

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.21.09:[625.1:539.3]

М. В. ГЕРНИЧ^{1*}, С. В. КЛЮЧНИК²

^{1*}Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (093) 874 33 55, ел. пошта gernich.nikolau@gmail.com, ORCID 0000-0002-5069-4798

²Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (067) 367 34 34, ел. пошта ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

Результати натурних досліджень напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту

Мета. Основною метою дослідження є визначення напружено-деформованого стану та робочих характеристик наявної сталезалізобетонної прогонової будови під залізницю після тривалої експлуатації в разі сприйняття статичних і динамічних навантажень. **Методика.** Для досягнення мети проведено натурні обстеження наявного мостового переходу в цілому, основну увагу зосереджено на сталезалізобетонній прогонової будові, визначено умови та особливості її експлуатації, проведено статичні і динамічні випробування. Під час випробувань вимірювали загальні деформації прогонових будов (вертикальні й горизонтальні прогини) та напружений стан в елементах конструкцій за різних схем навантажень. У ході динамічних випробувань проводили реєстрацію статичних і динамічних складових прогинів та зміни напружень в елементах конструкцій під час проходження рухомого складу по прогонової будові. Досліджено взаємодію прогонової будови з рухомим складом, вплив нерівностей підходів до мосту на збудження рухомого складу. **Результати.** Отримано величини напружень в елементах сталезалізобетонної прогонової будови за умови встановлення такого випробувального навантаження, за якого в випробувальних елементах повинні виникати найбільші напруження та деформації. Виміряно частоти власних та вимушених коливань прогонової будови, динамічний коефіцієнт, визначено динамічні прогини головних балок, величини декрементів коливань частоти власних та вимушених коливань. Досліджено динамічну взаємодію рухомого складу зі сталезалізобетонною прогоною будовою. Підтверджено аналітичні припущення, узяті під час проектування сталезалізобетонних прогонових будов мостів. **Наукова новизна.** У роботі проведено дослідження напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту після тривалої експлуатації, сумісної роботи прогонової будови з рухомим складом. **Практична значимість.** Визначено умови роботи сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту, статичні й динамічні характеристики її роботи, взаємодії рухомого складу з прогоною будовою, вплив нерівностей колії підходів до мосту на динамічну взаємодію прогонової будови й рухомого складу. Практично підтверджено аналітичні розрахунки деформаційних і динамічних характеристик сталезалізобетонних прогонових будов мостів. Сумісна робота сталевої балки та залізобетонної плити забезпечена в достатній мірі і відповідає теоретичним припущенням.

Ключові слова: дослідження; сталезалізобетон; напруження; деформації; залізничний міст; прогонова будова; сумісна робота

Вступ

Дотримання показників ефективності конструкції прогонових будов мостів є одним із ключових напрямів розвитку мостобудування. Особливо ці питання актуальні в умовах відбудови транспортної інфраструктури держави, яка зазнала значних руйнувань під час війни.

Використання металевих балок тривалого зберігання (мобілізаційного резерву) перетворених у сталезалізобетонні прогонові будови мостів, шляхом поєднання у їх сумісну роботу із залізобетонною плитою проїзної частини, забезпечить раціональне використання наявного матеріального ресурсу [2]. Тому доцільне подальше дослідження властивостей та експлуатаційних

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

характеристик сталезалізобетонних прогонових будов мостів.

Сталезалізобетонні прогонові будови мостів є одним із прикладів об'єднання двох матеріалів з різними фізико-механічними властивостями – сталі та залізобетону – в сумісну роботу, що дозволяє їм оптимально працювати в розтягнутій та стиснутій зонах перерізу.

Порівняно із суто металевими та суто залізобетонними прогонами будовами сталезалізобетонні мають такі переваги [6, 8]:

- зменшення витрат металу, на відміну від металевих прогонових будов;
- зменшення ваги, на відміну від залізобетонних прогонових будов;
- підвищенні загальної жорсткості;
- підвищення несучої здатності;
- нескладна конструкція вузлових з'єднань;
- можливість нескладного проведення підсилення конструкції;
- кращі експлуатаційні характеристики: проїзна частина служить довше за рахунок більшої жорсткості плити, шум від потяга менший;
- економія часу, витраченого на будівництво, за рахунок збірності конструкцій.

До основних недоліків можна віднести:

- порівняно складніший розрахунок;
- необхідність забезпечення надійної сумісної роботи сталевих та залізобетонних частин перерізу без зсувів.

Сучасні тенденції мостобудування пов'язані з використанням нових високоміцних матеріалів, удосконаленням конструктивних форм та методів розрахунку, що призводить до полегшення конструкцій, та відповідно, зменшення їх жорсткості, підвищення чутливості до динамічних впливів. У свою чергу сталезалізобетонні прогонові будови мостів мають порівняно більшу жорсткість. Також залишається актуальним збереження й розвиток наявних мостових споруд, можливість використання прогонових будов, виготовлених за типовими проектами в другій половині минулого століття, для задоволення сучасних вимог.

Сталезалізобетонні прогонові будови мостів застосовують в усьому світі з 50-х років ХХ століття. Використання цих конструкцій розповсюджено і в Україні, зокрема на залізниці близько 11 % від загальної кількості мостів із прогонами 24–36 м є сталезалізобетонними.

Тому можна вважати, що вже накопичено достатній досвід із будівництва та експлуатації цих конструкцій.

Напружено-деформований стан окремо залізобетону і сталі та сталезалізобетонних прогонових будов достатньо вивчений [12, 13]. Стан нормативної бази проектування в Україні дає можливість доволі чітко розуміти та якісно прогнозувати роботу сталезалізобетонних прогонових будов мостів. Видано ряд державних будівельних норм України (ДБН) в галузі мостобудування [3–5], з середини 2013 року в Україні було видано Єврокоди (Eurocode 4) [7].

Мета

Основною метою є дослідження визначення величин напружень в елементах конструкції, деформацій головних балок наявної сталезалізобетонної прогонової будови під дією навантаження.

Для досягнення сформульованої мети потрібно розв'язати такі завдання:

1. Провести обстеження наявного мостового переходу в цілому та сталезалізобетонної прогонової будови зокрема, визначити умови та особливості її експлуатації.
2. Провести статичні випробування за умови встановлення такого випробувального навантаження, за якого у випробовуваних елементах повинні виникати найбільші напруження та деформації.
3. Провести динамічні випробування, вимірювання частот власних та вимушених коливань прогонової будови, визначити динамічні прогини головних балок, величини декрементів коливань.

Методика

Дослідження провела ГНДЛ штучних споруд Українського державного університету науки і технологій. Досліджено однопрогоновий сталезалізобетонний міст з їздою на баласті, споруджений у 1973 році на ділянці залізниці Кривий Ріг – Сортувальна – Апостолове. Міст розташований на прямій із поздовжнім ухилом $i=1,5\%$ у бік Кривого Рогу.

Суцільна прогонова будова $L_p=33,6$ м, $L_n=34,2$ м була виготовлена за проектом Ленгіпротрансмосту (інв. № 133411) під залізничне навантаження С14. Головні балки – зварні зі

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

сталі 15ХСНД, об'єднані між собою поздовжніми та поперечними зв'язками (рис. 1).

По фасаді головних балок установлені тільки вертикальні ребра жорсткості. Висота головної балки – 250 см, відстань між осями головних балок – 200 см, товщина стінки вертикального листа – 12 мм, вага металу прогонової будови – 46,8 т.

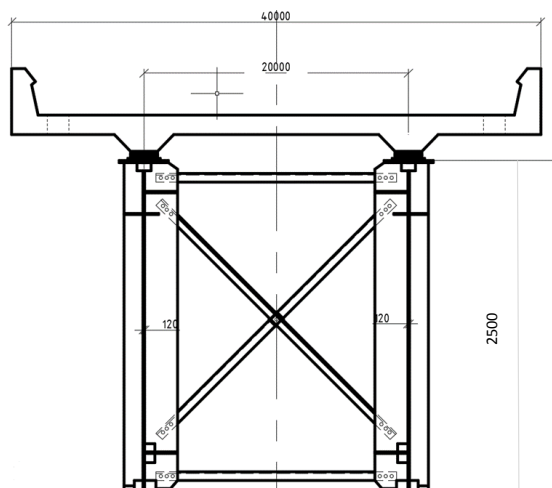


Рис. 1. Поперечний переріз прогонової будови

Fig. 1. Cross section of a span structure

Мостове полотно з їздою на баласті – збірна залізобетонна плита баластового корита, виконана із залізобетонних блоків, об'єднаних із верхнім поясом головних балок для сумісної роботи. Матеріал залізобетонних блоків – бетон М–400, стики омонолічені бетоном М–500.

Під час проведення статичних випробувань як випробувальне навантаження використовували два розташовані по кінцях електровози типу ЧС–2, вагон–лабораторію та чотири завантажені до повної вантажопідйомності чотирьохвісні піввагони. У ході випробувань встановлювали таке навантаження прогонової будови, за якого у випробувальних елементах повинні виникати найбільші напруження та деформації $P_1 = 20,5$ т, $P_2 = 22$ т (рис. 2).

Для вимірювання фібрових деформацій в елементах прогонової будови використовували тензорезистори, наклеєні на поверхню елементів прогонової будови. Вимірювальний комплекс для статичних і динамічних випробувань, окрім датчиків-перетворювачів (тензорезисторів), містив перехідний блок із двома спайдерами і ноутбук (рис. 3).

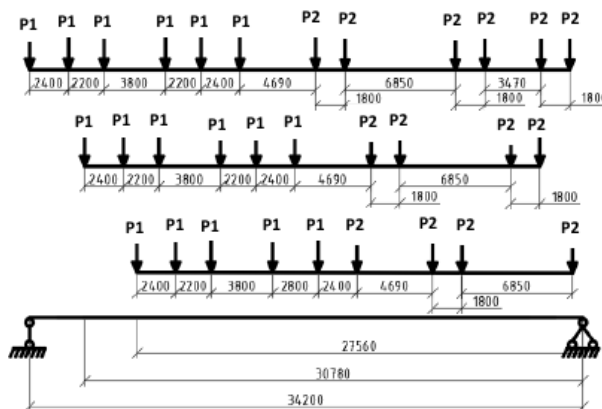


Рис. 2. Схема завантаження прогонової будови під час статичного випробування

Fig. 2. Scheme of loading of a span structure during a static test



Рис. 3. Вимірювальний комплекс

Fig. 3. Measuring complex

Аналогові електричні сигнали від тензорезисторів через екрановані кабелі надходили на спайдери, де перетворювались на цифрові сигнали, які після підсилення надходили в пам'ять ноутбука. Прогини балок реєстрували за допомогою прогиномірів Аістова типу 6–ПАО з точністю вимірювань 0,01 мм.

Схему встановлення вимірювальних приладів показано на рис. 4. Прилади № 1–6 – це тензорезистори, встановлені в середині прогону, прилади № 7–10 – прогиноміри Аістова типу 6–ПАО (№ 9 і 10 установлені в чверті прогону на відстані 8,4 м від рухомої опорної частини).

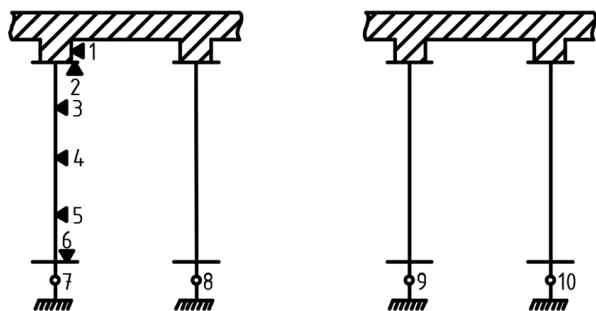


Рис. 4. Схема встановлення вимірювальних приладів

Fig. 4. Scheme of installation of measuring devices

Для визначення горизонтальної жорсткості прогонової будови вимірювали переміщення окремих точок мосту за допомогою індикаторів (месур) із ціною поділок 0,01 мм від статичного навантаження в горизонтальній площині, прикладеного щодо поруч розташованої прогонової будови (рис. 5).

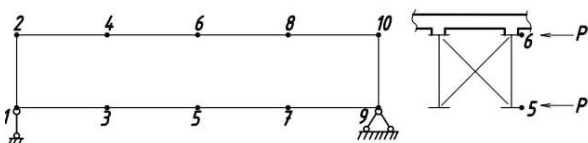


Рис. 5. Схема встановлення приладів для визначення горизонтальної жорсткості

Fig. 5. Scheme of installation of devices for determining horizontal stiffness

Під час проведення динамічних випробувань, вимірювань частот власних та вимушених коливань як навантаження використано вищезазначений зчеп, який виконував «човникові» заїзди зі швидкістю 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 117 км/год. Для кожної швидкості проводили від 6 до 12 заїздів.

Результати

Під час обстеження мостового переходу дефектів, які могли впливати на роботу прогонової будови і тим самим на вантажопідйомність мосту та безпеку руху, не виявлено. Утворення тріщин у залізобетонних блоках у місцях омоноличувань та клеєвих з'єднань не виявлено. Для забезпечення нормальної експлуатації мосту й попередження розвитку корозії нижніх поясів головних балок та горизонтальних поздов-

жніх зв'язків проводять регулярний догляд та очищення цих елементів від сміття.

У процесі статичних випробувань за трьома схемами навантаження прогонової будови фіксували величини, зазначені в табл. 1, а саме:

- фіброві деформації у верхньому, нижньому поясах, а також у трьох точках (по висоті) вертикального листа в середині прогону (прилади 2, 3, 4, 5, 6);
- фіброві деформації в бетоні плити – у місці прикріплення до балки (прилад 1);
- вертикальні прогини у чвертях та в середині прогону (прилади 7, 8, 9, 10).

Таблиця 1

Напруження та вертикальні переміщення від статичного навантаження

Table 1

Stresses and vertical displacements due to static load

№ приладу	Схема завантаження			Розмірність величин
	1	2	3	
1	-1,18	-1,76	-1,47	МПа
2	-4,90	-5,88	-3,92	МПа
3	0	0	0	МПа
4	12,75	15,40	12,65	МПа
5	15,00	14,42	12,94	МПа
6	39,82	41,87	38,15	МПа
7	12,15	12,36	12,13	мм
8	13,50	13,70	13,50	мм
9	8,08	7,60	7,20	мм
10	9,00	9,35	9,20	мм

Як видно з результатів випробувань, найбільші напруження в елементах прогонової будови виникли за схемою навантаження 2. Нейтральна вісь перерізу проходить через т. 3 за рахунок залучення до сумісної роботи металеві балки та залізобетонної плити проїзду. Вертикальні пружні переміщення відповідають нормативним значенням. Однак слід вказати, що вертикальні прогини в т. 8, 10 дещо більші ніж у т. 7, 9, це свідчить про те, що вісь колії на мосту зміщена від проектного положення.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Результати вимірювання горизонтальних переміщень точок прогонової будови за статичних навантажень наведено в табл. 2. Переміщення на опорах не були виявлені, тому до таблиці не внесені.

Таблиця 2

Горизонтальні переміщення точок прогонової будови від дії статичного навантаження

Table 2

Horizontal displacements of span structure points under static load

Сила P , кН	Переміщення, мм (сила прикладена в т. 5)					
	3	4	5	6	7	8
22	0,25	0,15	0,45	0,20	0,25	0,20
44	0,55	0,30	1,00	0,40	0,55	0,30
88	1,00	0,65	2,20	0,90	1,15	0,62
110	1,70	0,90	2,95	1,25	1,55	0,89

У випадку центрального прикладання сили P в т. 5 (рис. 5) пружні деформації прогонової будови в горизонтальній площині майже симетричні, переміщення в т. 3 схожі з переміщеннями в т. 7, так само переміщення в т. 4 схожі з переміщеннями в т. 8.

Для вивчення впливу динаміки прогонової будови на коливання рухомого складу один з вагонів був обладнаний датчиками фіксування вертикальних сил V , що передаються від обресоленої частини екіпажу на кожне колесо, горизонтальних зусиль H , що діють на кожну вісь, вертикальних деформацій Z , трьох пружинних комплексів. За динамічних випробувань безперервні вимірювання приладами дали змогу побачити, рух вагона-еталона на підході до мосту, на прогоновій будові і за мостом, звичайно, автоматично фіксувались моменти виїзду на міст та з'їзду з нього.

Графічно показано залежність від швидкості руху значень горизонтальних сил H (рис. 6), вертикальних сил V (рис. 7), деформацій пружинних комплексів Z (рис. 8). На всіх графіках криві позначають: 1 – рух еталонного вагона перед мостом, 2 – по мосту, 3 – за мостом, 4 – рух по колії на підході до мосту.

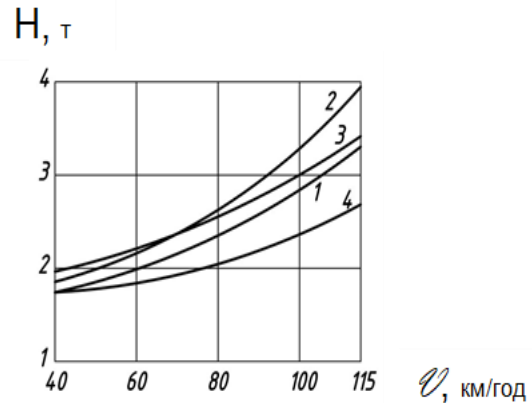


Рис. 6. Залежність горизонтальних сил від швидкості руху потяга

Fig. 6. Dependence of horizontal forces on train speed

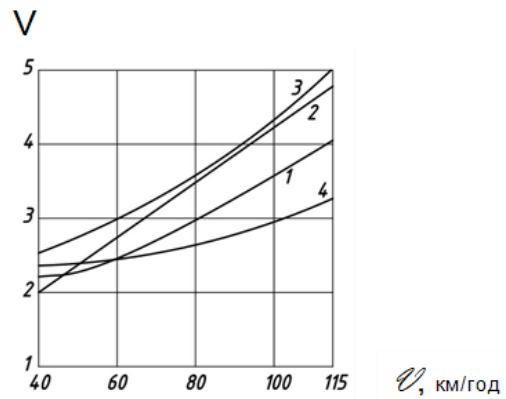


Рис. 7. Залежність вертикальних сил від швидкості руху потяга

Fig. 7. Dependence of vertical forces on train speed

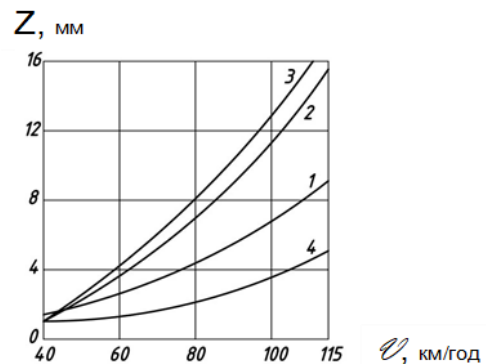


Рис. 8. Залежність деформації пружинних комплексів від швидкості руху потяга

Fig. 8. Dependence of spring set deformation on train speed

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Із графіків видно, що в разі збільшення швидкості руху від 50 до 117 км/год вертикальні сили збільшуються у 2,1 раза на мосту і в 1,8 раза на підходах до нього, у той же час горизонтальні сили – в 1,9 та в 1,7 раза відповідно. Найбільш чутливі до зміни швидкості руху потяга деформації пружинних комплектів на мосту у вказаному діапазоні швидкостей збільшуються в 9,7 раза, а перед ним у 5,6 раза.

Значні збудження, отримані під час руху по мосту, пояснюються не силами взаємодії мосту з рухомим складом, тобто не коливаннями самої прогонової будови, а наявністю значних передмостових нерівностей колії у вертикальній площині, у разі проходження яких рухомий склад зазнає збудження, що продовжується у вагоні під час руху по мосту. Подібні значні нерівності зустрічаються досить часто, підходи до мосту повинні бути рівномірними, тому оцінку динамічних якостей слід виконувати з урахуванням руху потяга на підходах, де часто наявні передмостові ями. Самі прогонові будови подібної конструкції та прогону не впливають на коливання рухомого складу [1].

Основні результати динамічних випробувань після обробки наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Характеристики прогонової будови, визначені за результатами динамічних випробувань

Table 3

Characteristics of the span structure determined by the results of dynamic tests

№ з/п	Найменування величин	Одиниці виміру	Величина
1	Частота власних вертикальних коливань	Гц	4,60
2	Частота власних горизонтальних коливань	Гц	4,60
3	Декремент вертикальних коливань	–	0,25÷0,32
4	Декремент горизонтальних коливань	–	0,27÷0,3
5	Динамічний коефіцієнт	–	1,13

Розрахунковий період власних горизонтальних поперечних коливань для сталезалізобетонних прогонових будов залізничних мостів має бути не більше 0,01L і не перевищувати 1,5 с [5], у нашому випадку 0,336 с, що відповідає частоті коливань 2,97 Гц. Експериментальні значення 4,60 Гц отримано за однією формою власних коливань. Інші форми власних коливань не виявлено, що проблематично за недостатньо великої величини прогону та великої жорсткості сталезалізобетонної конструкції [9].

Декремент коливань найбільше залежить від матеріалу конструкції і для будівельних конструкцій ув більшості випадків становить:

- для сталевих конструкцій $\delta = (0,04...0,15)$;
- для напружених залізобетонних конструкцій $\delta = (0,07...0,25)$;
- для ненапружених залізобетонних конструкцій $\delta = (0,15...0,45)$ [10].

Експериментальні значення декременту коливань сталезалізобетонної прогонової будови становлять у горизонтальному напрямі $0,27\div 0,32$, у вертикальній площині $0,27\div 0,3$, що відповідає нормальній роботі конструкції за сумісної роботи конструкції та достатньої жорсткості. На результати також впливає однопрогоновість мосту, та сили тертя в опорних частинах.

Динамічний коефіцієнт відповідає нормативним значенням для елементів сталевих та сталезалізобетонних прогонових будов (крім основних елементів головних ферм нерозрізних прогонових будов) незалежно від роду їзди (на баласті або поперечках):

$$(1 + \mu) = 1 + \frac{18}{30 + \lambda} = 1,28.$$

Отримане експериментальне значення динамічного коефіцієнта 1,13 свідчить про достатній запас міцнісних характеристик прогонової будови [11], належний експлуатаційний догляд і вплив сумісної роботи металеві балки та залізобетонної плити.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі проведено дослідження напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту після тривалої експлуатації під дією статичного

й динамічного навантаження та сумісної роботи прогонової будови з рухомим складом. Практична значимість полягає у визначенні умов роботи сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту, статичних і динамічних її характеристик, взаємодії рухомого складу з прогоновою будовою, вплив нерівностей колії підходів до мосту на динамічну взаємодію прогонової будови і рухомого складу. Практично підтверджено аналітичні розрахунки деформаційних і динамічних характеристик сталезалізобетонних прогонових будов мостів.

Висновки

У результаті статичних і динамічних випробувань отримано дані, які свідчать про несучу здатність і деформаційні якості сталезалізо-

бетонної прогонової будови залізничного мосту після тривалого періоду експлуатації.

Знайдені значення прогинів, частот власних вертикальних і горизонтальних коливань вказують на те, що сумісна робота сталеві балки та залізобетонної плити забезпечена в достатній мірі та відповідає аналітичним припущенням.

Проведено перевірку роботи несучих конструкцій сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту в експериментальному режимі під навантаженням від рухомого складу, перевірку якості будівельно-монтажних робіт і забезпечення безпеки руху й довговічності споруд залізничного проїзду.

Сталезалізобетонні споруди відповідають закладеним аналітичним припущенням та здатні забезпечувати стабільну роботу протягом тривалого часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондарь Н. Г. *Как работают мосты*. Киев : Наукова думка, 1986. 118 с.
2. Гернич М. В., Ключник С. В., Співак Д. С. Сталезалізобетонні прогонові будови мостів для постконфліктного відновлення зруйнованої транспортної інфраструктури. *Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика*. 2021. № 19. С. 28–37.
3. ДБН В.2.3-26:2010. *Споруди транспорту. Мости і труби. Сталеві конструкції. Правила проектування*. [Чинний від 2010-12-28]. Київ : Мінрегіонбуд, України, 2011. 195 с.
4. ДБН В.1.2-15:2009. *Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження та впливи*. [Чинний від 2009-11-11]. Київ : Мінрегіонбуд, України, 2009. 83 с.
5. ДБН В.2.3-22:2009. *Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування*. [Чинний від 2009-11-11]. Київ : Мінрегіонбуд, України, 2009. 73 с.
6. Стороженко Л. І., Тимошенко В. М., Нижник О. В., Гасій Г. М., Мурза С. О. *Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій*. Полтава : АСМІ, 2008. 262 с.
7. *Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Національний стандарт України*. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 167 с.
8. Корнієв М. М. *Сталеві мости : теоретичний та практичний посібник з проектування*. Київ : Вид-во «Ультрадрук», 2018. Т. 3. 542 с.
9. Редченко В. П. *Динамічні випробування мостів. Ч. 2 : вільні коливання, модальний контроль : монографія*. Дніпро : Пороги, 2017. 216 с.
10. Редченко В. П. *Особливості застосування спектрального аналізу при дослідженні коливань будівельних конструкцій* : монографія. Дніпропетровськ : Пороги, 2010. 95 с.
11. Ivanyuk, I., Vikhov, S., Vybranets, Y., Ivanyuk, Y. Theoretical research into spatial work of a steel-reinforced concrete statically indeterminate combined structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. P. 13–22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143023>
12. Kliuchnyk S., Ovchynnykov P. Study of Railway Steel Bridges' Behaviour in Order to Identify the Causes of Their Defects. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2022. Vol. 19. Iss. 3. P. 77–88. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.7>
13. Krul Y., Kaplin R., Delyavsky M. Rationalization of the parameters of composite reinforced concrete superstructures under conditions of multi-criterion. *AIP Conference Proceedings 2077*. 2019. P. 020027-1–020027-7. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5091892>

M. V. HERNICH^{1*}, S. V. KLIUCHNYK²¹Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 874 33 55, e-mail gernich.nikolau@gmail.com, ORCID 0000-0002-5069-4798²Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010 tel. +38 (067) 367 34 34, e-mail ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

Results of Full-Scale Studies of the Stress-Strain State of a Steel-Reinforced Concrete Span Structure of a Railway Bridge

Purpose. The main purpose of the study is to determine the stress-strain state and performance characteristics of an existing steel-reinforced concrete bridge span structure for a railway after long-term operation under static and dynamic loads. **Methodology.** To achieve the goal, the existing bridge crossing was inspected in situ, with the main focus on the steel-reinforced concrete span structure, the conditions and features of its operation were determined, and static and dynamic tests were performed. The tests measured the overall deformations of the span structures (vertical and horizontal deflections) and the stress state in the structural elements under different loading schemes. During the dynamic tests, static and dynamic components of deflections and changes in stresses in structural elements were recorded during the passage of rolling stock along the span structure. The interaction of the girder structure with the rolling stock and the influence of uneven approaches to the bridge on the excitation of the rolling stock were studied. **Findings.** The stresses in the elements of a steel-reinforced concrete span structure were obtained under the condition of setting a test load at which the greatest stresses and strains should occur in the test elements. The frequencies of natural and forced vibrations of the span structure, the dynamic coefficient, the dynamic deflections of the main beams, and the values of decrements of the vibrations of the natural and forced vibrations were measured. The dynamic interaction of the rolling stock with the steel-reinforced concrete span structure is investigated. The analytical assumptions made during the design of steel-reinforced concrete bridge spans were confirmed. **Originality.** The study investigates the stress-strain state of a steel-reinforced concrete bridge span after long-term operation and the joint operation of the span with rolling stock. **Practice value.** The operating conditions of a steel-reinforced concrete railway bridge span, static and dynamic characteristics of its operation, interaction of rolling stock with the span, and the influence of track irregularities of the bridge approaches on the dynamic interaction of the span and rolling stock were determined. The analytical calculations of deformation and dynamic characteristics of steel-reinforced concrete bridge spans have been practically confirmed. The joint operation of a steel beam and a reinforced concrete slab is sufficiently ensured and meets theoretical assumptions.

Keywords: research; reinforced concrete; stresses; deformations; railway bridge; span structure; joint operation

REFERENCES

1. Bondar, N. G. (1986). *Kak robotayut mosty*. Kyiv: Naukova dumka. (in Russian)
2. HERNICH, M. V., KLIUCHNYK, S. V., & SPIVAK, D. S. (2021). Composite reinforced concrete bridge girders for post-conflict reconstruction of the destroyed transport infrastructure. *Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 19, 28-37.
3. *Sporudy transportu. Mosty i truby. Stalevi konstrukciji. Pravyla proektuvannja*, 195 DBN V.2.3-26:2010. (2010). (in Ukrainian)
4. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennja ta vplyvy*, 83 DBN V.1.2-15:2009. (2009). (in Ukrainian)
5. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannja*, 73 DBN V.2.3-22:2009. (2009). (in Ukrainian)
6. Storozhenko, L. I., Tymoshenko, V. M., Nyzhnyk, O. V., Ghasij, Gh. M., & Murza, S. O. (2008). *Doslidzhennja i proektuvannja stalezalizobetonnykh strukturnykh konstrukcij*. Poltava: ASMI. (in Ukrainian)
7. *Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. National standard of Ukraine*. (2012). Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. (in Ukrainian)
8. Kornijev, M. M. (2018). *Stalevi mosty : teoretychnyj ta praktychnyj posibnyk z proektuvannja* (Vol. 3). Kyiv: Ultraprint. (in Ukrainian)
9. Redchenko, V. P. (2017). *Dynamichni vyprovuvannja mostiv. Vol. 2: viljni kolyvannja, modalnyj kontrolj: monoghrafija*. Dnipro: Porogy. (in Ukrainian)
10. Redchenko, V. P. (2010). *Osoblyvosti zastosuvannja spektralnogo analizu pry doslidzhenni kolyvanj budivelnykh konstrukcij: monoghrafija*. Dnipropetrovsjk: Porogy. (in Ukrainian)