

УДК 624.21.004.69

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.1.139

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК СКЛАДЕНОГО ПЕРЕРІЗУ ПРОЛЬОТНИХ БУДОВ МОСТІВ, РОЗШИРЕНИХ НАКЛАДНОЮ ПЛИТОЮ

Стечишин С. М.¹, Кваша В. Г.¹

¹ Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. У статті подані методика та результати експериментального визначення несучої здатності нормальних і похилих поперечних перерізів окремих натурних мостових балок за ТП вип. 56, об'єднаних для спільної роботи з накладною плитою двох типів: збірно-монолітною і збірною. Встановлено, що після включення в спільну роботу з наявною балкою залізобетонної ребристої накладної плити несуча здатність нормальних і похилих поперечних перерізів збільшується в 1,55–1,65 рази, що є достатнім для забезпечення вантажопідйомності розширених накладною плитою прольотних будов мостів.

Ключові слова: мостова балка, накладна плита, переріз, схема навантаження, згинальний момент, поперечна сила, несуча здатність.

Вступ, аналіз публікацій

Конструкції складеного поперечного перерізу знайшли широке застосування в мостобудуванні, промислового та цивільного будівництва [1, 2, 4, 6...9]. Перспективною галуззю застосування конструкцій складеного поперечного перерізу є підсилення і реконструкція старих прольотних будов мостів за допомогою накладної плити [3, 5, 10, 11]. Після її об'єднання з наявними балками конструкція працює комплексним поперечним перерізом, до складу якого належить переріз наявної балки і переріз накладної плити. З включенням в спільну роботу накладної плити зростає загальна робоча висота поперечного перерізу балок і цим за умови оптимального підбору висоти накладної плити досягається необхідний ступінь їх підсилення [3, 5, 10, 11].

Мета і постановка завдання

Випробування великомасштабних залізобетонних моделей балок таврового перерізу, об'єднаних з ребристою П-подібною накладною плитою, підтвердили ефективність конструкцій складеного поперечного перерізу [1]. Проте їх робота через вплив масштабного фактора на несучу здатність нормальних і похилих перерізів, а також на жорсткість залишається ще недостатньо вивченою. З огляду на це метою роботи було проведення експериментальних досліджень на дослідних зразках натурних розмірів на всіх стадіях їх роботи за умов різних схем навантаження. Програма досліджень передбачала проведення випробувань двох типів натурних дослідних зразків: балки, об'єднаної зі збірною

монолітною накладною плитою (БНП-1), і балки, об'єднаної зі збірною накладною плитою (БНП-2а та БНП-2б).

Конструкція експериментальних зразків і фізико-механічні характеристики матеріалів

Експериментальний зразок балки складеного поперечного перерізу БНП-1 (рис. 1) складався з натурної мостової балки з багаторядовою каркасною арматурою за ТП вип. 56, загальною довжиною 14,06 м, з розрахунковим прольотом 13,7 м та висотою 0,85 м і змонтованою поверх її полиці та об'єднаної для спільної роботи з балкою збірно-монолітною ребристою накладною плити. Збірні елементи накладної плити були П-подібними і мали довжину, що дорівнювала 2,3 м уздовж прольоту, ширину – 1,39 м та висоту зовнішніх контурних ребер – 0,4 м. Товщина полиці плити дорівнювала 0,1 м. Елементи накладної плити об'єднували між собою та з балкою за допомогою замоноличених стиків, шириною 0,4 м, розміщення яких збігалось з розміщенням діафрагм основної балки. Експериментальні зразки балок складеного поперечного перерізу БНП-2а та БНП-2б (рис. 2) відрізнялись від балки БНП-1 накладною плитою, збірні фрагменти якої були ребристими Т-подібними і мали довжину, що дорівнювала 2,68 м уздовж прольоту (крайні – 1,705 м), ширину – 1,39 м, висоту поперечного ребра в місці обпирання – 0,4 м, висоту контурних ребер – 0,19 м. Товщина полиці плити дорівнювала 0,1 м. Між собою елементи накладної плити об'єднувались за допомогою замоноличеного жорсткого стику на

зварюванні закладних деталей, розміщених в її контурних ребрах, а з балкою за допомогою розташованих у залізобетонних вікнах

плити анкерами такої ж конструкції, як в балці БНП-1. Загальна висота об'єднаної комплексної конструкції балок дорівнює 1,27 м.

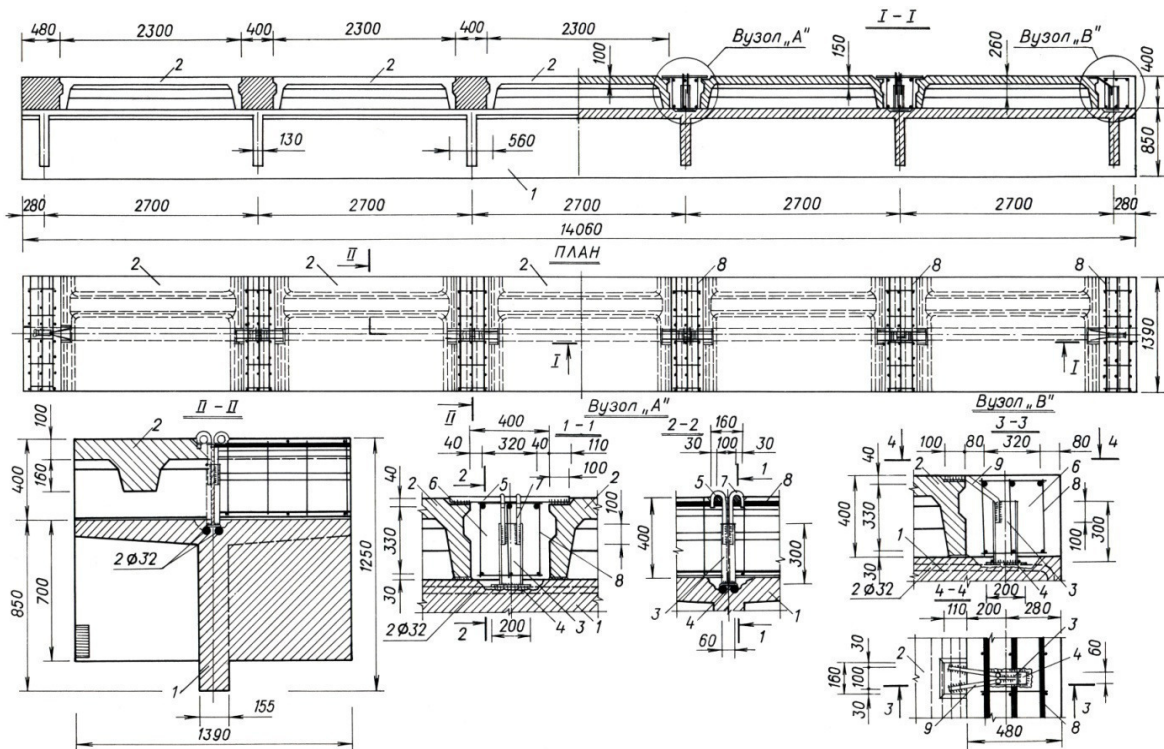


Рис. 1. Конструкція експериментального зразка балки БНП-1: 1 – основна балка; 2 – елементи збірно-монолітної накладної плити; 3 – жорсткий анкер (двотавр № 12); 4 – пластина, приварена до верхньої арматури основної балки; 5 – відрізки стрижнів $\varnothing 22$ мм; 6 – поперечний шов замоноличення; 7, 9 – анкерні стрижні; 8 – просторовий арматурний каркас

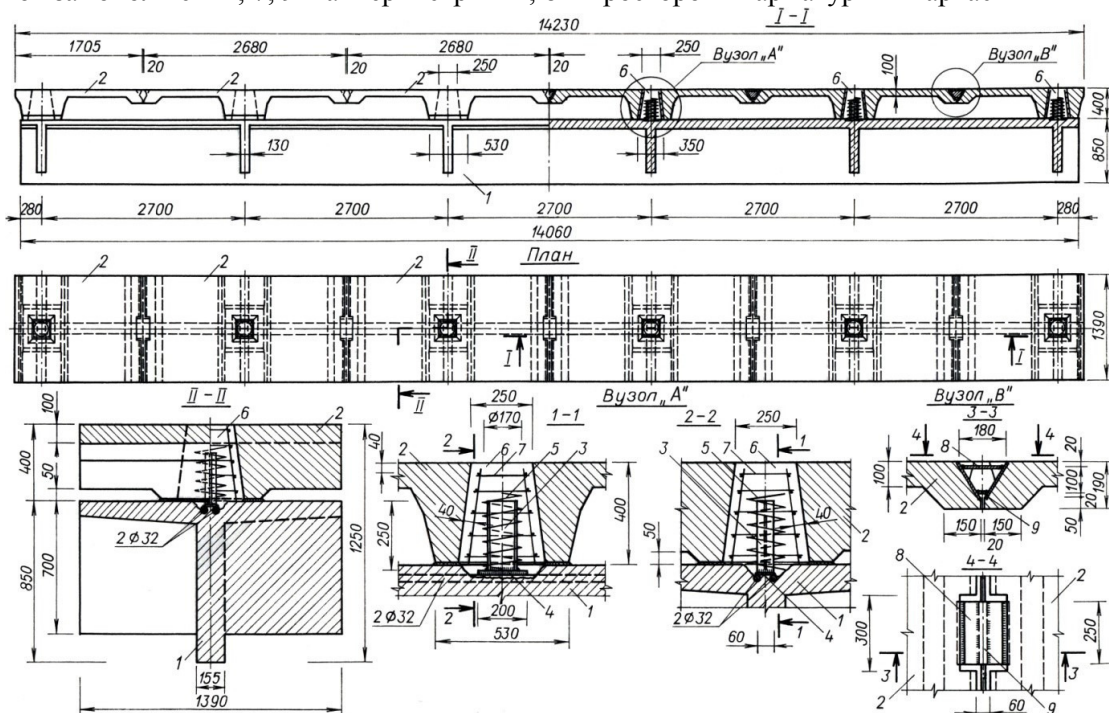


Рис. 2. Конструкція експериментального зразка балки БНП-2: 1 – основна балка; 2 – елементи збірної накладної плити; 3 – жорсткий анкер (двотавр № 12); 4 – пластина, приварена до верхньої арматури основної балки; 5 – спіраль з дроту $\varnothing 8$ мм; 6 – вікно в накладній плиті для замоноличення з'єднання; 7 – просторовий арматурний каркас; 8, 9 – пластини, приварені до закладних деталей

На першому етапі випробувань у вузлах об'єднання балки БНП-2а спеціально не передбачали елементів, що сприймають відривальні зусилля, тобто використовували найбільш невідгідний ослаблений варіант з'єднання, в якому жорсткий анкер працював на зсув, а відривальні зусилля повинен був сприймати бетон замоноличення і частково жорсткий анкер за рахунок його щеплення з бетоном. У разі виключення з роботи накладної плити після відриву від основної балки її розвантажували, зміцнювали з'єднання за допомогою чотирьох болтів (рис. 3а) і проводили подальші випробування зразка БНП-2а за передбаченими схемами.

У вузлах об'єднання балки БНП-2б елементи, що сприймали відривальні зусилля, були передбачені одразу (рис. 3б).

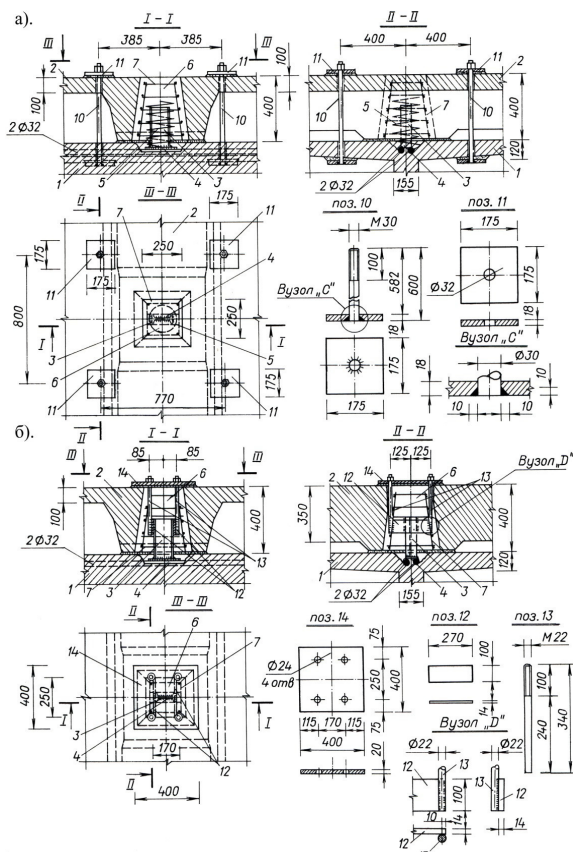


Рис. 3. Зміцнення вузлів об'єднання накладної плити з основною балкою для сприйняття відривальних зусиль у зразку: а – БНП-2а; б – БНП-2б

Під час підготовки дослідних зразків до випробувань визначали фізико-механічні характеристики бетону і арматури основних балок, елементів накладної плити та ділянок замоноличення швів. Значення фізико-механічних характеристик матеріалів для

всіх експериментальних зразків подані в табл. 1.

Методика експериментальних досліджень

Методика експериментальних досліджень балок складеного поперечного перерізу мала особливість, яка полягала в тому, що на обмеженій кількості зразків натурних розмірів прагнули отримати максимальну кількість даних.

Балку БНП-1 навантажували двома зосередженими силами, прикладеними симетрично над середніми діафрагмами (рис. 4а). За цією схемою навантаження досліджували напружено-деформований стан нормальних та похилих перерізів, а також жорсткість та розкриття нормальних і похилих тріщин і доводили балку до руйнування в нормальному поперечному перерізі. Навантаження прикладали ступенями величиною 0,1...0,15 від передбачуваного руйнівного. За момент руйнування приймали стан нормального поперечного перерізу, коли в поздовжній робочій арматурі під час процесів текучості та роздавлювання бетону стиснутої полиці накладної плити. Під час текучості арматури без руйнування стиснутої зони за момент руйнування приймали доведення прогину балки до величини 1/50 розрахункового прольоту, що в цьому конкретному випадку становило 27,4 см.

Схеми навантаження балки БНП-2а подані на рис. 4б-е. Схема I із завданнями досліджень відповідала схемі навантаження балки БНП-1. У цьому випадку передбачали максимальне навантаження балки до 0,75...0,8 від руйнівного (розкриття нормальних тріщин 0,3...0,4 мм без текучості поздовжньої робочої арматури) або ж до відриву накладної плити і додатково один-два ступеня навантаження після її відриву. За схемою Ia досліджували роботу балки після здійснення процесу підсилення за допомогою стяжних болтів, відірваних під час випробування за схемою I з'єднань плити з основною балкою.

Схеми II...IV передбачали дослідження напружено-деформованого стану балок в зоні дії максимальних поперечних сил і згинальних моментів, що відповідають їм. Під час випробувань за схемою II планували отримати руйнування похилого перерізу на ділянці від опори до першої діафрагми і таким чином оцінити несучу здатність балки складеного поперечного перерізу за поперечною силою.

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики матеріалів експериментальних зразків

№ п/п	Показники	Експериментальний зразок		
		БНП-1	БНП-2а	БНП-2б
Бетон основної балки/елементів накладної плити/ділянок замоноличення				
1.	Кубова міцність, МПа	23,3/36,8/20,6	23,6/49,8/23,0	33,0/-/-
2.	Призмova міцність, МПа	17,4/27,0/-	17,6/40,0/17,2	24,3/-/-
3.	Міцність на осьове розтягнення, МПа	1,89/2,57/-	1,90/3,13/1,88	2,38/-/-
4.	Початковий модуль пружності, МПа	3,14×10 ⁴ / 4,0×10 ⁴ / 3,05×10 ⁴	3,16×10 ⁴ / 3,49×10 ⁴ / 3,24×10 ⁴	3,7×10 ⁴ /-/-
Арматура основної балки				
1.	Межа текучості поздовжньої і відігнутої робочої арматури (ГОСТ 585-53, ст. 5 (кл. А-II)), МПа	350,0	355,6	355,0
2.	Межа текучості поперечної арматури (ГОСТ 585-53, ст. 3 (кл. А-I)), МПа	248,0	246,0	233,6
3.	Модуль пружності поздовжньої робочої арматури (ГОСТ 585-53, ст. 5 (кл. А-II)), МПа	2,0×10 ⁵	2,02×10 ⁵	2,1×10 ⁵

Оскільки балка зруйнувалась не в похилому, а в нормальному поперечному перерізі над першою від опори діафрагмою від текучості поздовжньої арматури, кількість якої в цьому перерізі завдяки відгинам значно менша ніж в середній частині прольоту, балку вирішили випробувати за іншою схемою. У схемі III проліт балки зменшили шляхом переставлення однієї з опор під іншу від краю діафрагму, а балку зменшеного прольоту навантажували однією зосередженою силою, розміщеною з протилежного боку над першою від опори діафрагмою. За схемою III планували одержати руйнування при опорній ділянці в похилому перерізі зі сторони більшої поперечної сили. Проте балка знову руйнувалась не в похилому, а в нормальному поперечному перерізі під силою від текучості поздовжньої робочої арматури. Тоді використали останню можливу схему руйнування балки в похилому перерізі на ділянці між додатковою і крайньою опорою зі сторони меншого прольоту під час розміщення сили над першою від опори діафрагмою (схема IV). За умов використання такого навантаження балка повинна зруйнуватись в похилому перерізі на ділянці між силою і додатковою опорою, де напрямком похилих тріщин збігався з напрямком відгинів арматури, тобто вони практично не брали участі в сприйнятті поперечної сили. Поперечну силу на зазначеній ділянці сприймає бетон полиці основної балки і накладної плити. Розрахувати вплив відігнутої арматури на несучу здатність похилого перерізу можна за відомими формулами норм проектування. Таким чином, випробування за цією схемою дозволяє експеримен-

тально-розрахунковим шляхом оцінити повну величину несучої здатності похилого перерізу досліджуваної балки.

Схеми випробувань балки БНП-2б були такими ж, як і балки БНП-2а.

Експериментальний зразок БНП-1 випробували на місці раніше проведених випробувань наявної і розширеної балок накладною плитою натурних прольотних будов [2]. Він був виділений з розширеної збірно-монолітною накладною плитою прольотної будови шляхопроводу шляхом поздовжнього розбиття накладної плити вздовж ширини балки, звільнення від бетону замоноличування швів між суміжними балками, розрізання з'єднувальних накладок на всіх діафрагмах, зокрема опорних.

Експериментальні зразки балок складеного поперечного перерізу БНП-2а і БНП-2б випробували в однакових умовах на силовому стенді, де їх і готували до випробувань (рис. 5). В усіх випадках навантаження створювали гідравлічними домкратами ДГ-200 в комплекті з ручними насосними станціями і контролювали попередньо тарованими зразковими манометрами.

Під час використання всіх схем випробувань вимірювали деформації поздовжньої і відігнутої арматури, деформації розтягнутого і стиснутого бетону вздовж висоти ребра і в полиці основної балки, та в полиці накладної плити, деформації зсуву і відриву накладної плити, а також прогини балок (з урахуванням осідання опор) уздовж прольоту (в перерізах під поперечними діафрагмами і в середині прольоту).

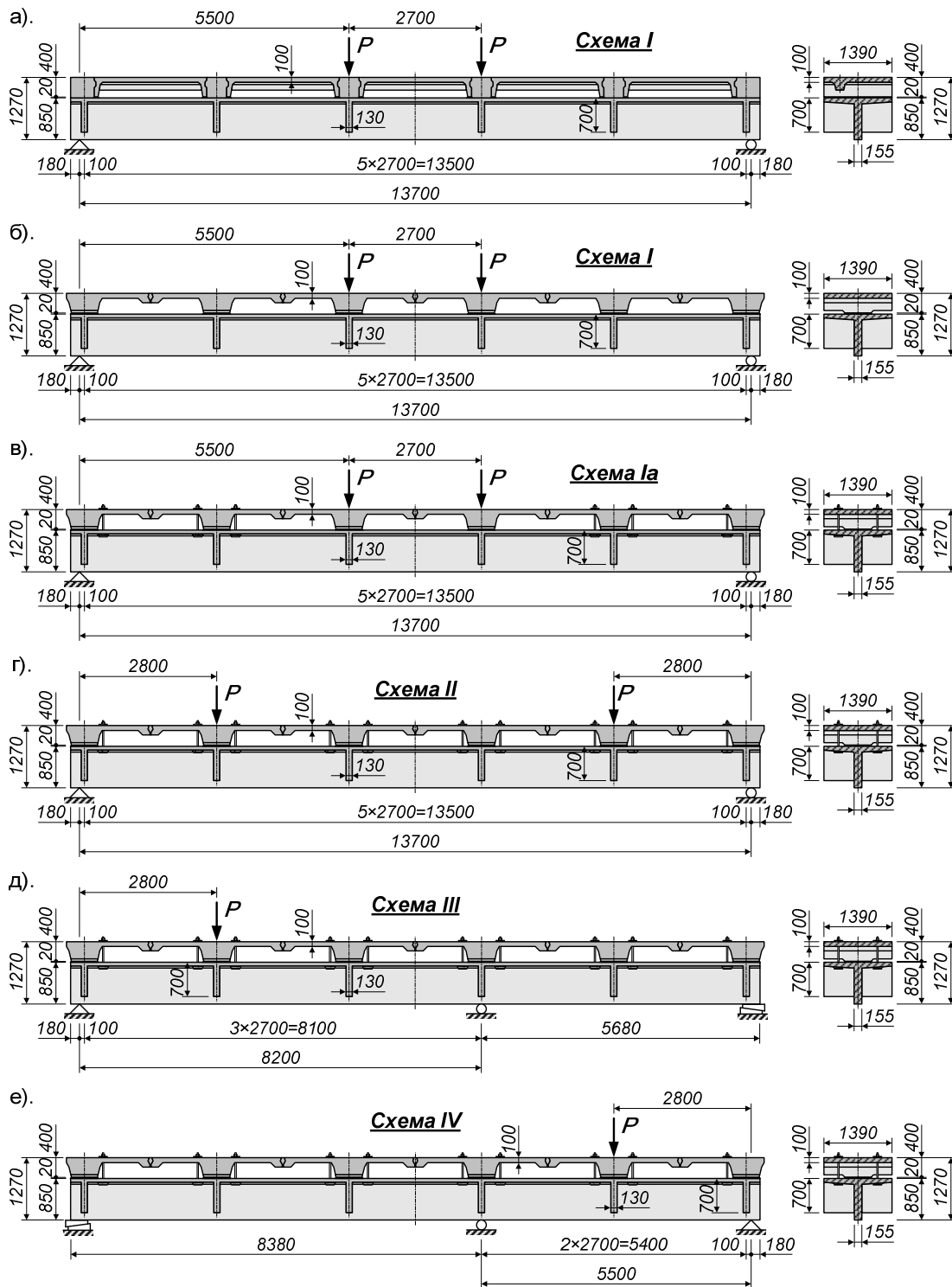


Рис. 4. Схеми навантаження дослідних зразків: а – БНП-1; б-е – БНП-2а; б, г-е – БНП-2б

Результати випробувань експериментальних балок та їх аналіз

Балку БНП-1 за схемою I навантажували до максимального навантаження $P = 445$ кН, після чого почалась текучість в поздовжній арматурі, яка супроводжувалась розкриттям нормальних тріщин до 1,6...2,2 мм і розвитком їх на всю висоту основної балки, зокрема

на її полицю, яка за умов максимального навантаження виявилась розтягнутою. Прогин в середині прольоту склав 5,04 см. Руйнування стиснутої полиці накладної плити не відбулось, тому навантажування продовжували до досягнення максимального прогину 1/50 прольоту.

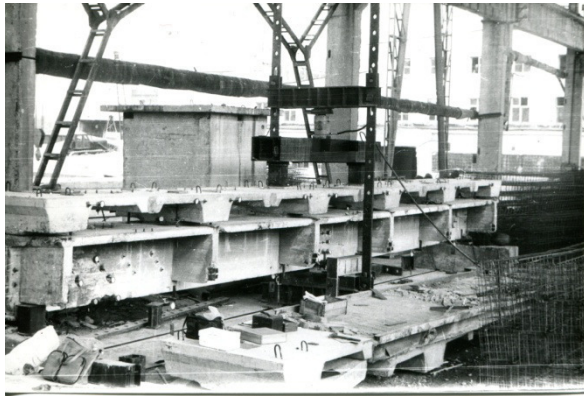


Рис. 5. Загальний вигляд випробувань дослідного зразка БНП-2а за умов навантаження за схемою I

У цьому випадку навантаження на домкраті не зростало, а у разі прогону, що дорівнював 18,2 см, зрізався жорсткий анкер в стику накладних плит з наявною балкою справа над першою від опори прольотною діафрагмою. Роздавлювання стиснутої полиці накладної плити в середній частині прольоту на ділянці між силами не відбулося. Істотні зсуви накладних плит в з'єднаннях з основною балкою почалися за умов навантаження, близьких до максимального (0,75...0,8 від руйнівного). Вони супроводжувались виникненням поперечних вертикальних тріщин в місцях примикання полиці накладних плит до ребер на приопорних ділянках балки (від сил до опор) зліва і справа. В опорному з'єднанні тріщина в полиці крайньої плити розкривалась зверху, а в з'єднанні над першою від опори діафрагмою – знизу. Аналогічний характер розвитку тріщин був і в другій від опори накладній плиті. Описані тріщини – наслідок виникнення місцевих згинальних моментів в полиці накладних плит. Виникнення цих тріщин і їх подальше розкриття супроводжувалось поворотом полиці плити між контурними ребрами в вертикальній площині.

З урахуванням власної ваги балки і накладної плити експериментальний руйнівний згинальний момент становив 2565 кНм. Несуча здатність нормального перерізу за рахунок включення в роботу накладної плити на відміну від несучої здатності основної балки (без накладної плити) зросла в 1,56 раза.

У випадку з першим навантаженням за схемою I зразка БНП-2а, який спочатку був виготовлений тільки з анкерами, що працюють на зсув, використовуючи навантаження, що складає близько 300 кН на одну силу, по-

чався інтенсивний відрив накладних плит в з'єднаннях на опорі і над першою від опори діафрагмою. Але, не дивлячись на наявність відриву плит, навантаження вдалось довести приблизно до $P = 460$ кН, тобто до початку текучості арматури. Оскільки у випадку з другим навантаженням (за схемою Ia) відрив накладних плит завдяки анкерним болтам проявився значно меншою мірою, то прогини і деформації у цьому випадку були меншими (до 30 %), ніж у першому випадку. Отже, відрив накладної плити практично не вплинув на несучу здатність складеної балки, але відчутно відобразився на її деформаціях і жорсткості.

Експериментальний руйнівний згинальний момент для цієї балки мало відрізнявся від такого ж для зразка БНП-1. Після встановлення анкерних болтів прогини її також мало відрізнялись від прогинів балки БНП-1.

Під час навантаження балки БНП-2а зосередженими силами над крайніми діафрагмами (за схемою II) максимальна величина сили склала $P = 680$ кН, після чого стався процес текучості поздовжньої робочої арматури в нормальних поперечних перерізах під силами. Руйнування похилих поперечних перерізів балки не відбулося.

Не отримали руйнування балки БНП-2а в похилому поперечному перерізі також і у випадку її випробування за схемою III. Максимальне навантаження $P = 1050$ кН викликало текучість поздовжньої робочої арматури в нормальному поперечному перерізі під силою.

Під час випробувань балки БНП-2а за схемою IV максимальне навантаження, що призвело до руйнування балки, склало $P = 1560$ кН, що з урахуванням маси балки і накладної плити дало величину руйнівної поперечної сили, що складає 818 кН (рис. 6). Розрахована руйнівна поперечна сила за цією схемою завантаження дорівнює 427 кН. Таким чином, маємо різницю в експериментальному і розрахованому значеннях руйнівної поперечної сили, оскільки існує вплив накладної плити, а також нагельний ефект поздовжньої арматури, який у разі прийнятого типу армування балок також повинен бути значним. Розрахована мінімальна частка поперечної сили, яку можуть сприйняти відгини під час процесу текучості арматури, становить $Q_{inc} = 442$ кН. Отже, загальна несуча здатність похилого перерізу складеної балки (з урахуванням роботи накладної плити) дорівнює $Q_u = 818 + 442 = 1260$ кН.

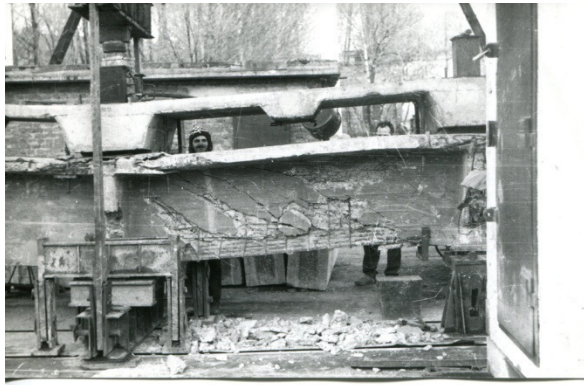


Рис. 6. Характер руйнування приопорної ділянки експериментального зразка БНП-2а під час випробування за схемою IV (вид від сили до крайньої опори)

Результати випробувань балки БНП-2б загалом підтвердили результати випробувань балки БНП-2а. Різниця в одержаних величинах руйнівних навантажень і прогинах складала декілька процентів. Малий розкид експериментальних даних випробувань балок складеного поперечного перерізу свідчить про високий ступінь достовірності одержаних результатів.

Висновки

1. Нормальні поперечні перерізи балок обох типів зруйнувалися від текучості поздовжньої арматури без руйнування стиснутої полиці накладної плити. Вичерпання несучої здатності похилих поперечних перерізів під час випробувань обох типів балок не досягнуто. У балках складеного поперечного перерізу її визначали за додатковими схемами навантаження експериментально-розрахунковим способом. Одночасно експериментально визначали несучу здатність похилого поперечного перерізу на приопорній ділянці за стиснутим бетоном Q_b , поперечною арматурою Q_{sw} та за рахунок нагельного ефекту поздовжньої арматури, а вплив відігнутих стрижнів вираховували

2. Включення в спільну роботу з наявною балкою залізобетонної ребристої накладної плити істотно підвищує її несучу здатність. Насуча здатність нормальних і похилих поперечних перерізів збільшується в 1,55...1,65 раза. Отже, після об'єднання з накладною плитою досягається підсилення балок, ступінь якого є достатнім для забезпечення їх несучої здатності у випадку розширення прольотних будов за ТП вип. 56 до габаритів Г-9+2×1,5 м і Г-10,5+2×1,5 м, що є задовільним результатом для переважної більшості

практичних потреб для доріг II-ї і III-ї категорій.

Література

1. Валовой О. І. Оцінка міцності залізобетонних балок, підсилені в стиснутій зоні ефективними матеріалами / О. І. Валовой, О. Ю. Єрьоменко // Зб.: *Дороги і мости*. К.: ДерждорНДІ, 2008. Вип. 9. С. 22–28.
2. Гнідець Б. Г. Збірно-монолітні залізобетонні конструкції прогонових будов мостів коробчатої форми для складних умов будівництва / Б. Г. Гнідець // Зб.: *Дороги і мости*. К.: ДерждорНДІ, 2008. Вип. 9. С. 45–54.
3. Кваша В. Г. Експериментальні дослідження роботи натурних мостових балок з багаторядовою каркасною арматурою до та після підсилення ребристою накладною плитою / В. Г. Кваша, С. М. Стечишин // Зб.: *Дороги і мости*. К.: Держдор НДІ, 2009. Вип. 11. С. 112–125.
4. Семко О. . Експериментальні дослідження нового залізобетонного ригеля / О. В. Семко, С.А. Гудзь // Зб.: *Дороги і мости*. К.: ДерждорНДІ, 2007. Вип. 7, том II. С. 168–176.
5. Стечишин С. М. Експериментальні дослідження сумісної роботи моделей балок прольотних будов з ребристою накладною плитою / С. М. Стечишин // Збірник наукових праць *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2013. Вип. 25. С. 612–621.
6. Стрелецкий Н. Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов / Н. Н. Стрелецкий // М.: Транспорт, 1981. 360 с.
7. Cholewski A. Interakcja w konstrukcjach zespolonych z betonu / A. Cholewski // XLV konf. nauk. KILiW PAN I KN PZITB *Problemy naukowo-badawcze budownictwa. Konstrukcje betonowe*. Wrocław-Krynica: PW, 1999. Том 2. S. 15–22.
8. Hnidec B. Zespolone skrzyńkowe konstrukcje sprężone przęsel mostów – nowe zastosowania w budownictwie / B. Hnidec // Konf. nauk. techn. *Zespolone konstrukcje mostowe*. Kraków: PK, 2009. S. 177–188.
9. Jendźrzejek S. Mosty zespolone ciągle nasuwane podłużnie – problemy projektowe / S. Jendźrzejek, P. Gostawski, L. Knorek // Konf. nauk. techn. *Zespolone konstrukcje mostowe*. Kraków: PK, 2009. S. 225–238.
10. Kwasza W. Rekonstrukcja drogowego mostu żelbetowego z poszerzeniem konstrukcji przęsel / W. Kwasza, J. Sobko, S. Steczyszyn // Ogólnopolska konferencja mostowców *Konstrukcja i wyposażenie mostów*. Wisła: PS, 1997. S. 205–212.
11. Kwasza W. Zastosowanie zespolonej płyty pomostowej do wzmacniania mostów betonowych / W. Kwasza, L. Salijczuk // Konf. nauk.

techn. *Zespolone konstrukcje mostowe*. Kraków: PK, 2009. S. 319–328.

References

- Valovoy O.I. (2008). Otsinka mitsnosti zalizobetonnykh balok, pidsylenykh v stysnutiy zoni efektyvnymy materialamy [Evaluation of the strength of reinforced concrete beams reinforced in the compressed zone with effective materials] / O.I. Valovoy, O.Y. Eriomenko // *Zb.: Dorohy i mosty*. K.: DergdorNDI, 2008. Vyp. 9. S. 22–28. [in Ukrainian].
- Hnidec B. G. (2008). Zbirno-monolitni zalizobetonni konstruktsiyi prohonovykh budov mostiv korobchastoyi formy dlya skladnykh umov budivnytstva [Collapsible-monolithic reinforced-concrete constructions of span structures of bridges of box form for the difficult terms of building] / B.G. Hnidec // *Zb.: Dorohy i mosty*. K.: DergdorNDI, 2008. Vyp. 9. S. 45-54. [in Ukrainian].
- Kvasha V. G. (2009). Eksperymental'ni doslidzhennya roboty naturnykh mostovykh balok z bahatoryadovoyu karkasnoyu armaturoyu do ta pislya pidsylennya rebrystoyu nakladnoyu plytoyu [Experimental researches of work of model bridge beams with multi-row frame reinforcement before and after strengthening the ribbed pavement slab] / V.G. Kvasha, S.M. Stechyshyn // *Zb.: Dorohy i mosty*. K.: DergdorNDI, 2009. Vyp. 11. S. 112-125. [in Ukrainian].
- Semko O. V. (2007). Eksperymental'ni doslidzhennya novoho zalizobetonnoho ryhelya [Experimental researches of new reinforced-concrete crossbar] / O.V. Semko, S.A. Hudz // *Zb.: Dorohy i mosty*. K.: DergdorNDI, 2007. Vyp. 7, tom II. S. 168-176. [in Ukrainian].
- Stechyshyn S. M. (2013). Eksperymental'ni doslidzhennya sumisnoyi roboty modeley balok prolotnykh budov z rebrystoyu nakladnoyu plytoyu [Experimental researches of the joint work of models of beams of span structures with ribbed pavement slab] / S.M. Stechyshyn // *Zbirnyk naukovykh prats' Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy*. Rivne: NUVHP, 2013. Vyp. 25. S. 612–621. [in Ukrainian].
- Streletskiy N.N. (1981). Stalezhelezobetonnyye proletnyye stroyeniya mostov [Steel-reinforced concrete span structures of bridges] / N.N. Streletskiy // M.: Transport, 1981. 360 s. [in Russian].
- Cholevs'kyy A. (1999). Interakcia v konstruktsiah zespolonyh z betonu [Interaction in the construction of a composite section made of concrete] / A. Cholevs'kyy // *XLV konf. nauk. KILiW PAN I KN PZITB Problemy nauково-badavche budovnistva. Konstrukcij betonove*. Vroslav-Krynytsya: PW, 1999. Tom 2. S. 15–22. [in Polish].
- Hnidec' B. (2009). Zespolone skrzynekowe konstruktsij sprezone przesel mostuv – nowe zastosovanya v budovnistve [Prestressed bridge boxes with folded cross section – new uses in construction] / B. Hnidec // *Konf. nauk. tekhnich. Zespolone konstruktsie mostove*. Krakuv: PK, 2009. S. 177–188. [in Polish].
- Jendrzeczek S. (2009). Mosty zespolone ciangle nasuvane podlujnie – problemy proektove [Design problems of folded continuous bridges in the longitudinal direction] / S. Jendrzeczek, P. Hostavs'kyy, L. Knorek // *Konf. nauk. tekhnich. Zespolone konstruktsie mostove*. Krakuv: PK, 2009. S. 225–238. [in Polish].
- Kvasza W. (1997). Rekonstruktsiya drogovego mostu jelbetovego z poszerzeniem konstruktsiyi przesel' [Reconstruction of reinforced concrete road bridge with extension of the span structure] / W. Kvasza, J. Sobko, S. Stechyshyn // *Ogolnopolska konferentsiya mostovcov Konstruktsia i vyposajenie mostuv*. Wisla: PS, 1997. S. 205–212. [in Polish].
- Kvasza W. (2009). Zastosovannya zespolonej plyty pomostovej do vzmachnania mostuv betonovykh [Application of paving slabs of bridge decking to reinforce concrete bridges] / W. Kvasza, L. Salijchuk // *Konf. nauk. tekhnich. Zespolone konstruktsiyi mostove*. Krakuv: PK, 2009. S. 319–328. [in Polish].

Стечишин Степан Михайлович¹, ст. викл. каф. автомобільних доріг та мостів, budtestcentre@ukr.net, тел. +38 067-172-57-41

Кваша Віктор Григорович¹, д.т.н., проф. каф. автомобільних доріг та мостів, vgvkvasha@gmail.com, тел. +38 096-460-07-34,

¹Національний університет “Львівська політехніка”, 79013, Україна, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12.

Несущая способность железобетонных балок составного сечения пролетных строений мостов, уширенных накладной плитой

Аннотация. Приведены методика и результаты экспериментального определения несущей способности нормальных и наклонных поперечных сечений отдельных натурных мостовых балок за ТП вып. 56, объединенных для совместной работы с накладной плитой двух типов: сборно-монолитной и сборной. Установлено, что после включения в совместную работу с существующей балкой железобетонной ребристой накладной плиты несущая способность нормальных и наклонных поперечных сечений увеличивается в 1,55–1,65 раза, что является достаточным для обеспечения грузоподъемности расширенных накладной плитой пролетных строений мостов.

Ключевые слова: мостовая балка, накладная плита, сечение, схема нагружения, изгибающий момент, поперечная сила, несущая способность.

Стечишин Степан Михайлович¹, ст. препод. каф. автомобильных дорог и мостов, budtestcentre@ukr.net, тел. +38 067-172-57-41

Кваша Виктор Григорьевич¹, д.т.н., проф. каф. автомобильных дорог и мостов, тел.

vgkvasha@gmail.com, +38 096-460-07-34,

¹Национальный университет “Львовская политехника”, 79013, Украина, г. Львов, ул. Степана Бандеры, 12.

Carrying capacity of reinforced concrete beams of the compound cross-section of the span structures of bridges, extended by the paving slab

Abstract. Problem. Experimental studies of load-carrying capacity of full-scale reinforced concrete bridge beams of typical 56 type project are described. The beams were dismantled from the existing bridge after 40 years of its operation and combined with fragments of precast-monolithic and precast ribbed paving slab, were used during the reconstruction of the old span structures for widening and simultaneous strengthening of their beams by way of extending the transverse section from above.

Goal. Three prototypes of full-length reinforced concrete bridge beams with a total length of 14,06 m were tested, which had a folded cross-section, including a tare section of an existing beam of 0,85 m high and a fragment of a ribbed precast or precast monolithic plate, extended from above for joint work. Thus, the total height of the folded section of the reinforced prototype beams was 1,27...1,29 m. **Methodology.** The technique of testing the beams of the composite section was to obtain the maximum number of experimental data on a limited number of prototypes, in particular their carrying capacity for normal and inclined cross-sections. For this purpose, during the tests, different schemes of their loading with one or

two concentrated forces were created for obtaining different types of destruction on the same prototype – by bending moment and transverse force. **Originality.** Therefore, the load-carrying capacity of the test beams in both normal and inclined cross-sections were studied. The main purpose of these studies is to evaluate the impact of the inclusion in the joint work with the existing beams of ribbed paving slab on the increase of their carrying capacity both in zonal moment and in transverse force compared with the carrying capacity of the only existing beams. **Results and practical value.** As the main result of the research, it was found that after the inclusion in the joint work of the ribbed paving slab the carrying capacity of normal and inclined cross-sections increased by 1,55-1,65 times, which is sufficient to provide load capacity of the expanded paving slab of bridge structures.

Key words: bridge beam, paving slab, cross-section, load diagram, bending moment, lateral force, carrying capacity.

Kvasha Viktor¹, Doctor of Technical Sciences, prof. cath. highways and bridges, vgvasha@gmail.com, tel. +38 096-460-07-34,

Stechyshyn Stepan¹, Senior Lecturer of cath. highways and bridges, budtestcentre@ukr.net, tel. +38 067-172-57-41,

¹National University “Lviv Polytechnic”, Ukraine, 79013, Lviv, st. Stepan Bandera, 12.