

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ТА СПОРУДИ

УДК 624.21

Л. М. Морозова, канд. техн. наук доцент, В. В. Самосват

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ
«Донецький національний технічний університет», м. Горлівка

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РУЙНУВАННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ОБ'ЄДНАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ РОЗРІЗНИХ МОСТІВ НА РОЗПОДІЛЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ

Удосконалено методику розрахунку балкових прогонових будов розрізних мостів з урахуванням руйнування поперечного об'єднання. Обґрунтовано прийнятий метод розрахунку. Представлено результати розрахунків, що отримані за програмою Prolet, що складена в рамках магістерської роботи. Дано оцінку точності отриманих результатів. Побудовано лінії впливу тиску на балки з урахуванням руйнування поперечних зв'язків. Проаналізовано вплив руйнування поперечного об'єднання на розподілення навантаження між балками та вантажопідйомність прогонових будов автодорожніх мостів.

Ключові слова: дефект, руйнування поперечного об'єднання, діафрагма, прогонова будова, лінія впливу, шарнірний зв'язок, навантаження

Вступ

Більшість залізобетонних балкових автодорожніх мостів та шляхопроводів, які наразі експлуатуються, було збудовано понад 40–50 років тому. При тривалій експлуатації в несучих конструкціях мостових споруд розвиваються різноманітні дефекти, що обумовлені несприятливими атмосферними впливами, механічними пошкодженнями, дією постійних та тимчасових навантажень, що перевищують проектні, і т. д. Найбільшому зносу піддаються прогонові будови, які являють собою істотно навантажені тонкостінні плитно-балкові системи. Тому, на сьогоднішній день, вельми важливою проблемою є забезпечення безпечної експлуатації мостових споруд з існуючими дефектами несучих елементів конструкції.

Доволі часто в процесі експлуатації мостів спостерігаються розриви стиків діафрагм або плити проїжджої частини в поздовжніх швах омоноличування (рисунок 1). При наявності такого дефекту змінюється розрахункова схема прогонової будови, відбувається перерозподіл навантаження між балками. І якщо врахування дефектів, які послабляють розрахунковий перетин балки або міцність матеріалів (тріщини, вилуговування бетону, раковини, відколи й т. д.), у науковій літературі висвітлено досить добре, то питання впливу руйнування поперечного об'єднання балок на розподілення навантаження є актуальним і вимагає подальших досліджень.

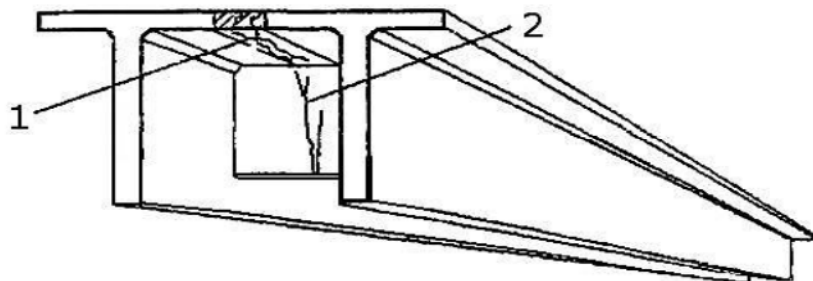


Рисунок 1 – Руйнування поперечного об'єднання балок прогонової будови:
1 – по плиті проїжджої частини; 2 – по діафрагмі

© Морозова Л. М., Самосват В. В., 2012

Мета роботи

Оцінка впливу руйнування поперечного об'єднання залізобетонних балок прогонових будов на просторову роботу конструкції та розподілення навантаження між балками.

Виклад основної частини матеріалу

Характер розподілу тимчасового навантаження між основними несучими елементами прогонової будови переважно залежить від жорсткості поперечних зв'язків, що їх об'єднують. Це пов'язано з тим, що поперечне об'єднання забезпечує роботу прогонової будови як єдиної просторової системи й, відповідно, при руйнуванні цих зв'язків ця робота порушується. Як показує досвід експлуатації мостів, якщо в стику сусідніх балок виникає тріщина, то вона, як правило, наскрізна й поширена на всю довжину стику, що легко пояснюється особливістю роботи бетону на згин. Тобто, у даному випадку, бетон руйнується так, що зв'язок між балками розглядається як шарнірний [1].

Згідно з ВСН 32-89 [2], зусилля від тимчасових рухомих вертикальних навантажень для середини прогону в головних балках прогонових будов із діафрагмами (Союздорпроект, вип. 56), що мають порушення в діафрагмах (розірвані або відсутні зварні накладки в стиках), можуть бути визначені розрахунковим шляхом із використанням значень коефіцієнтів поперечної установки, що отримані в результаті завантаження відповідних ліній впливу за таблицями, що наведені в додатку 5 [2]. Слід зазначити, що у ВСН 32-89 для врахування руйнування зв'язків між балками надано матриці ординат ліній впливу лише для випадку, коли зруйновано зв'язки між всіма балками та лише для діафрагмових прогонових будов. У реальних умовах руйнування зв'язків може відбуватися в одному вузлі об'єднання між двома сусідніми балками або в декількох вузлах.

Отже, для дослідження впливу руйнування поперечного об'єднання на розподіл навантаження між балками необхідно застосувати такий метод розрахунку, який дозволить відобразити роботу балок при їх шарнірному зв'язку. Для цієї мети був застосован метод М. Є. Гібшмана, що заснований на канонічних рівняннях нерозривності деформацій (1). У даному методі враховуються згинальні моменти M_i та поперечні сили q_i , що виникають у вузлах об'єднання (рисунок 2).

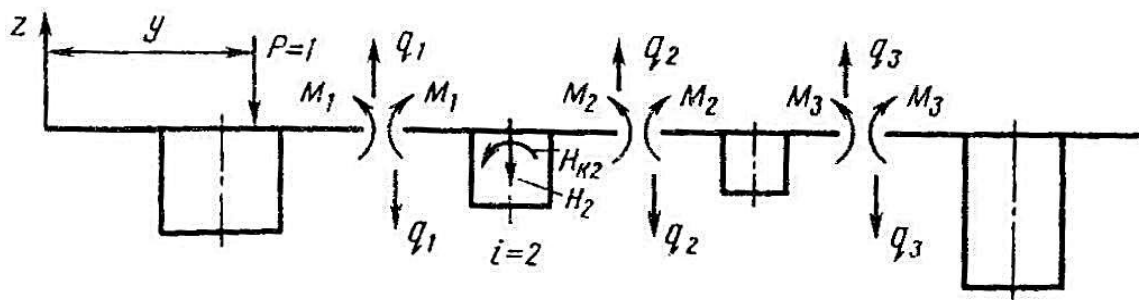


Рисунок 2 – Розрахункова схема прогонової будови за методом М. Є. Гібшмана

$$\left. \begin{aligned} M_{i-1}\delta_{qi(i-1)}^m + M_i\delta_{qii}^m + M_{i+1}\delta_{qi(i+1)}^m + q_{i-1}\delta_{qi(i-1)} + q_i\delta_{qii} + q_{i+1}\delta_{qi(i+1)} &= -\Delta_{qi}; \\ M_{i-1}\delta_{mi(i-1)} + M_i\delta_{mii} + M_{i+1}\delta_{mi(i+1)} - q_{i-1}\delta_{qi(i-1)}^m + q_i\delta_{qii}^m + q_{i+1}\delta_{qi(i+1)}^m &= -\Delta_{mi}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де δ_{qij} – зміщення під дією сил $q_j=1$ за напрямком сил q_i ;

δ_{qij}^m – зміщення під дією сил $q_j=1$ за напрямком згинального моменту M_i ;

δ_{mij} – зміщення під дією моменту $M_j=1$ за напрямком моменту M_i ;

Δ_{qi} – зміщення від зовнішнього вантажу $P=1$ в основній системі за напрямком сили q_i ;

Δ_{mi} – зміщення від зовнішнього вантажу $P=1$ в основній системі за напрямком моменту M_i .

Внутрішні зусилля M_i та q_i приймаються за невідомі, а переміщення δ_{qij} , δ_{qij}^m , δ_{mij} та вантажні члени Δ_{qi} та Δ_{mi} визначаються за відомими аналітичними формулами.

Введення в розрахункову схему пластичного шарніру моделює розлад поперечного об'єднання балок. У системі канонічних рівнянь це відображається зверненням відповідного моменту в нуль. Вирішення системи канонічних рівнянь дозволяє визначити невідомі зусилля M та q у перерізах прогонової будови, побудувати фактичні лінії впливу, а також отримати лінії впливу вертикальних тисків H_i та крутних моментів H_{ki} за аналітичними формулами. Даний метод також дозволяє врахувати жорсткісні характеристики балок та діафрагм через прогини та кути повороту, а отже врахувати більшість дефектів [3].

Згідно з [3], для бездіафрагмових прогонових будов жорсткість поперечної конструкції рекомендовано приймати рівною жорсткості одиниці довжини плити проїжджої частини. Однак, таке припущення визиває сумнів, бо передбачається, що на дію навантаження реагує ділянка зі значно більшою довжиною ніж рекомендовано. Це було доведено на практиці дослідженнями ВІА [4]. Як показали випробування на дію навантаження, що прикладене в середині прогону, реагує більша частина конструкції (приблизно 70 %). Виходячи з цього, запропоновано для бездіафрагмових мостів момент інерції поперечної конструкції прогонової будови визначати за формулою:

$$J_{pi} = \frac{0,7lh^3}{12}, \quad (2)$$

де l – повна довжина прогону;

h – висота плити проїжджої частини.

На основі методу М. Є. Гібшмана на кафедрі «Проектування доріг і штучних споруд» АДІ «ДонНТУ» В. В. Самосватом, у рамках виконання магістерської роботи, створена розрахункова програма Prolet, яка написана за допомогою сучасної мови програмування Borland Delphi 7. Програма дозволяє моделювати руйнування поперечного об'єднання балок у конкретному вузлі або комбінації вузлів для діафрагмових та бездіафрагмових прогонових будов, враховувати жорсткість кожної балки окремо від інших і отримувати матриці ординат поперечних ліній впливу прогонової будови.

Для визначення точності результатів розрахунку за програмою Prolet побудовано лінії впливу тисків на балки за матрицями ординат, що отримані програмою та наведені у ВСН 32-89. Розрахунок проведено для діафрагмової («Союздпроект, 56 вип.», [5]) та бездіафрагмової («Союздорпроект, 56 вип. доп.», [6]) прогонових будов, які складаються з 6-ти балок, що не мають дефектів (рисунок 3), а також для діафрагмової прогонової будови з руйнуванням зв'язків у всіх вузлах об'єднання (рисунок 4).

Результати розрахунків за програмою Prolet показали відмінну збіжність ліній впливу балок без дефектів з еталонними значеннями ВСН 32-89, як для діафрагмових прогонових будов, так і для бездіафрагмових, при цьому, для бездіафрагмових будов лінії впливу майже співпадають, що говорить про доцільність застосування формули (2) для визначення моменту інерції плити проїжджої частини.

Збіжність результатів розрахунку ординат ліній впливу для випадку, коли зруйновано зв'язки між усіма балками, також доволі добра, що дає підстави говорити про досить високу точність методу М. Є. Гібшмана.

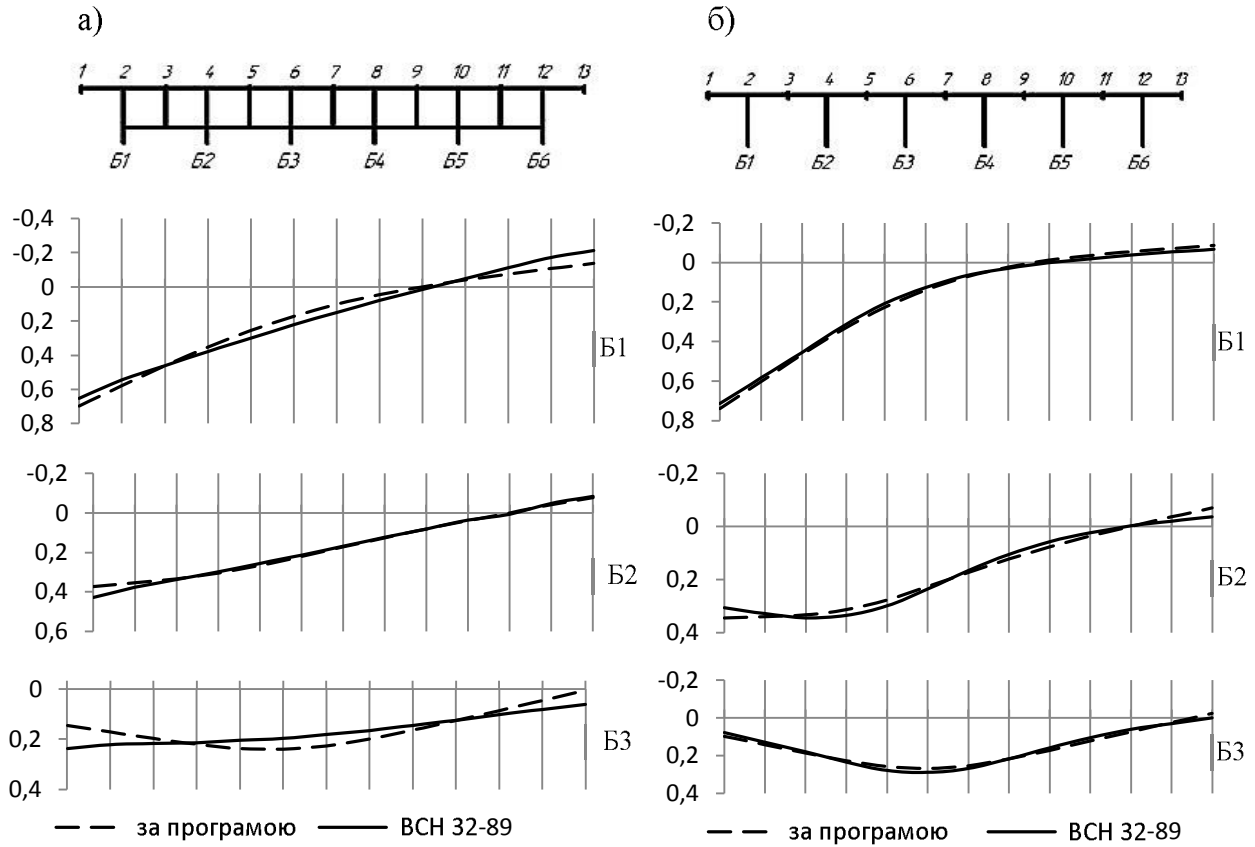


Рисунок 3 – Поперечні лінії впливу прогонової будови без дефектів:
 а) діафрагмової прогонової будови; б) бездіафрагмової прогонової будови

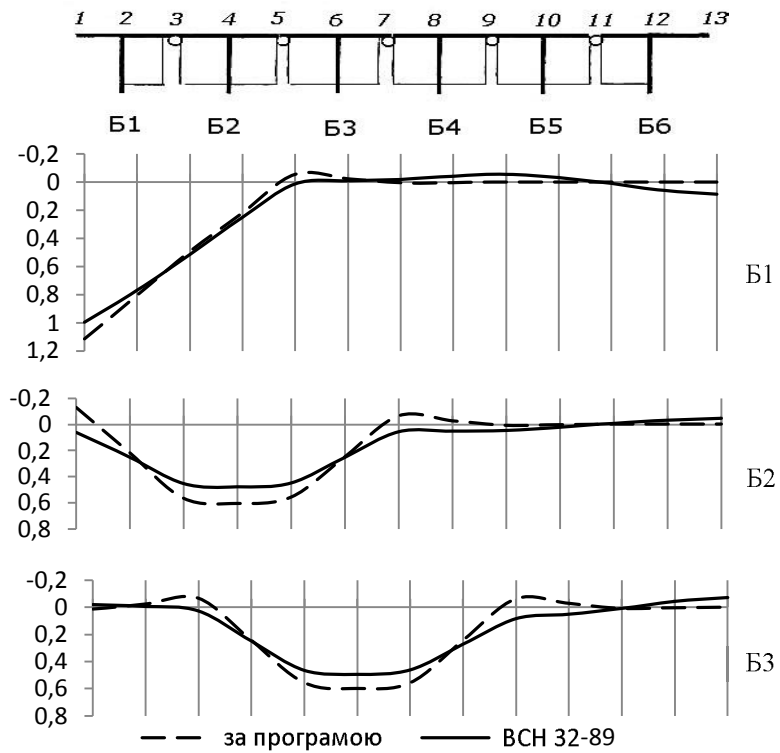


Рисунок 4 – Поперечні лінії впливу діафрагмової прогонової будови з руйнуванням усіх зв'язків

Для дослідження впливу руйнування поперечного об'єднання балок на коефіцієнти поперечної установки (КПУ), а відповідно й на вантажопідйомність, було обрано прогонову будову, яка складається з 7-ми балок з діафрагмами, що виготовлені за типовим проектом «Союздопроект, 56 вип.», з розрахунковим прогоном 16,3 м (рисунок 5). Ширина проїжджої частини складає 8 м. Ширина тротуарів – 1 м. Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці 1.

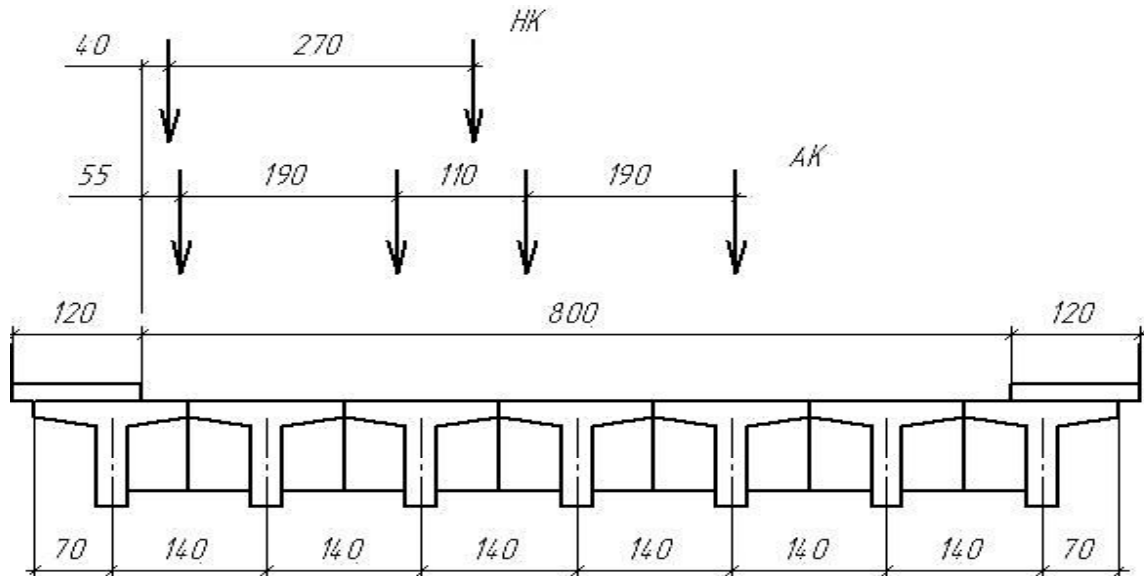


Рисунок 5 – Схема завантаження прийнятої прогонової будови для розрахунку КПУ (розміри в см)

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку

Типовий проект	Розрахункова довжина прогону, см	Момент інерції балки на згин, см ⁴	Момент інерції балки на крутіння, см ⁴	Момент інерції діафрагми, см ⁴	Момент інерції плити проїжджої частини, см ⁴	Модуль пружності бетону, МПа
Союздопроект 56 вип.	1630	3954821,26	135479,68	718651,19	–	$3,15 \cdot 10^5$
Союздопроект 56 вип. доп	1630	5760383,48	427011,69	–	911250,17	$3,15 \cdot 10^5$

У результаті розрахунку за програмою Prolet було отримано лінії впливу тисків на балки, які не мають дефектів та з почерговим введенням шарнірів у вузли об'єднання (рисунок 6, 7). Як можна бачити, при руйнуванні окремого вузла, характер ліній впливу змінюється і якісно, і кількісно. Тобто, отримані лінії впливу відображають фізичну роботу балок прогонової будови при введенні шарніра.

Для визначення КПУ отримані лінії впливу було завантажено нормативними тимчасовими навантаженнями НК та АК згідно з ДБН В.1.2-15:2009 [7]. Схему завантаження прогонової будови наведено на рисунку 5. Результати розрахунку наведено в таблиці 2.

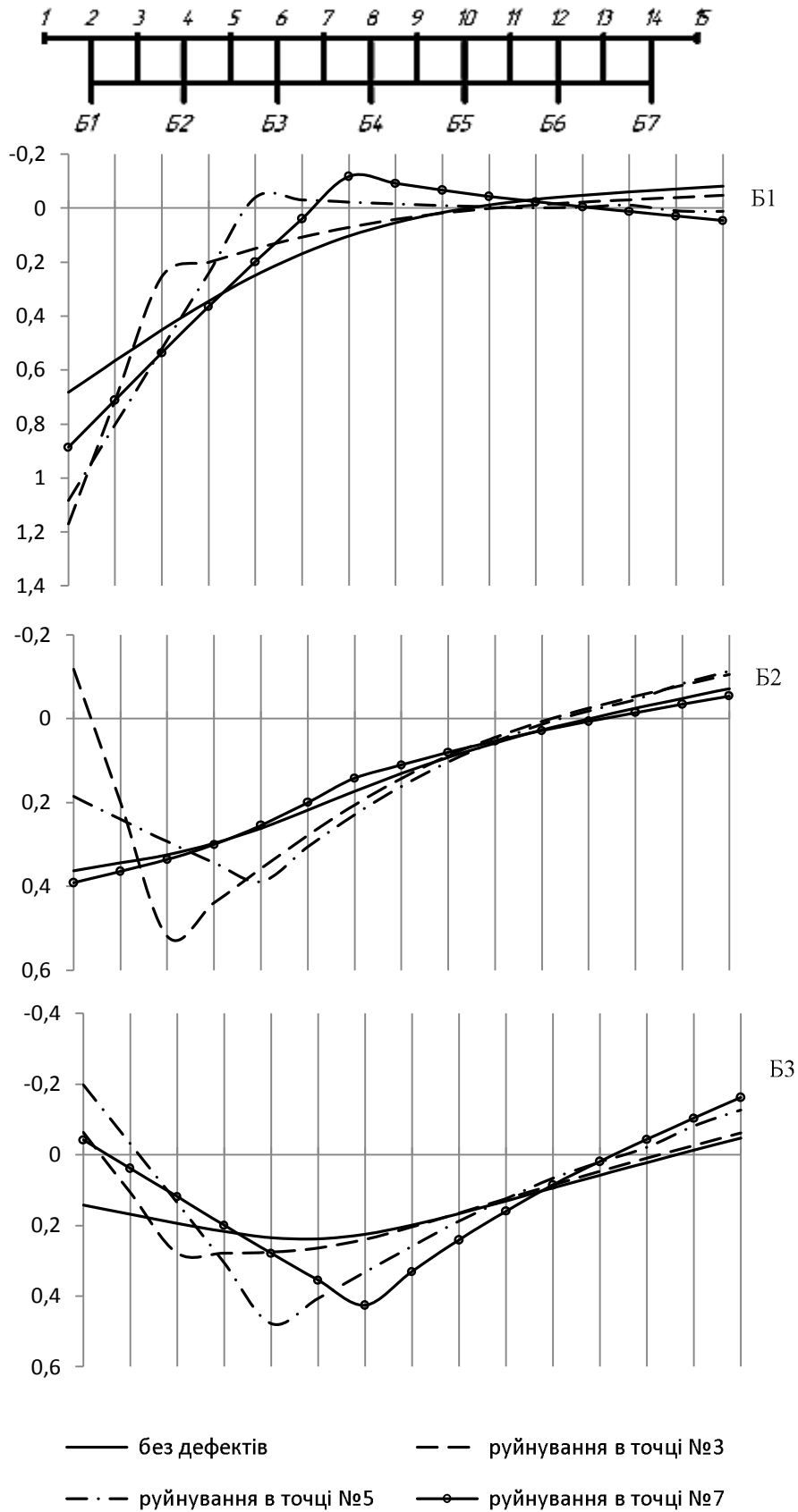


Рисунок 6 – Поперечні лінії впливу діафрагмової прогонової будови з руйнуванням окремих зв'язків (для балок № 1, 2, 3)

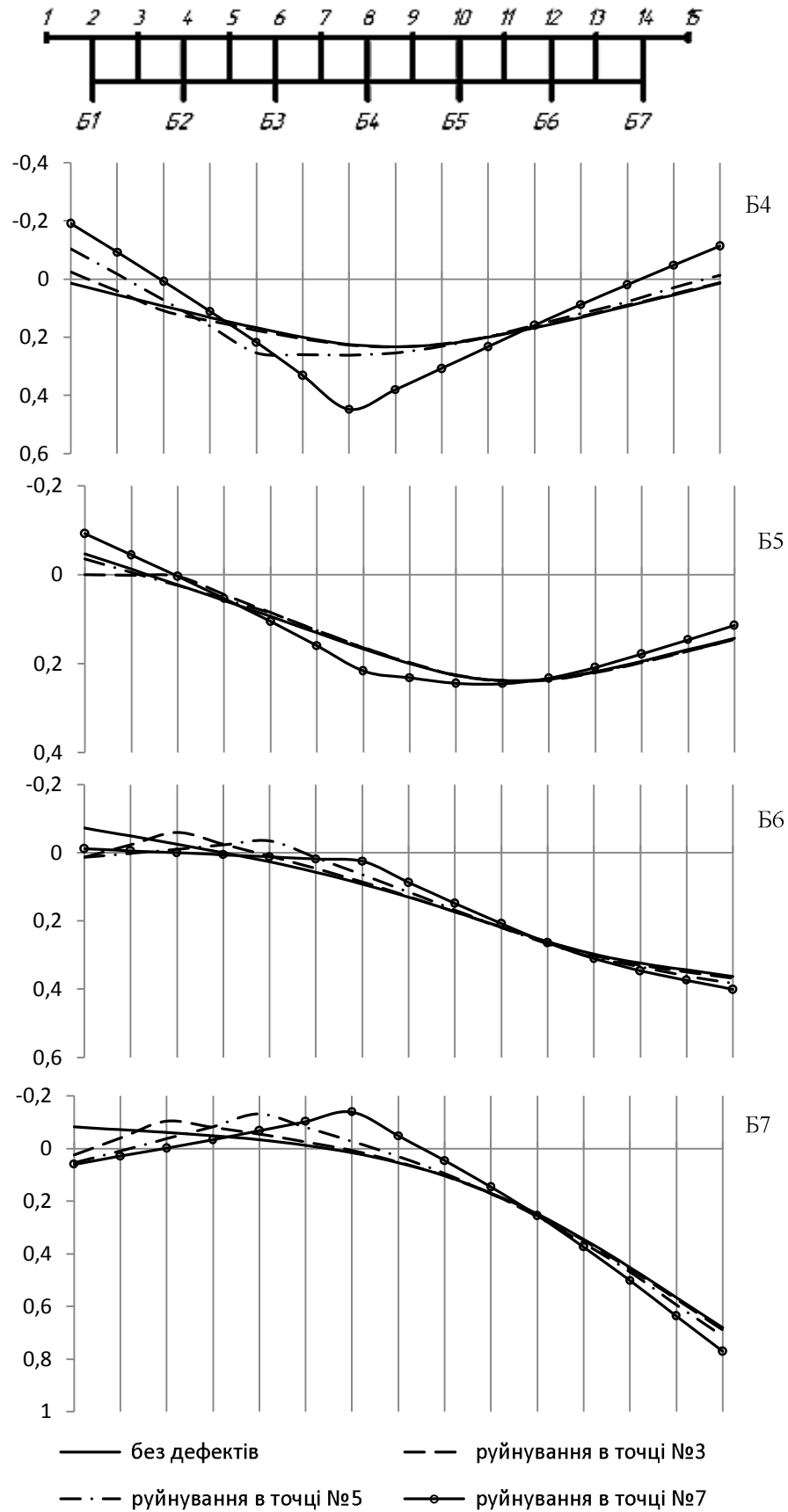


Рисунок 7 – Поперечні лінії впливу діафрагмової прогонової будови з руйнуванням окремих зв'язків (для балок № 4, 5, 6, 7)

Таблиця 2 – Результати розрахунків КПУ для різних станів прогонової будови

Номери зруйнованих вузлів об'єднання (зліва направо)	Значення КПУ						
	1 балка	2 балка	3 балка	4 балка	5 балка	6 балка	7 балка
КПУ _{НК} від навантаження НК							
Без дефектів	0,2949	0,2566	0,2102	0,1519	0,2102	0,2566	0,2949
№ 1	0,2001	0,3499	0,2501	0,1596	0,2119	0,2597	0,2988
№ 2	0,2680	0,2685	0,2331	0,1600	0,2109	0,2622	0,3038
№ 3	0,2774	0,2494	0,2327	0,2039	0,2092	0,2579	0,2980
Всі вузли	0,2702	0,2699	0,2493	0,2378	0,2493	0,2699	0,2702
КПУ _{АК} від навантаження АК (смугове)							
Без дефектів	0,3362	0,3389	0,3202	0,2712	0,3202	0,3389	0,3362
№ 1	0,2013	0,4718	0,3771	0,2821	0,3204	0,3393	0,3368
№ 2	0,2340	0,3874	0,4134	0,3029	0,3192	0,3313	0,3280
№ 3	0,2254	0,3272	0,3958	0,3559	0,3303	0,3254	0,3314
Всі вузли	0,2224	0,4387	0,3840	0,3269	0,3840	0,4387	0,2224
КПУ _{АКв} від навантаження АК (візок)							
Без дефектів	0,3506	0,3816	0,3891	0,3560	0,3891	0,3816	0,3506
№ 1	0,2134	0,5167	0,4470	0,3671	0,3881	0,3797	0,3482
№ 2	0,2340	0,4388	0,4989	0,3936	0,3867	0,3634	0,3280
№ 3	0,2254	0,3637	0,5051	0,4860	0,4094	0,3545	0,3314
Всі вузли	0,2234	0,4387	0,4681	0,4833	0,4681	0,4387	0,2234

У результаті розрахунку встановлено, що при завантаженні прогонової будови навантаженням НК вантажопідйомність всієї прогонової будови, при руйнуванні вузла № 1, знижується на 16 %, при руйнуванні вузла № 2 або вузла № 3, зниження вантажопідйомності відбувається в межах 3 %. Слід відмітити, що наявність дефекту знижує вантажопідйомність і окремих балок. Так, при руйнуванні всіх вузлів одночасно, спостерігається зниження вантажопідйомності балки № 4 на 36 %. Це може бути небезпечним, якщо балки мають додаткові дефекти, які знижують жорсткість поперечного перетину та може стати визначним при визначенні вантажопідйомності мосту.

При завантаженні прогонової будови навантаженням АК, найбільше зростання КПУ спостерігається також при руйнуванні вузла № 1. Зниження вантажопідйомності прогонової будови складає 28 % для смугового навантаження та 26 % для візка. При руйнуванні вузла № 2 вантажопідйомність знижується на 19 % для смугового навантаження та на 22 % для візка, при руйнуванні вузла № 3 – на 14 % і на 23 % відповідно.

Серед усіх значень максимальне КПУ зафіксовано для другої балки у випадку, коли зруйновано стик об'єднання між першою та другою балками (вузол № 1). Для навантаження НК це значення дорівнює 0,3499, для навантаження АК (смугове) – 0,4718, а для АК (візок) – 0,5167.

Схожі результати було отримано й для бездіафрагмових прогонових будов.

Таким чином, встановлено суттєвий вплив руйнування поперечного об'єднання балок на вантажопідйомність прогонової будови та необхідність урахування даного дефекту при визначенні можливості пропуску тимчасового навантаження по мосту.

Висновки

Проведені дослідження підкреслюють важливість урахування руйнування поперечного об'єднання балок, при розрахунках дійсної вантажопідйомності прогонових будов залізобетонних автодорожніх мостів. Порушення просторової роботи та зміна розрахункової схеми прогонової будови чинять значний вплив на розподіл навантаження між балками. Звичайно, найбільш точні дані про розподіл навантаження між балками отримують натурними випробуваннями, однак, натурні випробування не завжди можливі та не завжди виправдані. Тому при розрахунках прогонової будови необхідно вміти застосовувати теоретичні методи, які дозволяють ураховувати стан конструкції. Одним із таких методів є метод М. Є. Гібшмана, який має високу точність, але є досить простим у порівнянні з іншими методами просторового розрахунку.

Аналіз впливу руйнування поперечного об'єднання балок на вантажопідйомність прогонових будов показав, що найбільш небезпечним є руйнування поперечного зв'язку між першою та другою балками, а також руйнування зв'язків між усіма балками одночасно. При таких дефектах можливе зниження вантажопідйомності прогонової будови до 40 %, що може стати вирішальним при визначенні можливості пропуску тимчасового навантаження, враховуючи вік мостів, що експлуатуються на дорогах України. Особливої важливості врахування руйнування поперечного об'єднання балок прогонової будови набуває при визначенні можливості пропуску понаднормативних навантажень, а також при прийнятті рішення щодо можливості проведення натурних випробувань.

Список літератури

1. Рекомендации по применению предварительно напряженной арматуры и технологии подъёмки железобетонных пролетных строений при ремонте и реконструкции. – М.: Информавтодор, 2000. – 104 с.
Rekomendatsii po primeneniyu predvaritelno napryazhennoy armatury i tekhnologii podyomki zhelezobetonnykh proletnykh stroyeniy pri remonte i rekonstruktsii (Recommendations on use of prestressed reinforcement and ferroconcrete slab spans lifting technologies while repairing and upgrading). – М.: Informavtdor, 2000. 104 s.
2. ВСН 32-89. Инструкция по определению грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений эксплуатируемых автодорожных мостов / Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1991. – 178 с.
VSN 32-89. Instruksiya po opredeleniyu gruzopodyomnosti zhelezobetonnykh balochnykh proletnykh stroyeniy ekspluatiruyemykh avtodorozhnykh mostov (Industry Constructions Standards 32-89. Instructions on the determination of lifting capacity of ferroconcrete beam spans of motor road bridges in use) / Minavtdor RSFSR. – М.: Transport, 1991. – 178 s.
3. Гибшман М. Е. Проектирование транспортных сооружений: учебник для вузов / М. Е. Гибшман, В. И. Попов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – С. 144–148.
Gibshman M. Ye. Proektirovaniye transportnykh sooruzheniy: uchebnyk dlya vuzov (Transport works engineering: coursebook) / M. Ye. Gibshman, V. I. Popov. – 2-ye izd., pererab. i dop. – М.: Transport, 1988. – S. 144–148.
4. Исследование напряженного состояния пролетных строений военных мостов, выполненных по системе перекрестных балок: отчет о НИР/ВИА. – М., 1991. – 225 с.
Issledovaniye napryazhennogo sostoyaniya proletnykh stroyeniy voyennykh mostov, vypolnennykh po sisteme perekrestnykh balok (The study of spans stress of military bridges built according to the beam-and-girder construction system): otchet o NIR/VIA. – М., 1991. – 225 s.
5. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах / Железобетонные сборные пролетные строения с каркасной арматурой периодического профиля. – М.: Союздорпроект, 1958. – Вып. 56. – 56 с.
Tipovyye proekty sooruzheniy na avtomobilnykh dorogakh / Proletnyye stroyeniya, zhelezobetonnyye sbornyye stroyeniya s karkasnoy armaturoy periodicheskogo profilya (Standard construction engineering on motor roads / Ferroconcrete ready-made spans with bar-mat reinforcement of periodic profile). – М.: Soyuzdorproekt, 1958. – Вып. 56. – 56 s.

6. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах / Вариант конструкций железобетонных сборных пролетных строений без диафрагм с каркасной арматурой периодического профиля. – М.: Союздорпроект, 1962. – Вып. 56, доп. – 56 с.

Типovyye proekty sooruzheniy na avtomobilnykh dorogakh / Variant konstruksiy zhelezobetonnykh sbornykh proletnykh stroyeniy bez diaphragm s karkasnoy armaturoy periodicheskogo profilya (Standard construction engineering on motor roads / Variants of constructions of ferroconcrete ready-made spans without diaphragms with bar-mat reinforcement of periodic profile). – М.: Soyuzdorproekt, 1962. – Вып. 56, доп. – 56 с.

7. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-15:2009 // Національний транспортний університет. – [Чинний від 01.03.2010]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 83 с.

Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennya i vplyvy: DBN B. 1.2-15:2009 (Transport facilities. Bridges and pipes. Load and effects: State Construction Standards B.1.2-15:2009) // Natsionalnyi transportnyi universytet. – [Chynnyi vid 01.03.2010]. – К.: Minregionbud Ukrainy, 2009. – 83 с.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. В. В. Гончаренко, АДІ ДонНТУ.

Стаття надійшла до редакції 10.10.12

Л. Н. Морозова, В. В. Самосват

Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ

«Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Анализ влияния разрушения поперечного объединения железобетонных балок пролетных строений разрезных мостов на распределение нагрузки

Усовершенствована методика расчета балочных пролетных строений разрезных мостов с учетом разрушения поперечного объединения. Обоснован принятый метод расчета. Представлены результаты расчетов, полученных по программе Prolet, составленной в рамках магистерской работы. Дана оценка точности полученных результатов. Построены линии влияния давлений на балки с учетом разрушения поперечных связей. Проанализировано влияние разрушения поперечного объединения на распределение нагрузки между балками и грузоподъемность пролетных строений автодорожных мостов.

ДЕФЕКТ, РАЗРУШЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ, ДИАФРАГМА, ПРОЛЕТНОЕ СТРОЕНИЕ, ЛИНИЯ ВЛИЯНИЯ, ШАРНИРНАЯ СВЯЗЬ, НАГРУЗКА

L. N. Morozova, V. V. Samosvat

*Automobile Transport and Highway Engineering Institute of
Donetsk National Technical University, City of Gorlovka*

Influence Analysis of Breakdown of Cross Coupling of Ferroconcrete Beams of Spans of Articulated Axle on Load Distribution

One of the methods (Gibshman method) of beam spans of axle analysis is adopted and proved. Using the method one considers the breakdown effect of cross coupling between beams on axle capacity. The calculating formulae of determination of lateral stiffness of roadway slab are improved. The results of span analysis are given. The analysis is made with the help of Prolet program, and Gibshman method is the basis of it. The program is drawn up at Highway and Man-Made Building Design Department of Road-Transport Institute of Donetsk National Technical University by V. V. Samosvat within the writing of Master's research paper. The accuracy evaluation of the results of the analysis on the program shows the perfect convergence with the reference value of Industry-Specific Construction Standards (ISCS 32-89). On the basis of the results the cross influence lines of beam pressure for defective and defectless spans are produced. The influence analysis of breakdown of cross coupling on the temporary load distribution between beams of spans is made. It is established that the most dangerous is the breakdown of cross coupling between the first and the second beams. Meanwhile the axle capacity goes down to 25–30 %. The simultaneous breakdown of cross coupling between all the beams is also dangerous. In such a situation the axle capacity of separate beams goes down to 30–40 %.

The research results have proved the necessity of the analysis of the breakdown of cross coupling under the determination of actual axle capacity.

DEFECT, BREAKDOWN OF CROSS COUPLING, DIAPHRAGM, SPAN, INFLUENCE LINE, JOINT, LOAD