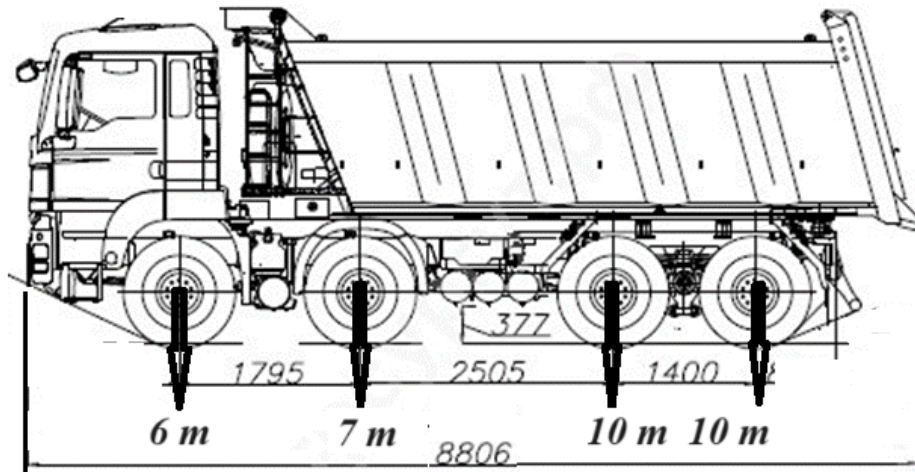


Рис. 5. Схема вантажівки MAN TGS 41.440 масою 33 т

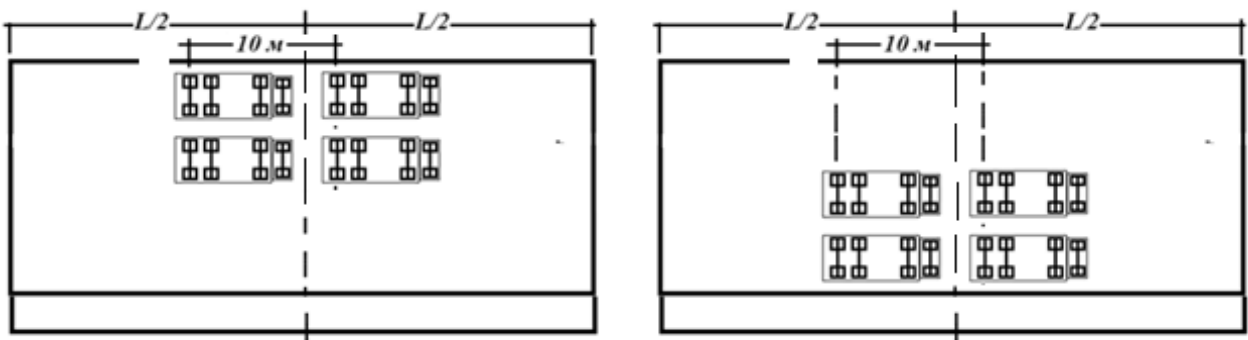


Рис. 6. Дві схеми положення навантаження на прогоновій будові (план)



Рис. 7. Вантажівки, встановлені у прогоні 1-2 (схема 1)

До початку проведення основного циклу статичних випробувань було проведено обкатку. Кожна вантажівка здійснила по кілька проїздів у двох напрямках зі швидкостями від 10 до 40 км/год. Під час обкатки безперервно реєстрували реакцію конструкцій та контролювали показники приладів. За наявності залишкових деформацій понад 5% процедуру повторювали до отримання стабільних результатів.

Після завершення обкатки були проведені основні статичні випробування у порядку нумерації схем навантаження. Перед і після кожного циклу фіксували початкові та кінцеві відліки всіх вимірювальних приладів. На **рис. 7** наведено приклад розташування вантажівок за основною схемою, а на **рис. 8** подано типові графіки зареєстрованих динамічних прогинів головних балок, де чітко відображено проходження кожного автомобіля.

Для визначення модальних характеристик прогонової будови естакади проведено динамічні випробування шляхом реєстрації її коливань під час проїзду одиночних транспортних засобів у процесі обкатки. Збудження здійснювалося без спеціальних ударних пристроїв, виключно за рахунок руху автомобілів, що дозволило зафіксувати

поведінку конструкції в умовах, наближених до експлуатаційних. Застосовані методи модального контролю належать до сучасних підходів динамічного тестування, докладно описаних у статтях [9-14]. У середині прогону 1-2 встановлено вимірювальні прилади для контролю абсолютних вертикальних переміщень (прогинів) головних балок. Сигнали з датчиків записувалися у пам'ять комп'ютера, що дало можливість отримати віброграми та їх амплітудні спектри (**рис. 9**).

Обробку віброграм виконано у програмному комплексі «СпектрУМ», на основі чого визначено власні частоти за нижчими формами коливань і відповідні логарифмічні декременти затухання (**табл. 1**). Отримані параметри рекомендовано використовувати для подальшого моніторингу технічного стану прогонової будови. На **рис. 10** наведено епюри перших власних форм коливань.

Додатково встановлено функцію динамічного коефіцієнта відповідно до вимог ДСТУ 8748 із використанням даних про відгуки конструкції під час проїзду одиночних вантажівок (**рис. 11**). За результатами аналізу динамічний коефіцієнт для розрахункової швидкості руху 60 км/год становить 1,24, а для швидкості 90 км/год – 1,35.

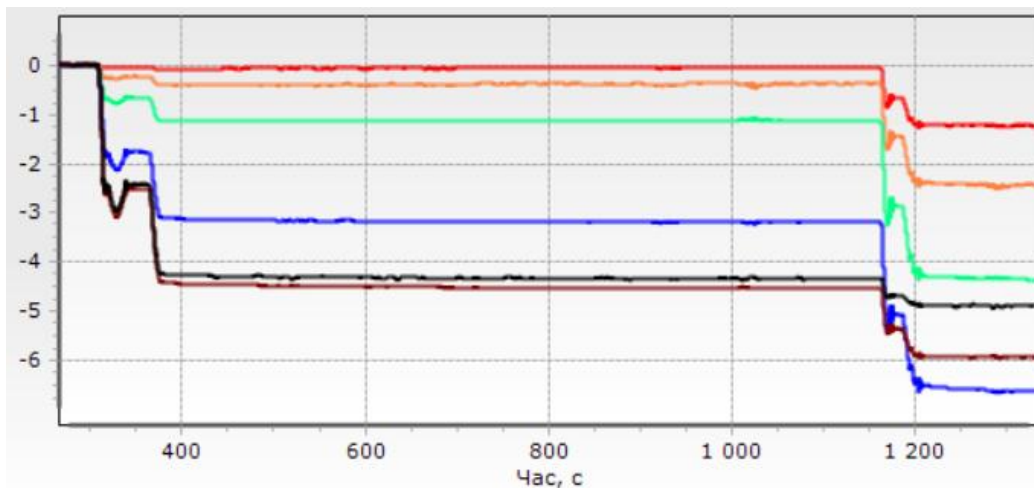


Рис. 8. Графіки прогинів (мм) головних балок прогонової будови естакади за схемою завантаження №1

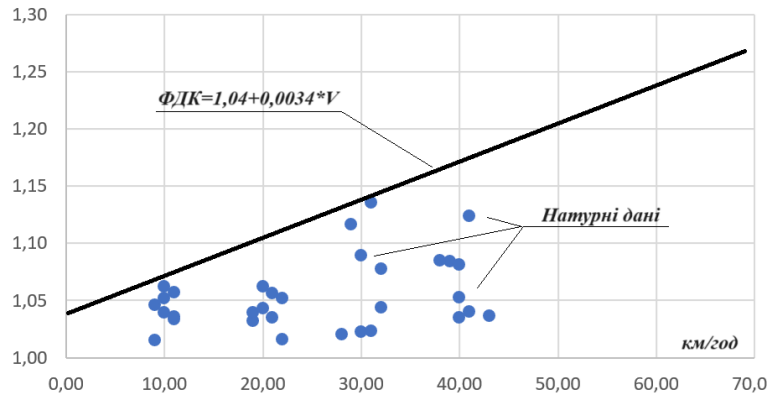


Рис. 11. Функція динамічного коефіцієнту, визначена відповідно до ДСТУ 8748

Аналіз результатів випробувань здійснено шляхом порівняння розрахункових і фактичних відгуків конструкції на дію випробувального навантаження. Для усунення впливу поперечного розподілу між головними балками порівняння проводили за середнім значенням прогину, яке визначали як відношення суми прогинів усіх балок до їхньої кількості. У таблиці 2 наведено співставлення розрахункових і експериментальних значень вертикальних переміщень у середині кожного прольоту та значення конструктивного коефіцієнта $K_{кр}$, що характеризує відношення фактичних показників до розрахункових. Нормативними вимогами передбачено, що цей коефіцієнт має бути меншим за одиницю.

Значення конструктивних коефіцієнтів перебувають у межах 0,81-0,89, що підтверджує наявність запасу міцності реальної споруди порівняно з розрахунковою моделлю. Залишкові прогини зафіксовано на рівні точності вимірювань. Вони не перевищують допустимих значень, установлених нормативами.

На **рис. 12-14** наведено епюри прогинів поперечного перерізу прогонової будови 1-2 при завантаженні різних смуг проїзної частини. Там же подано коефіцієнти поперечного розподілу (КПР) для кожної балки, що були використані під час визначення вантажопідйомності прогонових будов.

Таблиця 2

Порівняння розрахункових та фактичних значень контрольованих відгуків

Контрольований параметр	За розрахунком	За випробуванням	Констр. коеф. $K_{кр}$
Прогин всередині прольоту 1-2, мм	6,28	5,6	0,89
Прогин всередині прольоту 2-3, мм	15,4	12,4	0,81
Прогин всередині прольоту 3-4, мм	6,28	5,2	0,83

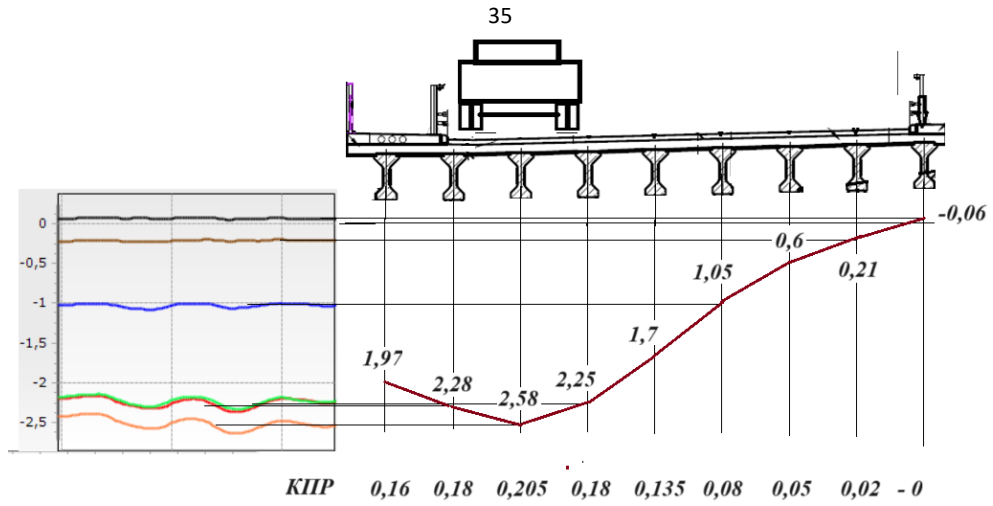


Рис. 12. Епюра прогинів поперечного перерізу прогонової будови 1-2 при завантаженні смуги 1

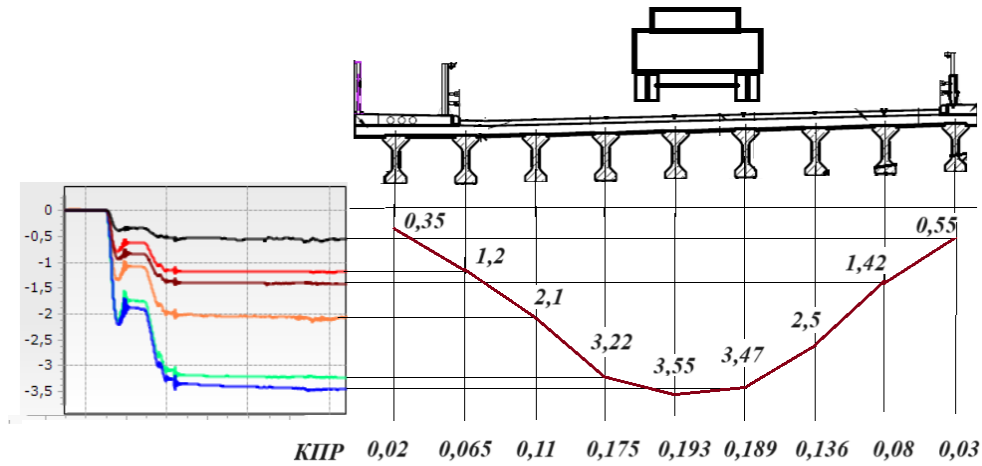


Рис. 13. Епюра прогинів поперечного перерізу прогонової будови 1-2 при завантаженні смуги №2

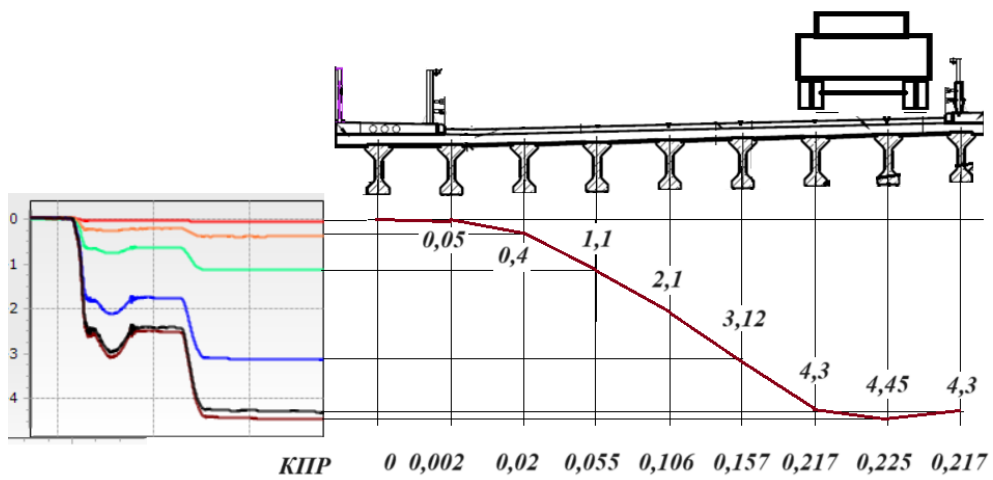


Рис. 14. Епюра прогинів поперечного перерізу прогонової будови 1-2 при завантаженні смуги №2

Граничні згинальні моменти для рухомого навантаження

Довжина балки	Граничний момент, тм	
	За 1-ю групою граничних станів	За 2-ю групою граничних станів
21,0 м	367	240
33,0 м	856	581

Аналіз результатів випробувань показав, що фактичні прогини головних балок відповідають спільній роботі збірних елементів і монолітної плити проїзної частини. Встановлено нерівномірність жорсткості по ширині споруди: сторона прогонової будови з боку тротуару характеризується більшою жорсткістю, ніж протилежна. Цей висновок підтверджують динамічні вимірювання – ординати першої форми власних коливань для балок під тротуаром є меншими, ніж для балок протилежної сторони.

Загалом конструкція працює в умовах, що забезпечують стабільну та оборотну роботу під дією тимчасових рухомих навантажень. Фактична жорсткість прогонових будов перевищує розрахункову завдяки додатковому залученню в роботу монолітної плити тротуару.

За даними натурних обмірів визначено постійні навантаження на головні балки та перевірено умови міцності й тріщиностійкості для проектних рухомих навантажень А-15 і НК-100 із коефіцієнтом надійності за відповідальністю, рівному 1,0. Граничні згинальні моменти для балок довжиною 21 м і 33 м, що працюють спільно з монолітною плитою за відстані між балками 1,6 м, наведено у **табл. 3**.

Отримані значення свідчать про виконання вимог обох груп граничних станів, що підтверджує відповідність вантажопідйомності прогонових будов нормативним рухомих навантаженням А-15 та НК-100.

Згідно з МР В.2.3-37641918-921:2021 «Методичні рекомендації з визначення вантажопідйомності автодорожніх мостів» [7], фактична вантажопідйомність шляхопроводу становить: максимальна маса транспортного засобу в колоні – 46 т (загальний режим руху), максимальне навантаження на вісь – 15 т (загальний режим руху), максимальна маса великовагового транспортного засобу – 100 т

за умови відсутності інших транспортних засобів і швидкості руху до 5 км/год в умовах руху по осі проїзної частини. Технічний стан прогонових будов за вантажопідйомністю оцінюється як справний (1-й стан).

Висновки

Проведене порівняння демонструє близькість українських підходів до випробування мостів до світової практики. Як у США, так і в Україні використовують схожі методи, що передбачають поєднання статичних і динамічних випробувань, багатоканальні вимірювання прогинів, напружень та прискорень, визначення модальних характеристик і калібрування розрахункових моделей за результатами натурних спостережень. Це підтверджує, що вимоги чинних українських нормативних документів залишаються актуальними порівняно з міжнародними стандартами та забезпечують отримання достовірних даних для оцінки технічного стану і вантажопідйомності споруд.

Отримані результати підкреслюють необхідність подальшого поширення практики натурних випробувань на території України, особливо у випадках, коли лише розрахункових методів недостатньо для повної оцінки фактичного стану конструкцій. Застосування таких досліджень під час введення в експлуатацію новозбудованих об'єктів, після реконструкцій чи підсилень, а також на спорудах зі складними умовами роботи сприятиме підвищенню точності визначення реальних експлуатаційних характеристик, своєчасному плануванню ремонтно-відновлювальних заходів та забезпеченню безпечної довготривалої експлуатації мостів.

References

1. SE NIDI. (2009). DBN V.2.3-6:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprobuvannia [State Building Norms (DBN V.2.3-6:2009) Transport facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing]. Kyiv, 73. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. SE NIDI. (2009). DBN V.2.3-22:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia [State Building Code of Ukraine (DBN V.2.3-22:2009) Transport facilities. Bridges and culverts. Basic design requirements]. Kyiv, 40. (Information and documentation) [in Ukrainian].
3. TC 321. (2022). DSTU 9181:2022 Sporudy transportu. Nastanova z otsiniuvannia i prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv [State Standard of Ukraine (DSTU 9181:2022) Transport buildings. Instructions for assessing and forecasting the technical condition of road bridges]. Kyiv, 121. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. SE NIDI. (2018). DSTU 8748:2017 Nastanova shchodo provedennia dynamichnykh vyprobuvan avtodorozhnikh mostiv [State Standard of Ukraine (DSTU 8748:2017) Guidelines for dynamic testing of road bridges]. Kyiv, 22. (Information and documentation) [in Ukrainian].
5. TC 321. (2022). DSTU 9123:2021 Nastanova z obstezhennia ta vyprobuvannia mostiv i trub [State Standard of Ukraine (DSTU 9123:2021) Guidelines for the inspection and testing of bridges and pipes]. Kyiv, 43. (Information and documentation) [in Ukrainian].
6. TC 321. DSTU 9280:2024 Nastanova shchodo provedennia statychnykh vyprobuvan avtodorozhnikh mostiv [State Standard of Ukraine (DSTU 9280:2024) Guidelines for the static testing of highway bridges]. Kyiv, 2024. 23 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
7. SE NIDI. (2021). MR V.2.3-37641918-921:2021 Metodychni rekomendatsii z vyznachennia vantazhopidionnosti avtodorozhnikh mostiv [Methodical Recommendations (MR V.2.3-37641918-921:2021) Guidelines for determining the load-carrying capacity of highway bridges]. Kyiv, 2021. 48 (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. Dong, C., Bas, S., Debees, M., Alver, N., & Catbas, F. N. (2020). Bridge load testing for identifying live load distribution, load rating, serviceability and dynamic response. *Frontiers in Built Environment*, 6, 46.
9. Redchenko, Vasyl, Zavorodnii, Serhii. (2024). Dynamic testing of bridges. General overview of methods. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2024. I29. 293–306 [in Ukrainian].
10. Redchenko, Vasyl, Zavorodnii, Serhii. (2023). Dynamic testing of bridges with impulse loading. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2023. 28, 185–194 [in Ukrainian].
11. Redchenko, V. P. (2012). Development of methods for dynamic testing of bridges and spectral analysis algorithms for processing their results: Doctor of Technical Sciences: specialty 05.23.01. Dnipro, 2012. [in Ukrainian].
12. Redchenko, V. P. Vyznachennia rozpodilu zusyly mizh balkamy prohonovoi budovy za rezultaty yyy vyprobuvannia impulsnym navantazhenniam. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського nauk.-doslidn. ta proektnoho instytutu stalevykh konstruktsii imeni V. M. Shymanovskoho*, 3, 165–171. [in Ukrainian].
13. Redchenko, V. P. (2010). Identyfikatsiia defektiv sporud metodamy dynamichnoi diahnostryky. *Stroytelstvo, materyalovedenye, mashynostroenye*, 52, 2, 100–104. [in Ukrainian].
14. Redchenko, V. P. (2010). Rozvytok metodiv dynamichnykh vyprobuvan avtodorozhnikh mostiv. *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnikha»*, 664, 164–171. [in Ukrainian].