

УДК 624.21.004.69

*С.М. Стечишин, старший викладач
Національний університет «Львівська політехніка»*

МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК СКЛАДЕНОГО ПЕРЕРІЗУ ПРОЛЬОТНИХ БУДОВ МОСТІВ, РОЗШИРЕНИХ НАКЛАДНОЮ ПЛИТОЮ

Наведено методику та результати експериментального визначення міцності нормальних і похилих перерізів окремих натурних мостових балок за ТП вип. 56, об'єднаних для сумісної роботи з накладною плитою двох типів: збірно-монолітною та збірною.

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

УДК 624.21.004.69

*С.М. Стечишин, старший преподаватель
Национальный университет «Львовская политехника»*

ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ, УШИРЕННЫХ НАКЛАДНОЙ ПЛИТОЙ

Приведены методика и результаты экспериментального определения прочности нормальных и наклонных сечений отдельных натурных мостовых балок по ТП вып. 56, объединенных для совместной работы с накладной плитой двух типов: сборно-монолитной и сборной.

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

UDC 624.21.004.69

*S.M. Stechyshyn, senior lecturer
«National University «Lviv Polytechnic»*

STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS OF THE CROSS SECTION OF SPAN BRIDGE STRUCTURES WIDEN BY THE OVERHEAD PLATE

Methodology and results of the strength experimental determination of the standard cross section and the oblique section of separate real bridge beams after the typical project number 56 are given. These bridge beams are combined for the joint action with the overhead plate of two types: cast-in-place and precast construction.

Keywords: bridge beam, overhead plate, section, load distribution, moment of flexion, traverse force.

Вступ. Конструкції складеного перерізу знайшли широке застосування в мостобудуванні, промисловому та цивільному будівництві. Перспективною галуззю успішного застосування конструкцій складеного перерізу є підсилення і реконструкція старих пролітних будов мостів за допомогою накладної плити. Після її об'єднання з існуючими балками конструкція працює комплексним перерізом, до складу якого входить переріз існуючої балки і переріз накладної плити. Із включенням у роботу накладної плити зростає загальна робоча висота перерізу балок, і, при оптимальному підборі висоти накладної плити цим досягається необхідний ступінь їх підсилення.

Випробування великомасштабних залізобетонних моделей балок таврового перерізу, об'єднаних з ребристою П-подібною накладною плитою підтвердили ефективність конструкцій складеного перерізу [1]. Проте їх робота через вплив масштабного фактора на міцність 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 при різних схемах навантаження. Програма досліджень передбачала проведення випробувань двох типів натурних зразків: балка, об'єднана зі збірною-монолітною накладною плитою (БНП-1) і балки, об'єднані зі збірною накладною плитою (БНП-2а та БНП-2б).

Випробування натурних балок складеного перерізу виконано вперше.

Конструкція експериментальних зразків і фізико-механічні характеристики матеріалів. Експериментальний зразок балки складеного 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 змонтованої поверх її полиці та об'єднаної для сумісної роботи з балкою збірною-монолітною ребристою накладною плитою. Збірні елементи накладної плити були П-подібними і мали довжину 2,3 м уздовж прольоту, ширину – 1,39 м та висоту зовнішніх контурних ребер – 0,4 м. Товщина полиці плити – 0,1 м. Елементи накладної плити об'єднували між собою та з балкою за допомогою замоноличених стиків шириною 0,4 м, розміщення яких збігалося з розташуванням діафрагм основної балки.

Експериментальні зразки балок складеного перерізу БНП-2а та БНП-2б (рис. 2) відрізнялися від балки БНП-1 накладною плитою, збірні фрагменти котрої були ребристими Т-подібними і мали довжину 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 – 0,1 м. Між собою елементи накладної плити об'єднувалися замоноличеним жорстким стиком на зварюванні закладних деталей, розміщених у її контурних ребрах, а з балкою – розташованими у забетонуваних вікнах плити анкерами такої ж конструкції, як у балці БНП-1.

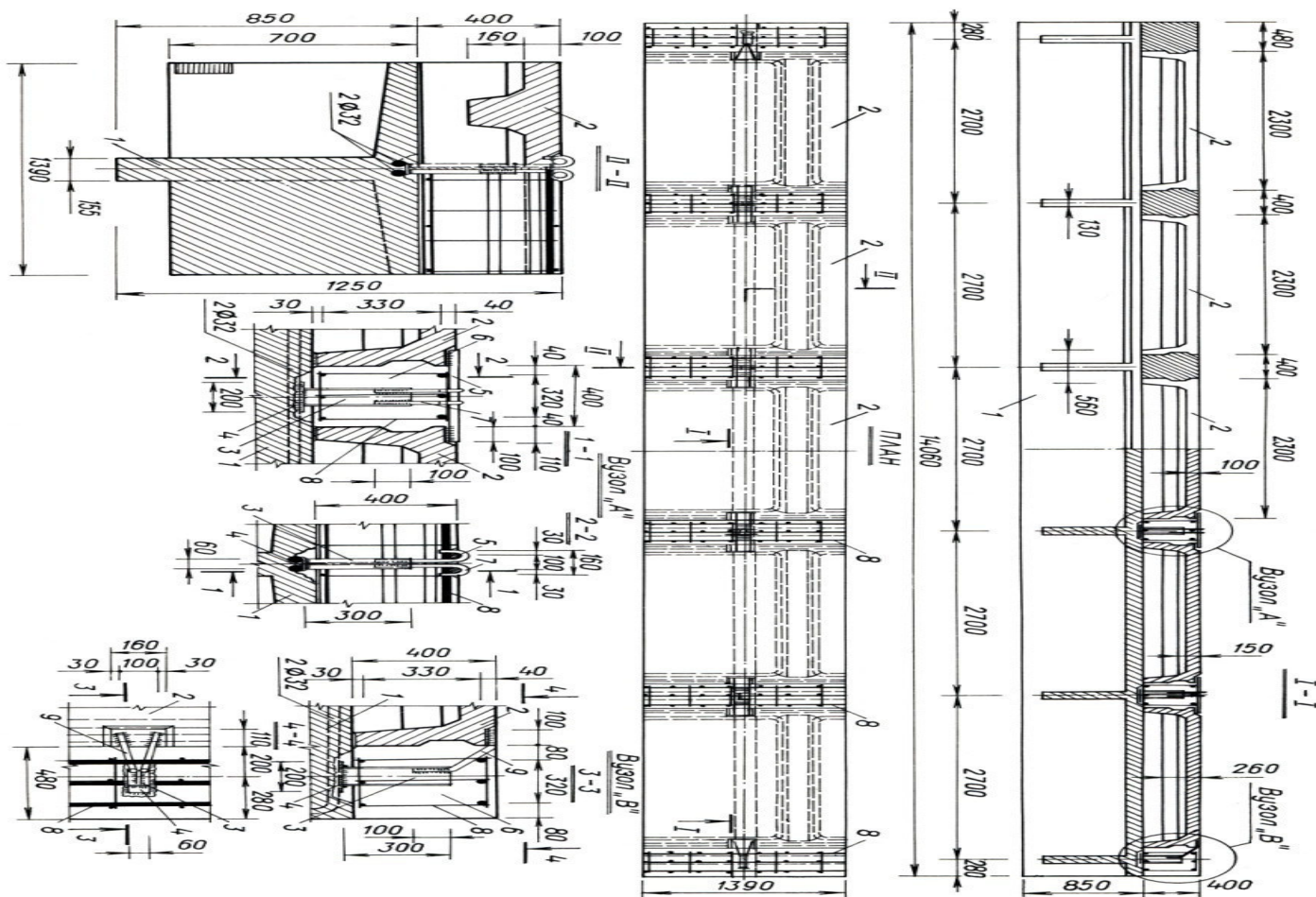


Рис. 1. Конструкція експериментального зразка балки БНП-1:

- 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 Ø22 мм;
6 – поперечний шов замоноличення; **7, 9** – анкерні стрижні; **8** – просторовий арматурний каркас

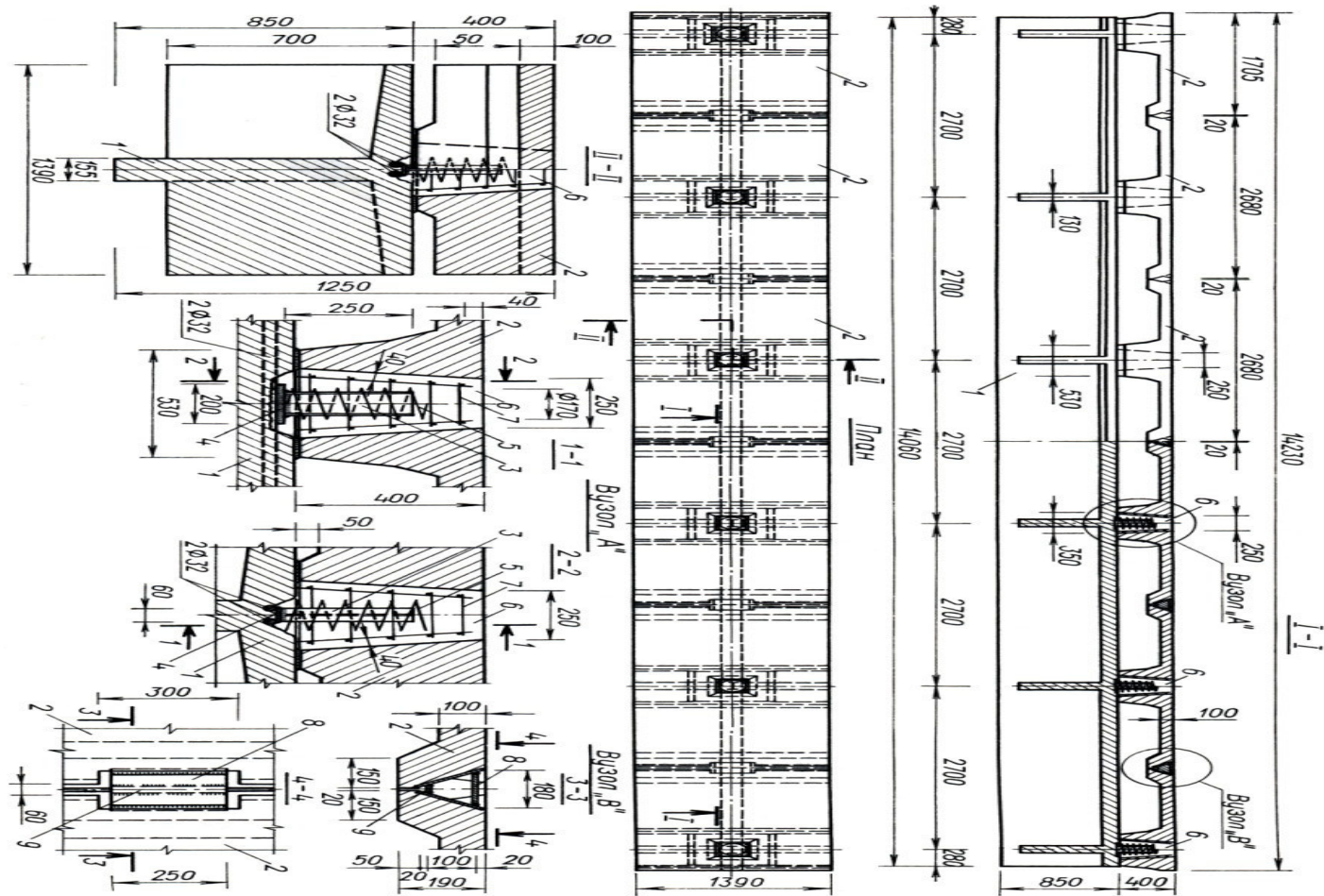


Рис. 2. Конструкція експериментального зразка балки БНП-2:

- 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

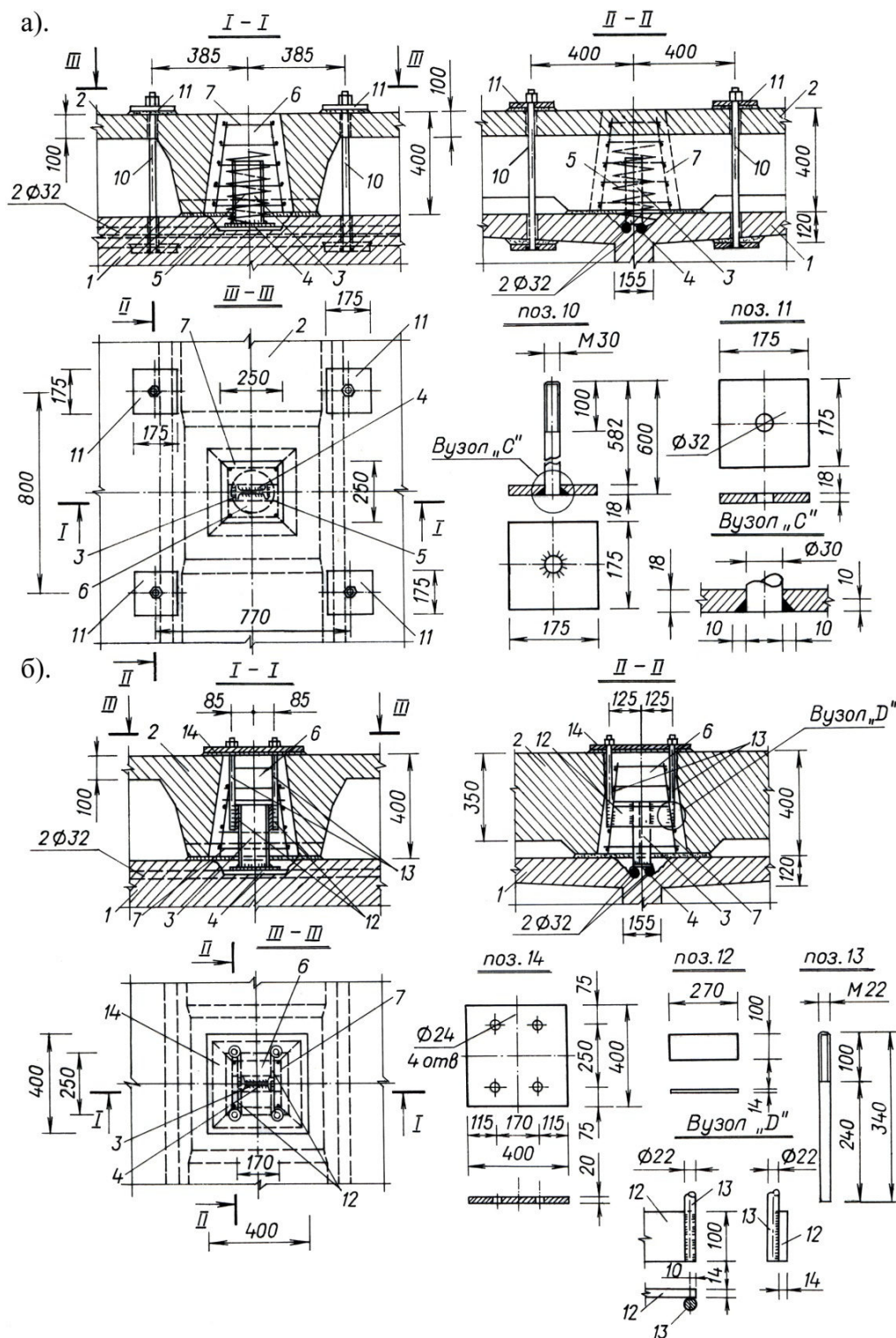


Рис. 3. Зміцнення вузлів об'єднання накладної плити з основною балкою для сприйняття відриваючих зусиль зразку: а – БНП-2а; б – БНП-2б

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики матеріалів експериментальних зразків

№ з/п	Показники	Експериментальний зразок		
		БНП-1	БНП-2а	БНП-2б
Бетон основної балки/елементів накладної плити/ділянок замонолічення				
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 осьовий розтяг, 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

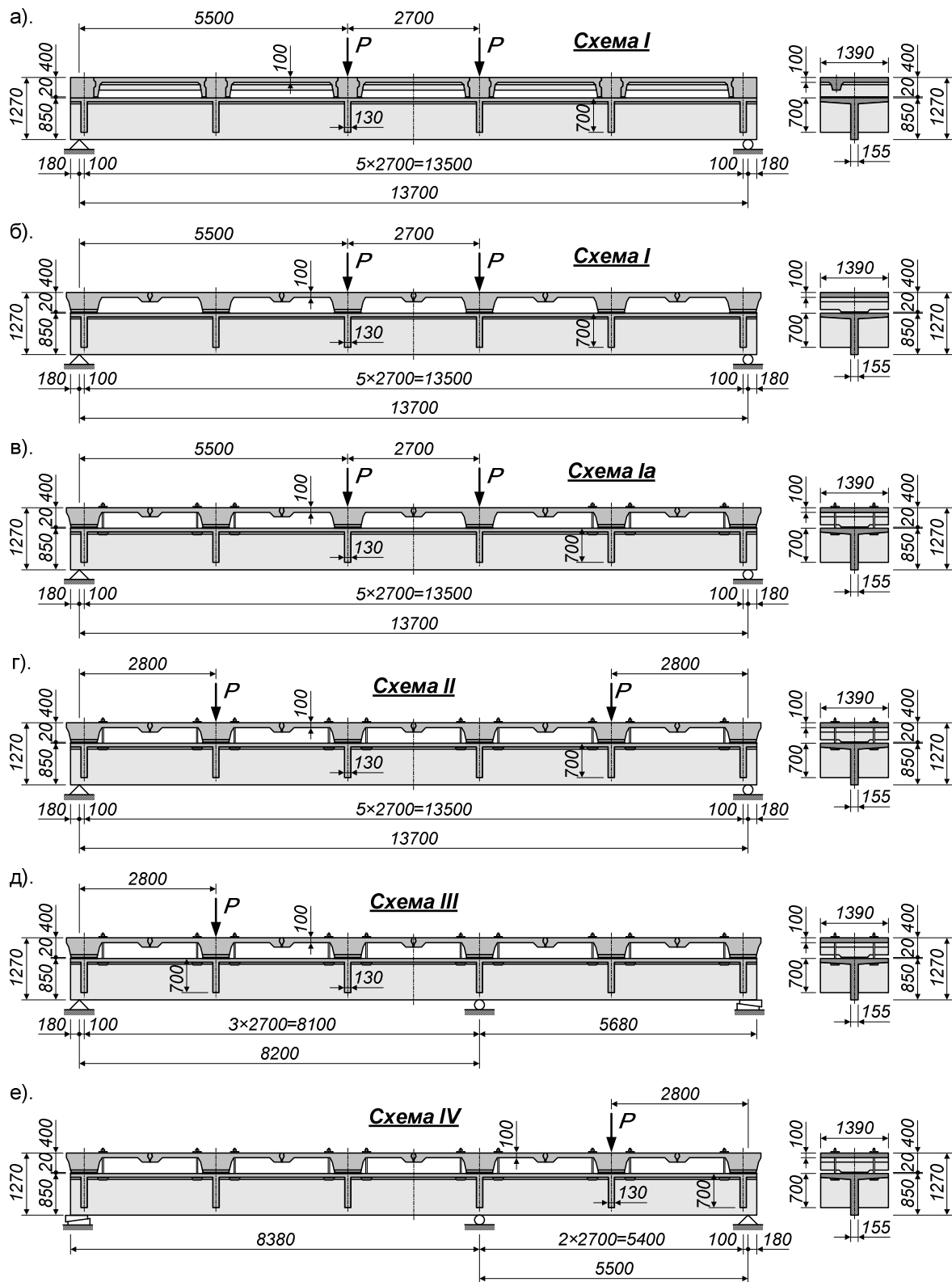
Методика експериментальних досліджень. Методика експериментальних досліджень балок складеного перерізу мала особливість, яка полягала в тому, що на обмеженій кількості зразків натурних розмірів прагнули отримати максимальну кількість даних.

Балку БНП-1 навантажували двома зосередженими силами, прикладеними симетрично над середніми діафрагмами (рис. 4, а). За цією схемою навантаження досліджували напружено-деформований стан нормальних і похилих перерізів, а також жорсткість та розкриття нормальних і похилих тріщин та доводили балку до руйнування в нормальному перерізі. Навантаження прикладали ступенями величиною 0,1...0,15 від передбачуваного руйнівного. За момент руйнування приймали стан нормального перерізу, коли в поздовжній робочій арматурі наступала текучість і проходило роздавлювання бетону стиснутої полиці накладної плити. При текучості арматури безруйнування стиснутої зони за момент руйну-

вання приймали доведення прогину балки до величини $1/50$ розрахункового прольоту, що в цьому конкретному випадку становило 27,4 см.

Схеми навантаження балки БНП-2а показано на рис. 4 б – е. Схема I із завданнями досліджень відповідала схемі навантаження балки БНП-1. При цьому 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 ступені навантаження після її відриву. За схемою I, а досліджували роботу балки після виконання підсилення за допомогою стяжних болтів, відірваних при випробуванні за схемою I з'єднань плити з основною балкою.

Схеми II...IV передбачали дослідження напружено-деформованого стану балок у зоні дії максимальних поперечних сил і згинальних моментів, що відповідають їм. При випробуваннях за схемою II очікували одержати руйнування похилого перерізу на ділянці від опори до першої діафрагми і таким чином оцінити несучу здатність балки складеного перерізу за поперечною силою. З огляду на те, що балка зруйнувалася не в похилому, а в нормальному 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 перестановки однієї з опор під другу від краю діафрагму і балку зменшеного прольоту навантажували однією зосередженою силою, розміщеною з протилежного боку над першою від опори діафрагмою. За схемою III передбачали одержати руйнування приопорної ділянки в похилому перерізі зі сторони більшої поперечної сили. Проте балка знову руйнувалася не в похилому, а в нормальному 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 при розміщенні сили над першою від опори діафрагмою (схема IV). При такому навантаженні балка повинна зруйнуватися в похилому перерізі на ділянці між силою та додатковою опорою, де напрямок похилих тріщин збігався з напрямком відгинів арматури, тобто вони практично не брали участі в сприйнятті поперечної сили. На зазначеній ділянці й сприймає бетон полиці основної балки і накладної плити, поперечна арматура і частково за рахунок нагельного ефекту поздовжня робоча арматура, що розміщена тут у три ряди по висоті (в поперечному перерізі – $6\varnothing 32$). Урахувати вплив відігнутої арматури на несучу здатність похилого перерізу можна за відомими формулами норм проектування. Таким чином, випробування за цією схемою дозволяє експериментально-розрахунковим шляхом оцінити повну величину несучої здатності похилого перерізу досліджуваної балки.



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

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

Експериментальний зразок БНП-1 випробовували на місці раніше проведених випробувань існуючої та розширеної накладною плитою натурних пролітних будов [2]. Він був виділений з розширеної збірно-монолітною накладною плитою пролітної будови шляхопроводу шляхом поздовжнього розбивання накладної плити по ширині балки, звільнення від бетону замонолічування швів між суміжними балками та розрізування з'єднувальних накладок на всіх діафрагмах, у т. ч. й опорних.

Експериментальні зразки балок складеного перерізу БНП-2а та БНП-2б випробовували в однакових умовах на силовому стенді, де їх і готували до випробувань (рис. 5).

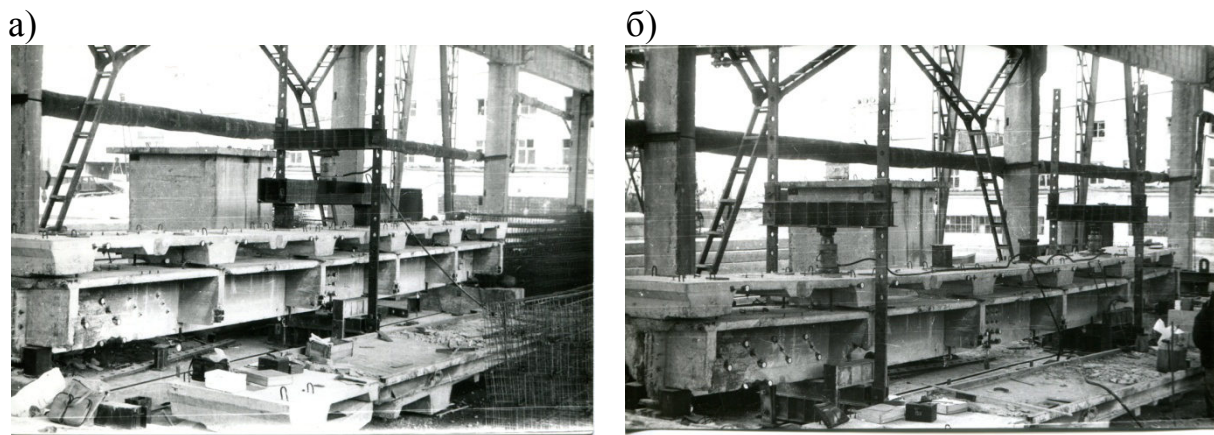


Рис. 5. Загальний вигляд випробувань дослідного зразка БНП-2а при навантаженні: а – за схемою I; б – за схемою II

У всіх випадках навантаження створювали ручними насосними станціями в комплекті з гідравлічними домкратами ДГ-200 і контролювали попередньо тарованими зразковими манометрами.

При всіх схемах випробувань вимірювали деформації поздовжньої та відігнутої арматури, деформації розтягнутого і стиснутого бетону по висоті ребра й у полиці основної балки, а також 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).

Результати випробувань експериментальних балок та їх аналіз. Балку БНП-1 за схемою I навантажували до максимального навантаження $R=445$ кН. При його досягненні почалася текучість у поздовжній арматурі, що супроводжувалася розкриттям нормальних тріщин до 1,6...2,2 мм і розвитком їх на всю висоту основної балки, включаючи її полицю, яка при максимальному навантаженні виявилася розтягнутою. Прогин у середині прольоту склав 5,04 см.

Руйнування стиснутої полиці накладної плити не настало, тому навантаження продовжували до досягнення максимального прогину $1/50$ прольоту. При цьому навантаження на домкраті не зростало, а при прогині $18,2$ см зрізався жорсткий анкер у стику накладних плит з існуючою балкою праворуч над першою від опори пролітною діафрагмою.

Роздавлення стиснутої полиці накладної плити в середній частині прольоту на ділянці між силами не настало.

Істотні зсуви накладних плит у з'єднаннях з основною балкою почалися при навантаженнях, близьких до максимального ($0,75 \dots 0,8$ від руйнівного). Вони супроводжувалися виникненням поперечних горизонтальних тріщин у 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 розкривалася 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 у полиці накладних плит. Виникнення цих тріщин і їх подальше розкриття супроводжувалося поворотом полиці плити між контурними ребрами у вертикальній площині.

З урахуванням власної ваги балки і накладної плити експериментальний руйнівний згинальний момент, розрахований за запропонованою методикою розрахунку міцності нормальних перерізів складених балок, – 2565 кНм. Збіг розрахованого й експериментального згинальних моментів задовільний. Відхилення між ними становить $7,3\%$. Несуча здатність нормального перерізу за рахунок включення в роботу накладної плити зросла в $1,56$ разу.

При першому навантаженні за схемою I зразка БНП-2а, який спочатку був виготовлений тільки з анкерами, що працюють на зсув, при навантаженні близько 300 кН на одну силу почався інтенсивний відрив накладних плит у з'єднаннях на опорі й над першою від опори діафрагмою. Але, незважаючи на наявність відриву плит, навантаження вдалося довести приблизно до $P=460$ кН, тобто до початку текучості арматури. Оскільки при другому навантаженні (за схемою I, а) відрив накладних плит завдяки анкерним болтам проявився значно меншою мірою, то прогини і деформації в цьому випадку були менші (до 30%), ніж при першому навантаженні. Отже, відрив накладної плити практично не вплинув на міцність складеної балки, але відчутно відобразився на її деформаціях і жорсткості.

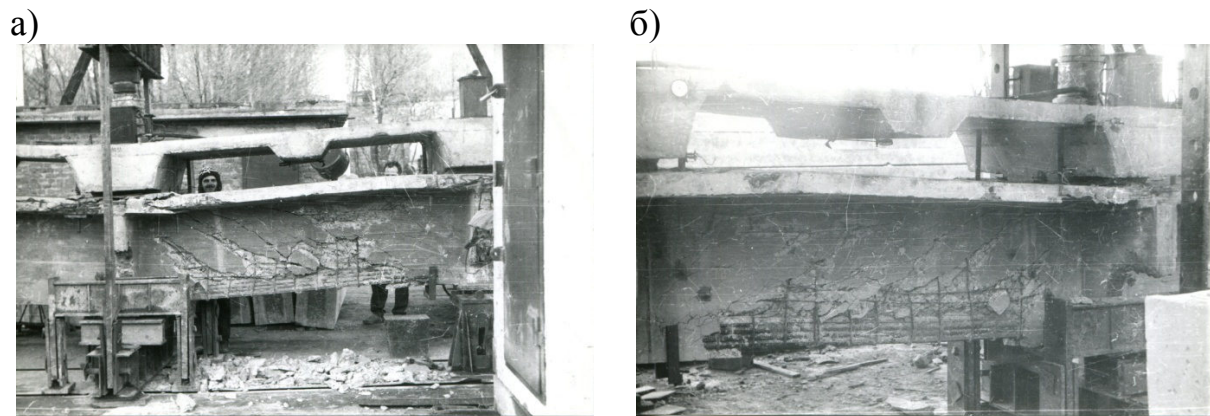
Експериментальний руйнівний згинальний момент для цієї балки мало відрізнявся від такого ж для зразка БНП-1. Після встановлення анкерних болтів прогини її також мало відрізнялися від прогинів балки БНП-1.

При навантаженні балки БНП-2а зосередженими силами над крайніми діафрагмами (за схемою II) максимальна величина сили склала $P=680$ кН, після чого настала текучість поздовжньої робочої арматури в нормальних перерізах під силами. Руйнування похилих перерізів балки не настало.

Не було зруйновано балки БНП-2а в похилому перерізі також і при її випробуванні за схемою III. Максимальне навантаження $P=1050$ кН викликало текучість поздовжньої робочої арматури в нормальному перерізі під силою.

При випробуваннях балки БНП-2а за схемою IV максимальне навантаження, при якому зруйнувалась балка, склало $P=1560$ кН, що з урахуванням маси балки і накладної плити дало величину руйнівної поперечної сили 818 кН (рис. 6). Розрахована руйнівна поперечна сила за цією схемою завантаження складає 427 кН. Таким чином, різниця в експериментальному і розрахованому значеннях руйнівної поперечної сили може бути віднесена на рахунок впливу накладної плити, а також нагельного ефекту поздовжньої арматури, який при використаному типі армування балок також повинен бути значним. Розрахована мінімальна частка поперечної сили, котру можуть сприйняти відгини при текучості арматури, становить $Q_{inc}=442$ кН. Отже, загальна несуча здатність похилого перерізу складеної балки (з урахуванням роботи накладної плити) становитиме $Q_u=818+442=1260$ кН.

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



**Рис. 6. Характер руйнування приопорної ділянки експериментального зразка БНП-2а при випробуванні за схемою IV:
а – вигляд від сили до крайньої опори;
б – вигляд зі зворотної сторони від крайньої опори до сили**

Висновки:

1. Нормальні перерізи балок обох типів зруйнувалися від текучості поздовжньої арматури без руйнування стиснутої полиці накладної плити. Вичерпання несучої здатності похилих перерізів при випробуваннях обох типів балок не досягнуто. У балках складеного перерізу її визначали за додатковими схемами навантаження експериментально-розрахунковим способом. При цьому експериментально визначали несучу здатність похилого перерізу на припорній ділянці за стиснутим бетоном Q_b , поперечною арматурою Q_{sw} та за рахунок нагельного ефекту поздовжньої арматури, а вплив відігнутих стержнів урахували розрахунком.

2. Включення в сумісну роботу з існуючою балкою залізобетонної ребристої накладної плити істотно підвищує її міцність. Міцність нормальних і похилих перерізів збільшується в 1,55–1,65 разу. Тобто після об'єднання з накладною плитою досягається підсилення балок, ступінь якого є достатнім для забезпечення їх несучої здатності при розширенні пролітних будов за ТП вип. 56 до габаритів Г-10+2×1,5 м та Г-11,5+2×1,5 м, що задовольняє переважну більшість практичних потреб для доріг II і III категорій.

3. Розроблене конструктивне рішення об'єднання накладної плити з існуючою балкою за допомогою жорстких анкерів, працюючих на зріз, і додаткових анкерних стержнів, працюючих на відрив, забезпечує надійну їх сумісну роботу до руйнування. Зафіксовані приладами зсуви накладної плити проявились при навантаженнях, близьких до максимальних – 0,75...0,85 від руйнівного. На рівні експлуатаційних навантажень зсуви накладної плити не відмічені, та робота складеного перерізу балки аналогічна роботі суцільного.

Література

1. Стечишин, С.М. Експериментальні дослідження сумісної роботи моделей балок прольотних будов з ребристою накладною плитою / С.М. Стечишин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Рівне: Рівненський державний технічний університет, 2013. – Вип. 25. – С. 612 – 621.

2. 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 // Дороги і мости. Збірник наукових праць. – К.: ДерждорНДІ, 2009. – Вип. 11. – С. 11 – 125.

Надійшла до редакції 15.09.2013

© С.М. Стечишин