

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.012.3-048.32

ЯО СІНЬ^{1*}, А. А. ГОРБАЧЕВСЬКА², Л. В. САЛІЙЧУК³, В. Г. КВАША⁴

^{1*} Кафедра «Автомобільні дороги та мости», Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38 (073) 402 65 10, ел. пошта uaохinukraine@gmail.com, ORCID 0000-0001-6490-279X

² Кафедра «Автомобільні дороги та мости», Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38 (096) 515 31 93, ел. пошта Anna.Tuziak@gmail.com, ORCID 0000-0002-3038-4979

³ Галузева науково-дослідна лабораторія ГНДЛ-88, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38 (067) 718 22 06, ел. пошта lubovsalijcuk@gmail.com, ORCID 0000-0003-2016-9818

⁴ Кафедра «Автомобільні дороги та мости», Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38 (096) 460 07 34, ел. пошта victor.h.kvasha@lpnu.ua, ORCID 0000-0002-5620-485X

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТІВ ЗА ТП ВИП. 56 З ПІДСИЛЕННЯМ БАЛОК ЗМІННОЮ СТАТИЧНОЇ СХЕМИ

Мета. Вивчення дійсного характеру просторової роботи та закономірності розподілу тимчасового навантаження між балками наявної вільнообпертої перехресно-ребристої прогонової будови та за різних варіантів зміни її статичної схеми, залучення у спільну роботу залізобетонної накладної плити та інших нових елементів реконструкції. **Методика.** Для оцінювання ефективності застосованих під час реконструкції конструктивних рішень розширення і підсилення прогонової будови передбачене проведення комплексу чергових випробувань з послідовним введенням у її склад перед кожним черговим випробуванням одного з нових конструктивних елементів реконструкції, залучених до спільної роботи з існуючими балками. Тобто за кожних чергових випробувань оцінювали вплив лише одного фактора, залучення якою у склад наявної прогонової будови змінювали умови її роботи. Ефективність його застосування оцінювали прямим порівнянням прогинів балок чергових випробувань з прогинами попередніх. **Результати.** Здійснено п'ять (1...5) випробувань прогонової будови впродовж чергових етапів реконструкції, тобто в наступній послідовності: 1 – випробування прогонової будови в наявному стані за вільнообпертою статичною схемою; 2 – після влаштування горизонтальної нерухомості опорних частин (ГН); 3 – після повного защемлення балок на опорах (ЗЩ); 4 – після влаштування накладної плити розширення прогонової будови на защемлених балках (ЗЩНП); 5 – після завершення реконструкції перед здачею об'єкта в експлуатацію. Результатом цих випробувань були прогини балок та визначені за ними коефіцієнти поперечного розподілу (КПР). Ефект спільної роботи нових елементів реконструкції з наявними балками встановлювали порівнянням прогинів цих балок з випробувань 1-4 за однакових схем їх навантаження. Одержали співвідношення $VO:ШН:ЗЩ=1:1,46:2,95$, з якого видно, що найбільший ефект підсилення балок досягається у защемленій на опорах статичній схемі. Експериментальні коефіцієнти поперечного розподілу (КПР) виявились практично однаковими для всіх досліджуваних статичних схем, що свідчить про можливість їх просторового розрахунку за одним методом. **Наукова новизна** полягає у експериментальному і теоретичному обґрунтуванні ефективності і експлуатаційної надійності і підсилення балок залізобетонних прогонових будов зміною статичної схеми. **Практична значимість** – широке застосування методу підсилення залізобетонних прогонових будов зміною статичної схеми у практиці їх реконструкції.

Ключові слова: залізобетонні балкові прогонові будови, реконструкція, підсилення балок, зміна статичної схеми, експериментальні дослідження, випробування

Вступ

Обстеження і аналіз експлуатаційного стану мостів (Кваша, 2002а; Кваша, Ковальчик, & Салійчук, 2007; Рачкевич, 2009; Сінь, Юпин, Салійчук & Кваша, 2021) переконливо свідчить, що серед мостів з різними типами прогонових будов першочергової реконструкції пот-

ребують збудовані у великій кількості у 50-70 рр. минулого сторіччя мости із збірними залізобетонними прогоновими будовами за розробленим в ПП «Союздорпроект» першим і єдиним на той час типовим проектом ТП вип. 56 (ТП 1958), коли будівельна галузь була переорієнтована на масове застосування збірного залізобетону.

На період освоєння технології будівництва цих мостів ще не була створена індустріальна база для виготовлення збірних залізобетонних балок. Тому їх зазвичай виготовляли на тимчасових відкритих полігонах, розташованих поблизу будови моста, за примітивною технологією та робітниками не досить високої кваліфікації, у неякісних дерев'яних опалубках, зібраних часто з неструганих дошок. Тому точність геометричних розмірів була невисокою. Наприклад, горизонтальні і вертикальні зміщення півдіафрагм суміжних балок могли досягати 50 мм і більше. Це в свою чергу призводило до неякісного виконання їх з'єднань (Кваша, 2002а; Кваша, 2002б; Кваша, 2017; Рачкевич, 2009; Сінь, Шуляр, Салійчук, & Кваша, 2022).

Отже за такої примітивної технології будівництва, максимально спрощені конструктивні рішення типових прогонових будов, можна стверджувати, що ці мости будували як тимчасові в період створення сучасної дорожньої мережі країни (кінець першого початок другого повоєнного десятиріччя 1955-1965 рр.) з обмеженим строком експлуатації 25...30 років.

Прогнозували, що за цей період часу держава розбагатіє і ці мости будуть перебудовані за новими нормами проектування на збільшені нормовані тимчасові навантаження та зовсім іншими техніко-економічними і експлуатаційними показниками. Але так не сталось. Навпаки, командно-репресивна система керівництва, відсутність конкуренції, безгосподарність, корупція створили серйозні загальнодержавні фінансові проблеми, наслідком яких стало хронічне недофінансування дорожньої галузі та збільшення обсягів невиконаних робіт з технічного обслуговування, ремонту і реконструкції цих мостів. Тапер вони не розглядались як тимчасові. Навпаки, не дивлячись на загальний незадовільний стан, незабезпечену нормовану вантажопідйомність, недостатній габарит іздового полотна, перевищення нормованого строку експлуатації більше ніж у 2...2,5 рази вони продовжують експлуатуватись у несприятливих умовах збільшення ваги транспортних засобів та інтенсивності руху.

На крайній незадовільний стан мостового господарства, як і на інші галузі, вплинув і загальний кризовий стан держави, яка такі мости збудувала і в цей період уже стояла перед політичним, економічним та моральним крахом і на-

решті перестала існувати. Країни не стало, а мости залишились тепер уже на територіях і у власності новостворених держав, створюючи як власникам так і експлуатуючим організаціям комплекс технічних, економічних, соціальних і морально-етичних проблем, вирішення яких не завжди є простим.

Ці новостворені країни також були різними: багатші з меншою кількістю таких мостів – тут проблеми не існувало, оскільки були реальні кошти на перебудову; і бідніші з більшою кількістю мостів, але без реальних коштів на перебудову. Серед них опинилась і Україна, яка упродовж всіх років незалежності живе на зовнішніх запозиченнях і не має достатньо коштів на підтримку критичної інфраструктури та погашення боргових зобов'язань за попередні роки. Тут мова про перебудову уже не йде і фахівці повинні шукати інші шляхи вирішення проблеми продовження терміну експлуатації мостів за ТП вип. 56 для забезпечення нормального функціонування дорожньої мережі країни.

Аналіз результатів обстеження цих мостів показує, що на даний час практично всі вони мають спільні не забезпечені основні експлуатаційні показники: вантажопідйомність, пропускну здатність, безпеку і комфортність руху та довговічність, тобто це обов'язкові функціональні вимоги, без дотримання яких нормальна експлуатація моста неможлива. Але оскільки перебудова їх умовах України через велику кількість і високу вартість також неможлива, то для продовження їх експлуатації залишається раціональна реконструкція з експлуатаційними вимогами за чинними нормами проектування нових мостів, але за значною меншою коштами і коротшим терміном виконання робіт.

Тому в даних комплексних експериментальних дослідженнях за дослідну конструкцію прийнята наявна прогонова будова, яка за конструкцією відповідає ТП вип. 56, а її реконструкція виконана за розробленим в ГНДЛ-88 НУ «Львівська політехніка», варіантом розширення габариту – монолітною залізобетонною накладною плитою з консольними зв'язами, а підсилення балок – зміною їх статичної схеми (Кваша, Ковальчик, & Салійчук, 2007; Рачкевич, Кваша, & Салійчук, 2013; Сінь, Юпин, Салійчук, & Кваша 2021; Сінь, Шуляр, Салійчук, & Кваша, 2022).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Наявний на сьогодні досвід виконаних в ГНДЛ-88 науково-технічних розробок та задовільні результати реконструкції мостових об'єктів з застосуванням залізобетонної накладної плити (Кваша, 2002; Кваша, Ковальчик, & Салійчук, 2007; Кваша, 2017; Рачкевич, 2009; Рачкевич, Кваша, & Салійчук, 2013; Сінь, Юпин, Салійчук, & Кваша, 2021) переконливо доводить, що саме цей спосіб забезпечує техніко-економічну ефективність, ресурсозбереження і комплексність вирішення основних завдань реконструкції: забезпечення вантажопідйомності, пропускної здатності, безпеки і комфортності руху та надійності і довговічності згідно вимог чинних норм проєктування нових мостів.

Мета та програма експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень було вивчення дійсного характеру просторової роботи та закономірностей розподілу тимчасового навантаження між балками в існуючому стані, за різних варіантів зміни їх статичної схеми та залучення у спільну роботу з ними залізобетонної накладної плити, а також впливу введених в склад прогонової будови нових елементів реконструкції на просторову роботу та зміну жорсткості і прогинів балок.

Кінцевим результатом випробувань було встановлення відповідності проєктних і фактичних конструктивних, технологічних і експлуатаційних характеристик реконструйованої прогонової будови, її фактичних і прийнятих під час проєктування розрахункових моделей просторової роботи, а також дійсного технічного стану, міцності і деформативності несучих конструкцій після розширення і зміни статичної схеми, оцінювання загальної ефективності прийнятого варіанту реконструкції та прогнозування можливостей подальшої експлуатації.

Програмою передбачено комплекс випробувань прогонової будови статичним навантаженням на дію згинального моменту з врахуванням послідовності виконання робіт з реконструкції. Для досягнення мети – оцінювання ефективності застосованих в робочому проєкті реконструкції конструктивних рішень розширення і підсилення прогонової будови проведено п'ять випробувань з послідовним введенням у її склад перед кожним черговим випробуванням нових конструктивних елементів, які в за-

лежності від їх ефективності використані або можуть бути використані у реконструйованій споруді. Таким чином у кожному з випробувань досліджували вплив на характер роботи прогонової будови лише одного нового елемента, а ефективність його застосування оцінювали шляхом порівняння результатів даних випробувань з результатами попередніх. Тобто завжди оцінювався вплив лише одного фактора, введення якого в склад прогонової будови змінювало умови її роботи.

Дослідна конструкція – існуючий і реконструйований міст

Існуючий міст через р. Прутєць Яблунівський на км 218+872 автодороги державного значення Мукачеве-Львів (Івано-Франківська область). Міст збудовано орієнтовно в 1963 р. за індивідуальним проєктом з прив'язкою основних конструктивних рішень прогонових будов і армування головних балок до розробленою наприкінці 50-х років минулого сторіччя типового проєкту ТП вип. 56 (ТП 1958) під нормовані тимчасові навантаження Н-13, НГ-60 згідно чинних на час проєктування норм.

За конструктивною схемою існуючий міст залізобетонний, балковий, однопрогоновий за вільнообпертою статичною схемою, повною довжиною 19,5 м і габаритом Г-6+2×0,75 м (рис. 1). Довжина балок між осями опорних частин $l=18,9$ м. Прогонова будова перехресно-ребриста, виконана в монолітному залізобетоні з прив'язкою конструктивної схеми, геометричних параметрів і способу армування до збірного варіанту типового проєкту вип. 56 (ТП 1958).

Поперечний переріз сформований з п'яти балок таврового профілю, об'єднаних між собою в просторову систему прогонової будови монолітними поперечними діафрагмами і монолітною залізобетонною плитою мостового полотна (рис. 1, б). Крок балок поперек прогону 1,4 м, крок діафрагм вздовж прогону 2,7 м, що відповідає розмірам типового проєкту вип. 56. Конструкція армування балок також аналогічна типовому проєкту ТП вип. 56 – двома збірними каркасами з багаторядковим розташуванням поздовжньої робочої арматури без зазорів по висоті. Конструкція балки показана на рис. 2.

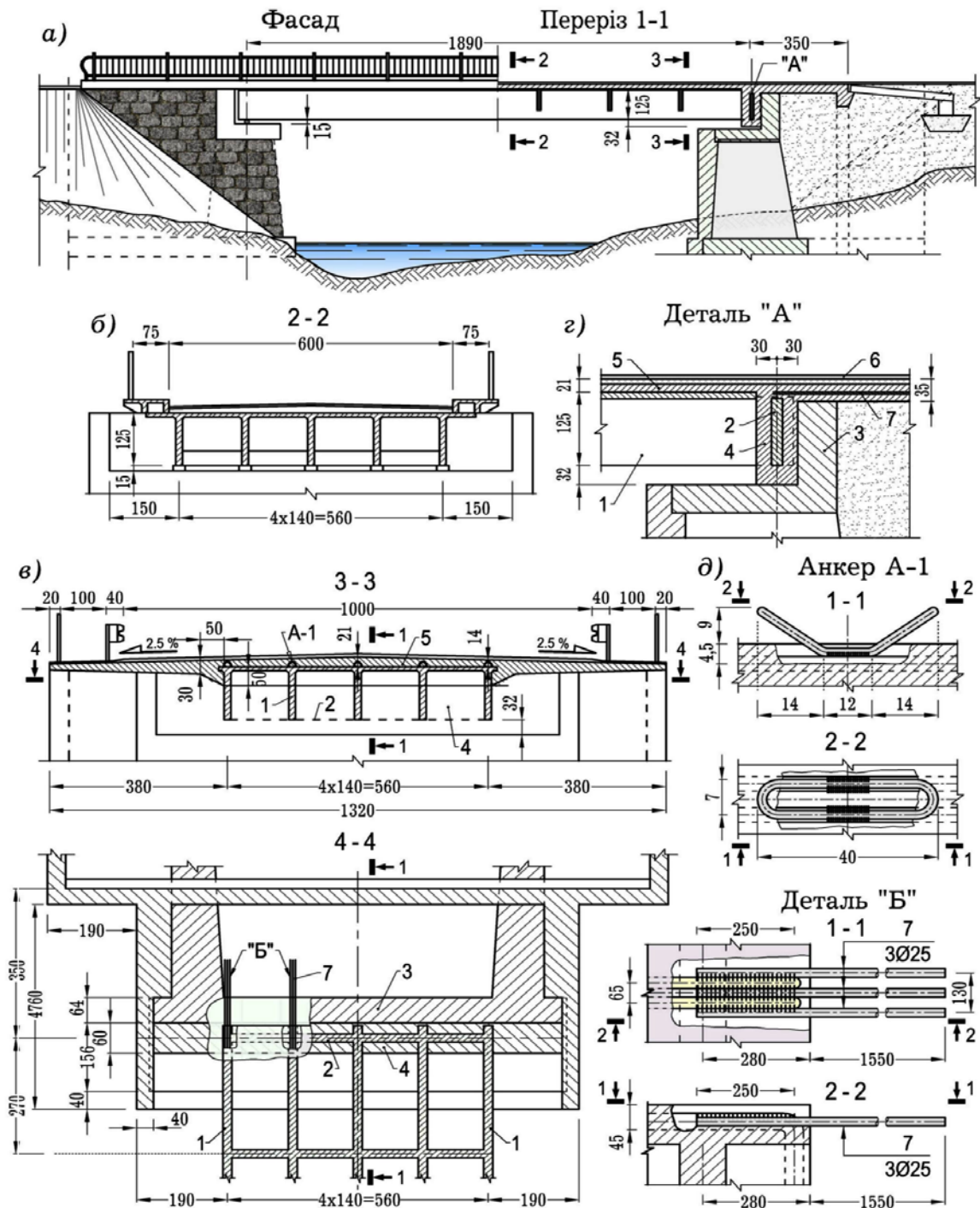


Рис. 1. Конструкція існуючого (а, б) і реконструйованого (в, г, д, е) моста через р. Прутець-Яблунівський на км 218+872 автодороги Мукачеве-Львів:

- 1 – існуючі балки, 2 – опорна діафрагма, 3 – шафова стіна опор; 4 – опорне ребро для защемлення балок на опорах;
 5 – монолітна залізобетонна накладна плита; 6 – надпорна робоча арматура

Кількість стержнів поздовжньої робочої арматури зменшується від середини прогону до опор відповідно до зменшення згинальних моментів при вільнообпертій статичній схемі бал-

ки. Максимальна кількість цієї арматури 10 $\varnothing 32$ А-ІІ в середині прольоту зменшується до мінімальної 2 $\varnothing 32$ А-ІІ в приопорних перерізах. Верхня зона ребра балки конструктивно

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

армування 2 Ø 32 уздовж всієї балки. Поперечне армування – відгинами поздовжньої арматури в ребро балки та вертикальними хомутами Ø 8, А-I з кроком 250 мм, якими плоскі зварні каркаси об'єднують у просторовий. Поздовжня і відігнута робоча арматура – гарячекатана, періодичного профілю із сталі марки Ст. 5 за ГОСТ 3781-53 з межею текучості $\sigma_y=3500$ кг/см² (350 МПа) – (за сучасною класифікацією клас

А-II). Поперечна арматура (хомути) з круглої сталі Ст. 3 за ГОСТ 380-80 з межею текучості $\sigma_y=2850$ кг/см² (285 МПа) – за сучасною класифікацією клас А-I.

Марка бетону балок за результатами визначення неруйнівним способом відповідала проєктній марці М300 (за сучасною класифікацією – клас бетону В= 0,886·300·0,098≈25).

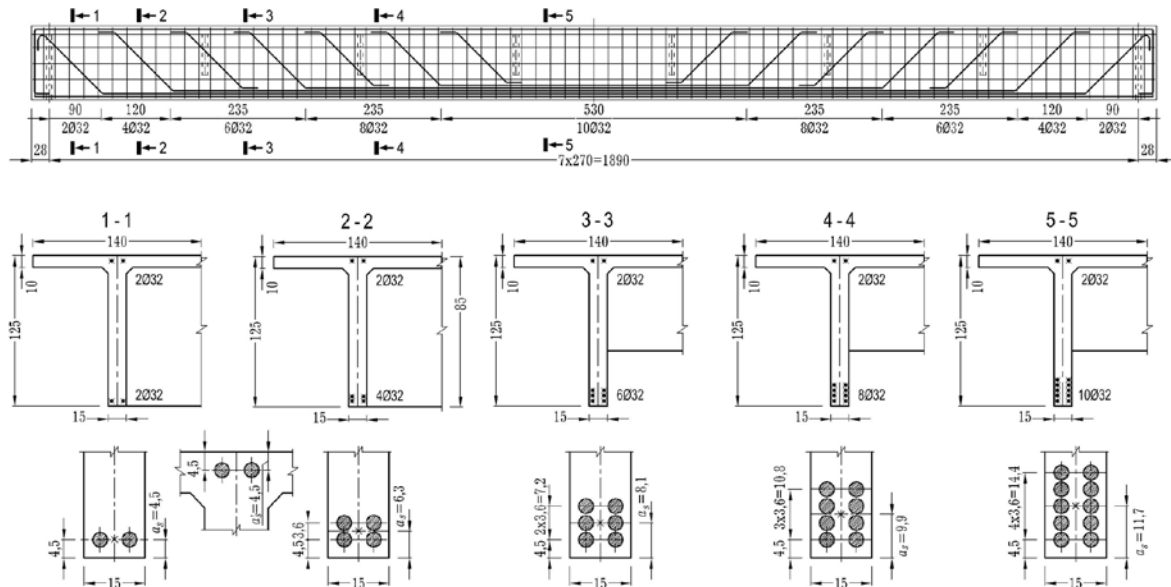


Рис. 2. Конструкція балки прогонової будови моста. Армування і характерні поперечні перерізи

Берегові опори – масивні стояни з кам'яної кладки з бетонними оголовками, шафовими стінами та зворотними відкритками. Балки опираються на підферменники опор через рухомі залізобетонні валкові і металеві тангенціальні нерухомі опорні частини, конструкція яких відповідає ТП вип. 56.

В такому вигляді ця прогонова будова після видалення всіх елементів облаштування мостового полотна без будь-яких змін використовується як базова для проведення перших випробувань за вільнообпертою статичною схемою. Після цього відповідно до мети і завдання наступних експериментальних досліджень у її склад включають нові конструктивні елементи, які після експериментального оцінювання ефективності можуть бути використані в проєкті реконструкції моста.

Так перед другим випробуванням створювали горизонтальну шарнірну нерухомість опорних частин як один з варіантів зміни статичної схеми прогонової будови і підсилення балок.

Для цього конструктивний зазор шириною 3...5 см між торцями балок і внутрішньою гранню шафової стіни ретельно розклинювали металевими пластинами на рівні приблизно 10 см вище нижньої грані балки. При цьому виникли певні труднощі у виконанні надійного і якісного розклинювання. Наприклад, через обмежений доступ до зони заклинювання важко забезпечити повне прилягання пластин по контактних поверхнях. Крім того під час розклинювання чергової балки раніше виконане розклинювання суміжних балок слабшало і його необхідно повторно «дорозклинювати».

Тут доречно більш детально зупинитись на аналізі загальних засад практичного застосування цього способу, оскільки існує ряд суттєвих застережень, які ставлять під сумнів саму можливість широкого застосування, серед них:

– через розгерметизовані деформаційні шви торці балок і приопорні ділянки ребра мають значні корозійні ушкодження бетону, знижену його міцність, корозію відкритої арматури, а

інколи і повне відшарування захисного шару. В таких умовах забезпечити нормальну працездатність елементів розклинювання деформаційних зазорів неможливо, тому цей спосіб зміни статичної схеми непридатний для застосування;

– через обмежений доступ в зазор 3-5 см між торцями балок досить складно встановити і закріпити жорсткі упори-фіксатори, які б надійно забезпечували розпірність;

– внаслідок динамічної дії тимчасового рухомого навантаження хоча і зменшеного накладною плитою за тривалий період експлуатації будуть накопичуватись додаткові деформації бетону в стичних площинах упорів-фіксаторів та торців балок, що призведе до втрат розпору, тобто зменшення ефективності підсилення балок.

В цілому до проведення додаткових досліджень цей варіант зміни статичної схеми може розглядатись як варіант для повноти картини, але його практичне застосування викликає обґрунтовані сумніви. В окремих випадках може застосовуватись, як тимчасовий захід для короткочасного підсилення, наприклад, при необхідності одноразового пропуску мостом понаднормованого навантаження.

Тому вданому дослідженні такі випробування проведені і їх результати включені у загальний аналіз, але для підсилення балок в проекті реконструкції даного моста застосований інший, більш надійний, хоча і більш складний у виконанні варіант зміни статичної схеми – повного защемлення торців і приопорних ділянок балок на опорах (рис. 1).

Проект реконструкції моста виконаний ГНДЛ-88 Національного університету «Львівська політехніка». Концептуальною умовою цього проекту було максимальне використання існуючих конструкцій, що гарантує мінімальну вартість реконструкції (Кваша, 2002b; Кваша, 2017; Рачкевич, Кваша, & Салійчук, 2013; Boronczyk-Plaska, & Radomski, 2008).

Защемлення над опорами створювали влаштуванням в проміжках між опорними діафрагмами існуючих балок армованих опорних ребер 4, (рис. 1, г), об'єднаних над опорами з накладною плитою, яку на цих ділянках додатково армують для сприйняття опорного згинального моменту. Крім того включали в роботу верхні арматурні стержні 2 Ø 32, з'єднуючи їх з арматурними коротунами 3 Ø 25, заведеними в опо-

рну ділянку накладної плити (рис. 1, е).

Крім підсилення балок суттєвою перевагою створеної статично невизначеної системи прогонової будови є ліквідація деформаційних швів над опорами, а забетоновані опорні ребра ліквідують отримані в процесі тривалої експлуатації дефекти торців балок. Для сприйняття опорних моментів накладна плита видовжена на 3,5 м за шафову стіну берегових опор і об'єднана з поперечним ребром з опорними площадками для обпирання перехідних плит. Таким чином деформаційні шви над опорами надійно перекриті опорними ребрами і накладною плитою, накритою гідроізоляцією, що виключає її протікання.

Прогонова будова розширена розробленою в ГНДЛ-88 конструкцією монолітної залізобетонної накладної плити з виступаючими консолями (рис. 1, в). Її консолі довжиною 380 см забезпечують габарит розширеної прогонової будови Г-10+2×1,0. Для створення поперечного ухилу в межах ширини існуючої прогонової будови товщина накладної плити змінюється від 14 см по осі крайньої балки до 21 см – по осі прогонової будови. Накладну плиту об'єднують для спільної роботи з існуючими балками за допомогою гнучких петльових анкерів (рис. 1, д), розташованих з кроком 135 см вздовж прольоту і приварених до відкритої верхньої поздовжньої арматури 2 Ø 32. Консолі мають змінну товщину від 15 см на кінці до 30 см біля примикання до крайньої балки з віддаленою зовнішньою консоллю полиці.

Конструкція мостового полотна відповідає сучасним вимогам. Тротуари влаштовані в одному рівні з проїзною частиною на консолях накладної плити і відділені від їздового полотна півжорстким металевим бар'єрним огороженням. Оклеєчна гідроізоляція товщиною 5 мм з рулонного матеріалу Testudo влаштована по вирівняній поверхні накладної плити. По гідроізоляції вкладене трьохшарове асфальтобетонне покриття загальною товщиною 12 см.

Після влаштування накладної плити і підсилення балок проект реконструкції передбачав виконання комплексу ремонтно-відновлювальних робіт з ліквідації дефектів прогонової будови і опор, а також забезпечення нормованої довговічності співставної з новими мостами шляхом захисту відкритих бетонних поверхонь сучасними захисними системами від

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

агресивних впливів зовнішнього середовища та можливої корозії в процесі майбутньої експлуатації.

Завдання і методика експериментальних досліджень

Почергові порівняльні випробування прогонової будови в процесі реконструкції за однакових схем розташування випробувального навантаження відносно осі крайньої балки дали можливість прямим порівнянням прогинів оцінити ефективність залучення у спільну роботу з існуючими балками нових елементів розширення і підсилення реконструйованої прогонової будови на міцність і тріщиностійкість балок, тобто експериментально виявити ефект підсилення і розширення.

За даними випробувань встановлювали прогнозовану несучу здатність найбільше навантажених балок за згинальним моментом в реконструйованій прольотній будові та можливість пропуску нею тимчасових навантажень, еквівалентних за силовою дією нормованим А15 і НК-100.

На основі аналізу результатів експериментальних досліджень перевіряли правильність прийнятих конструктивних і технологічних рішень реконструкції, відповідність фактичних і прийнятих під час проектування розрахункових схем, та оцінювали дійсний технічний стан реконструйованої прогонової будови, її поведінку під навантаженням, відповідність технічним вимогам та придатність до подальшої нормальної експлуатації.

Варто відмітити, що випробування проводили в проміжках виконання робіт з реконструкції, тому їх послідовність відповідала її основним етапам і була наступною (рис. 3).

Спочатку (перше випробування – рис. 3, а) як базову випробували існуючу прогонову будову за її наявною вільнообпертою статичною схемою (ВО) після видалення всіх шарів дорожнього покриття і тротуарних конструкцій, тобто за мінімального постійного навантаження – лише від власної ваги балок. Результати цих випробувань використовували як базові для порівняння з результатами наступних випробувань цієї ж прогонової будови, але з введеннями у її склад додатковими конструктивними елементами, які змінювали характер її роботи.

Друге випробування (рис. 3, б), проведене після зміни статичної схеми влаштуванням горизонтальної шарнірної нерухомості опорних частин (ШН), тобто перетворення наявної безрозпірної системи в зовнішню розпірну, як одного із способів підсилення балок в прольоті. Ефективність його застосування оцінювали порівнянням з результатами попередніх випробувань. На перший погляд цей спосіб підсилення видається технологічно простим, однак практичне його застосування показало, що це далеко не так і він має свої особливості, які обмежують його застосування (рис. 3, в).

Третій раз також випробували наявну прольотну будову, але після підсилення балок за прийнятим в проекті реконструкції іншим більш надійним способом зміни статичної схеми – повним защемленням опорних ділянок балок, тобто перетворенням прогонової будови з балкової в рамно-нерозрізну. Причому, перед влаштуванням такого защемлення попередньо встановлені елементи шарнірної нерухомості видаляли. Ефективність цього способу підсилення також оцінювали порівнянням з результатами попередніх випробувань.

Вчетверте випробували уже розширену прольотну будову після влаштування залізобетонної накладної плити (ЗЦНП) та залучення її у спільну роботу з існуючими балками (рис. 3, г).

За результатами цих випробувань знову ж шляхом порівняння з результатами попередніх оцінювали вплив накладної плити на характер роботи уже по суті реконструйованої прогонової будови.

В контексті сказаного вище доцільно ще раз підкреслити, що всі чотири випробування проведені за однакових схем навантаження і при кожному з них досліджували вплив лише одного фактора на характер роботи як існуючої так і реконструйованої прогонової будови. Це дозволило досить чітко шляхом прямого порівняння прогинів об'єктивно оцінити ефективність застосування під час реконструкції окремо кожного з досліджуваних факторів.

Останні п'ять випробувань (рис. 3, д) після завершення всіх робіт з реконструкції перед задачею об'єкта в експлуатацію за найбільш невигідною схемою навантаження з максимальним наближенням колон автомобілів до бар'єрів безпеки з їх виходом на консольну ді-

лянку накладної плити, що створювало найбільшу навантаженість крайніх балок у складі реконструйованої прогонової будови.

Для випробувань прогонової будови використовували тимчасове рухоме навантаження з однієї або двох колон навантажених великогазових автомобілів-самоскидів марки – МАЗ 5549 (тиск на передню вісь 65,7 кН, на задню 122,3 кН) по два автомобілі в колоні.

Схеми навантаження на всіх етапах випробувань 1...5 були прийняті однаковими. На всіх етапах випробувань при відповідних схемах розташування випробувального навантаження вимірювали прогини балок в середині прольоту, як інтегральної характеристики напружено-деформованого стану перерізів. За характером їх розподілу між балками встановлювали закономірності просторової роботи прогонової будови до та після реконструкції, а також визначали фактичний розподіл між балками зусиль від тимчасових навантажень, тобто відповідність фактичних і прийнятих для розрахунку моделей просторової роботи існуючої і розширеної прогонової будови. Для вимірювання прогинів застосовували механічні прогиноміри 6ПАО з ціною поділки 0,01 мм. Крім того фіксували стан прогонової будови для можливості встановлення остаточних деформацій, що могли виникнути в результаті проведених навантажень.

Одержані з випробувань величини експериментальних згинальних моментів в балках за різних схем навантаження порівнювали з теоретичними, розрахованими за інженерними методами просторового розрахунку залізобетонних балкових перехресно-ребристих прогонових будов. За ступенем збіжності експериментальних і теоретичних згинальних моментів встановлювали правомірність застосування тих чи інших методів для просторового розрахунку балкової прогонової будови до та після реконструкції і підсилення зміною статичної схеми. Характерні моменти випробувань фотографували.

Випробування прогонової будови за етапами реконструкції і за однією методикою їх проведення дали можливість шляхом безпосереднього порівняння одержаних при кожних випробуваннях прогинів балок встановити ефективність конструктивно-технологічних рішень реконструкції моста.

Аналіз та оцінка результатів випробувань прогонової будови

Для аналізу і порівняння вибірка експериментальних прогинів для всіх п'яти випробувань різновидів прогонової будови представлена у вигляді таблиць на рис. 4, а також для наочності у вигляді епюр їх розподілу між балками поперек прольоту за ступенями навантаження (1, 2, 3).

З представлених епюр видно, що закон зміни прогинів балок при всіх схемах позацентрового (одностороннього) навантаження існуючої прогонової будови близький до лінійного, що є характерним для вузьких залізобетонних перехресно-ребристих балкових прогонових будов із співвідношенням довжини прольоту L до ширини між крайніми балками B , $L/B > 2$, і відповідає розрахунковій моделі методу позацентрового стиску. Наявність монолітних залізобетонних діафрагм, які об'єднують балки поперек прольоту, справляє достатній вплив на забезпечення поперечної жорсткості в просторовій системі перехресно-ребристої прогонової будови.

При позацентровому навантаженні вільнообпертої прогонової будови двома колонами автомобілів з максимальним їх зміщенням до крайньої балки за досягнутого рівня навантаженості, який відповідає експлуатаційному, як і слід було очікувати найбільший прогин 18,82 мм мала крайня балка (рис. 4). По відношенню до розрахункового прогону балки $L_{01}=18,9$ м прогин найбільше навантаженої крайньої балки становив $f/L_{01}=1/1004$ при допустимому згідно ДБН пружному прогинові балки від короткочасних навантажень $1/400$ розрахункового прольоту, що в абсолютній величині складає $[f]=1/400 \cdot 18900=47,25$ мм, тобто фактичний виміряний під час випробувань прогин балки крайнього прольоту виявився у 2,5 рази меншим допустимого. Це свідчить про значний запас вертикальної жорсткості існуючих балок і можливість сприйняття ними значно більших навантажень, ніж були досягнуті при випробуваннях. Для зручності прямого порівняння з загальною вибіркою експериментальних даних (рис. 4) для всіх різновидів випробуваної прогонової будови відібрані у порівняльну таблицю прогини і знайдені за ними КПР для двох характерних і одночасно найбільш невідповідних схем випробувального навантаження з однієї і двох колон автомобілів максимально наближених до крайньої балки або бар'єру безпеки (рис. 5).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

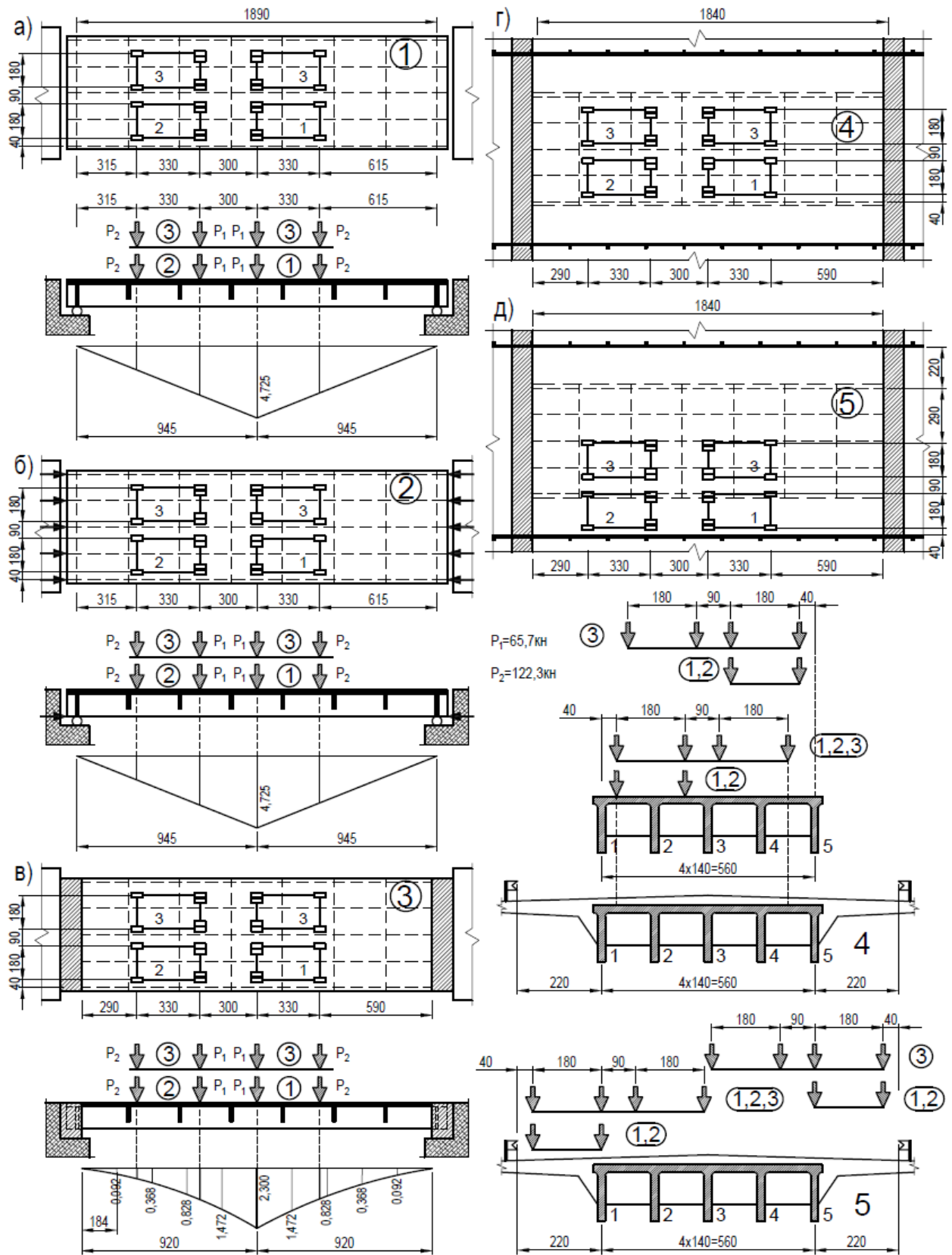


Рис. 3. Схеми 1...5 випробування прогонової будови за етапами реконструкції

В цій же таблиці наведені також співвідношення порівнюваних прогинів і КПП базової прогонової будови (ВО) з аналогічними для кожного різновиду після введення у їх склад нових досліджуваних елементів (ШН, ЗЩ, ЗЩНП). Крім того, за даними цієї таблиці для наглядності представлено графічне порівняння прогинів і КПП у вигляді епюр їх розподілу між балками (рис. 5, а, б).

Порівняння максимальних прогинів балок випробуваних різновидів прогонової будови за однією схемою їх навантаження дало можливість встановити ефективність прийнятих варіантів зміни статичної схеми, влаштування накладної плити та ефективність прийнятих конструктивних рішень реконструкції в цілому.

Так за навантаження однією колоною (рис. 5, а) максимальний прогин крайньої балки у вільнообпертій статичній схемі (ВО) становив 16,68 мм, за зміненими статичними схемами він зменшився, відповідно до ШН – 11,38 мм і ЗЩ – 5,71 мм, тобто у співвідношенні ВО:ШН:ЗЩ = 1:1,46:2,91. Аналогічно за двох колон навантаження одержали майже те саме співвідношення (рис. 5, б): ВО:ШН:ЗЩ = 1:1,46:2,95.

Як і слід було очікувати найменші прогини одержані за обох схем навантаження для прогонової будови після влаштування і залучення у спільну роботу з існуючими балками залізобетонної накладної плити (ЗЩНП). Він становив лише 2,35 мм для однієї і 3,19 мм для двох колон навантаження, тобто порівняно з вільнообпертою значно зменшився, відповідно у 7,1 і 5,9 рази. Але порівнювати ці прогини з попередніми не коректно, оскільки на зменшення попередніх впливав лише один фактор – лише зміна статичної схеми, в той час як на зменшення цих прогинів впливало мінімум три фактори: крім зміни статичної схеми (ЗЩ) також збільшення жорсткості балок після залучення у спільну роботу з ними накладної плити, а також впливу накладної плити на збільшення загальної жорсткості поперечника прогонової будови і, відповідно, більш рівномірного розподілу випробувального навантаження між балками поперек прольоту.

З порівняння максимальних прогинів балок (чи їх співвідношення) за різних статичних схем випливає, що найбільший ефект підсилення досягається у защемленій на опорах статич-

ній схемі. Зменшення прогинів майже у три рази порівняно з вільнообпертою схемою і складає ефект підсилення. Це можна підтвердити також простим розрахунком силового ефекту, тобто ступеню навантаженості балок згинальним моментом в середині прольоту за лініями впливу згинального моменту, які для всіх розглянутих статичних схем представлені на рис. 3, та експериментальними КПП (в таблицях на рис. 5) для цих же схем.

Так від навантаження двома колонами за вільнообпертої статичної схеми (ВО) згинальний момент на крайню балку в середині прольоту становить 557,75 кН·м і, відповідно для інших схем зменшується: для шарнірно нерухомої (ШН) – 327,08 кН·м і защемленої (ЗЩ) 202,85 кН·м, тобто співвідношення між ними складає ВО:ШН:ЗЩ=1:1,71:2,71, що в межах розкиду експериментальних даних збігається із співвідношенням прогинів для цієї ж схеми навантаження (1:1,41:2,95). Для натурного експерименту такий результат є цілком закономірним (Артемов, & Распопов, 2012; Микитенко, 2012; Сухоруков, 2012).

Наведене порівняння свідчить також про те, що зміна статичної схеми з вільнообпертої на защемлену може вважатись високоефективною, оскільки досягнутого ступеню підсилення балок 2,7...3,9 рази цілком достатньо не лише для прийняття чинних на даний час нормованих тимчасових навантажень А15 і НК-100, але і значно збільшених у перспективі.

Ефект впливу залізобетонної накладної плити можна виявити прямим порівнянням прогинів у защемленій статичній схемі (ЗЩ) з прогинами за цієї ж статичної схеми, але після влаштування накладної плити (ЗЩНП). Так за навантаження однією колоною (рис. 5) у защемленій статичній схемі прогин крайньої балки становив 5,71 мм, а після влаштування накладної плити зменшився до 2,35 мм тобто у 2,43 рази.

Аналогічно для двох колон навантаження – з 6,38 мм зменшився до 3,19 мм тобто у 2 рази. Зменшення прогинів у два рази і більше напевно важко пояснити лише збільшенням жорсткості балок залученням у спільну роботу з ними накладної плити. Швидше за все здійснюють вплив і інші фактори, які потрібно дослідити і надати обґрунтовані пояснення.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

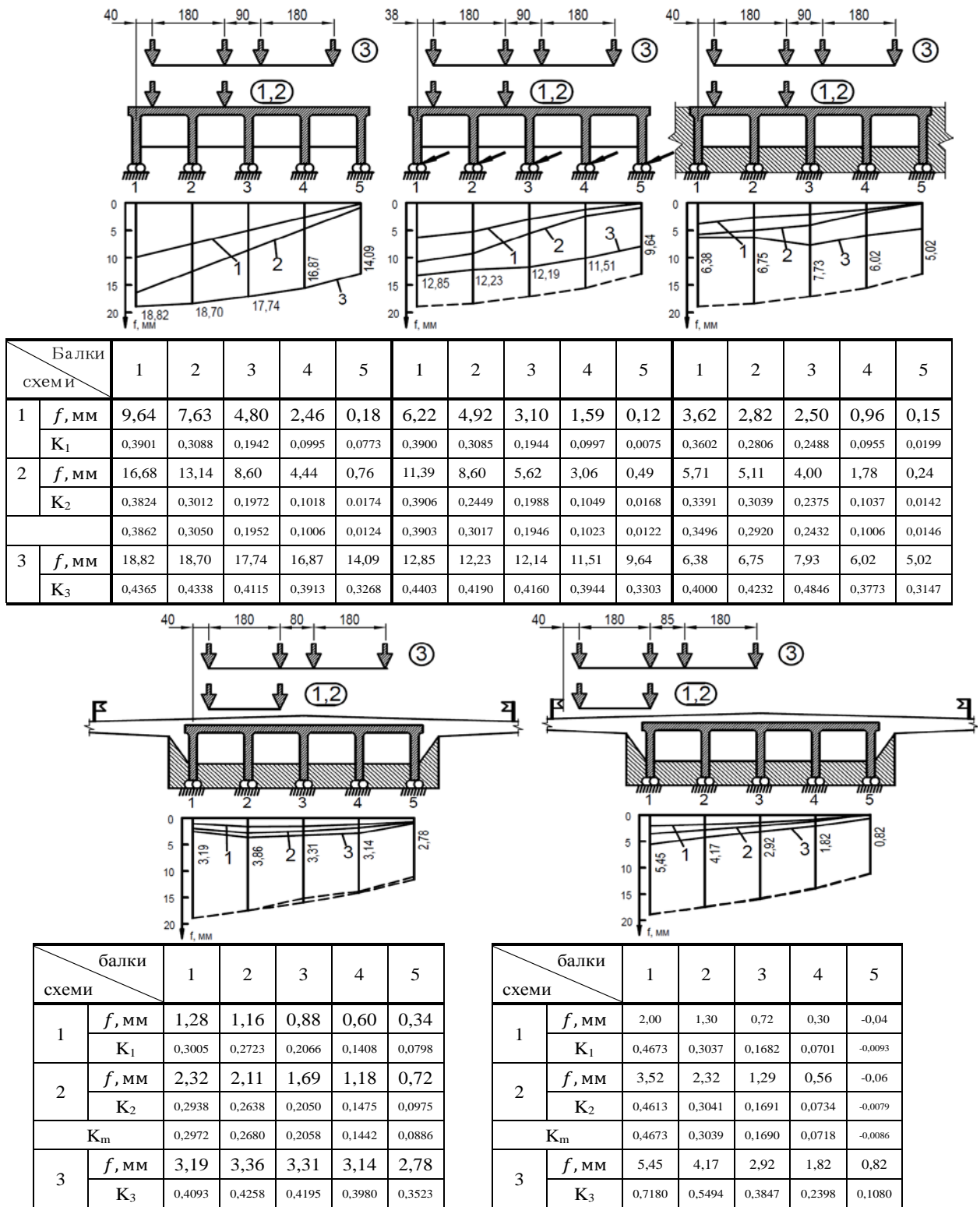


Рис. 4. Вибірка експериментальних даних для 5-ти схем випробувань прогонової будови

Характер просторової роботи прогонової будови під навантаженням, а, відповідно, і мо-

жливі методи її просторового розрахунку встановлювали за експериментальними коефіцієн-

тами розподілу силової дії (КПР), які визначали з умови їх пропорційності до вимірних пружних прогинів балок з врахуванням кількості колон випробувального навантаження згідно робіт (Кваша, & Рачкевич, 2008; Кваша, 2017;

Рачкевич, Кваша, Салійчук, & Тузяк, 2013; Сінь, Юпин, Салійчук, & Кваша, 2021; Микитенко, 2012; Сухоруков 2012; Bień, & Gladysz-Bień, 2014; Wiśniewski, & Majka, 2013).

Схеми	Балки	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$f_b, \text{мм}$	ВО(1)	16,68	13,14	8,60	4,44	0,76	18,82	18,70	17,74	16,87	14,09
	ЩН(2)	11,39	8,60	5,62	3,06	0,49	12,85	12,23	12,14	11,51	9,64
	ЗЩ(3)	5,71	5,11	4,00	1,78	0,24	6,38	6,75	6,73	6,02	5,02
	ЗЩН(4)	2,35	2,11	1,64	1,18	0,72	3,19	3,36	3,31	3,14	2,78
	$\Delta_{1,2}$	1,46	1,53	1,53	1,45	1,55	1,46	1,53	1,46	1,46	1,46
	$\Delta_{1,3}$	2,91	2,57	2,15	2,49	2,17	2,95	2,77	2,64	2,80	2,81
	$\Delta_{1,4}$	7,10	6,23	5,24	3,76	1,05	5,90	5,56	5,36	5,37	5,07
КПР(кл...к4)	ВО(1)	0,3824	0,3012	0,1972	0,1018	0,0174	0,4365	0,4338	0,4112	0,3913	0,3268
	ЩН(2)	0,3906	0,2949	0,1927	0,1049	0,0168	0,4403	0,4190	0,4160	0,3944	0,3303
	ЗЩ(3)	0,3391	0,3034	0,3325	0,1057	0,0142	0,4129	0,4369	0,4356	0,3896	0,3249
	ЗЩН(4)	0,2938	0,2638	0,2050	0,1475	0,0900	0,4043	0,4258	0,4195	0,3980	0,3523
	$K_m(5)$	0,3515	0,2908	0,2081	0,1150	0,0346	0,4235	0,4254	0,4208	0,3935	0,3336
	$K_c(\text{Cal},6)$	0,4143	0,3072	0,2000	0,0929	-0,0144	0,4428	0,4213	0,4000	0,3785	0,3572

Умовні позначення і скорочення до таблиці:

$f_{i, \text{мм}}$ - прогини балок 1...5 в середині прольоту за різних умов обпирання – ЗЩН(4) (защемлена з накладною плитою); ВО(1) - (вільнооперті); ШН(2) - шарнірно нерухомі; ЗЩ(3) - защемлена; $\Delta_{1,i}$ - відношення прогину вільноопертої балки (ВО-1) до прогинів цих балок за різних способів обпирання (2, 3, 4); $K_m(5)$ - середнє значення; $K_c(\text{Cal},6)$ - розраховані КПР за методом позацентрового стиску.

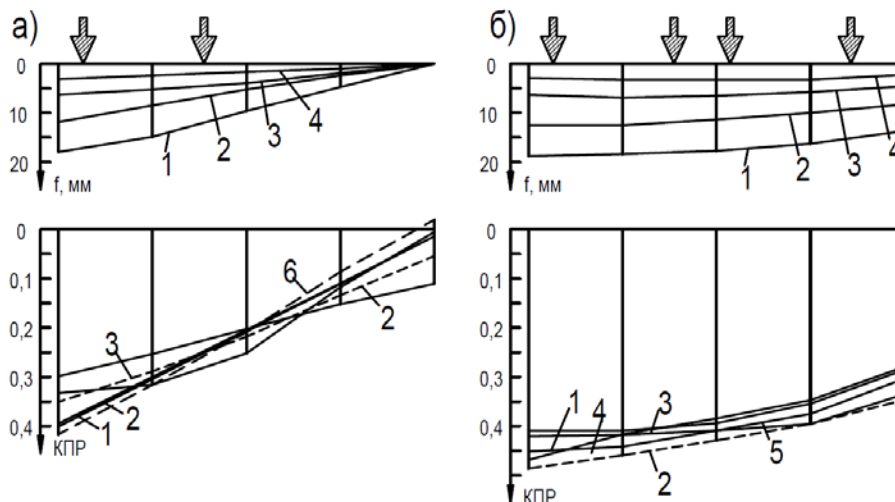


Рис. 5. Порівняння максимальних прогинів балок випробуваної прогонової будови за схемами 1...4

Вплив на КПР типу статичної схеми і накладної плити встановлювали порівнянням КПР кожної з досліджуваних статичних схем і накладної плити з базовими КПР для вільнооб-

пертої статичної схеми. Це порівняння показало, що в цілому незалежно від типу статичної схеми за розташування однієї або двох колон випробувального навантаження в межах прого-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

нової будови експериментальні КПП є близькими між собою: так для крайньої балки вони становлять: ВО – 0,3824 (0,4365); ШН – 0,3906 (0,4403); ЗЩ – 0,3391 (0,4129); ЗЩНП – 0,2938 (0,4043) (значення в дужках для двох колон автомобілів). Тобто відхилення від базової становить ШН – +2,1% (0,9%); ЗЩ – -11,3% (-5,4); ЗЩНП – 23,2% (7,4%). В цьому порівнянні викликає сумнів лише різниця КПП за вільнообпертої статичної схеми і защемленої з накладною плитою. За обмеженої кількості вимірювань цей результат можна вважати випадковим, тим більше що для схеми навантаження з двох колон автомобілів він не підтвердився.

Таким чином, зважаючи на досить умовну точність розрахунків (Артёмов, & Распопов, 2012; Сухоруков, 2012), можна стверджувати що КПП не залежить від статичної схеми і для всіх досліджених статичних схем його можна розраховувати за однією методикою. Тому в даних дослідженнях теоретичні КПП від випробувального навантаження розраховували за доволі розповсюдженим при проектуванні мостів методом позацентрового стиску, а для їх порівняння з експериментальними використовували середнє значення останніх із усіх чотирьох досліджуваних схем КПП які становлять, наприклад, для крайньої балки – 0,3515 (0,4235) за теоретичних значень – 0,4143 (0,4428), тобто різниця між ними +17,9 % (+4,5) є цілком допустимою (Артёмов, & Распопов, 2012; Микитенко, 2012; Сухоруков, 2012; Boronczyk-Plaska, & Radomski, 2008).

Заключна частина комплексних досліджень передбачала випробування реконструйованої прогонової будови після завершення всіх реконструктивних робіт за повного експлуатаційного постійного навантаження, тобто за максимальної навантаженості балок. Вони мали характер стандартних оціночних випробувань перед задачею об'єкту в постійну експлуатацію (Кваша, 2002а; Кваша, & Рачкевич, 2008; Кваша, 2017; Рачкевич, Кваша, & Салійчук, 2013; Микитенко, 2012; Cardinale, & Orlando, 2004). Тому основною їх метою була перевірка ефективності залучення в спільну роботу з існуючими балками нових елементів реконструкції – защемлення балок і залізобетонної накладної плити, а також встановлення відповідності проектних і фактичних конструктивних і експлуатаційних характеристик, дійсного напружено-деформованого стану, несучої здатності і дефо-

рмативності несучих конструкцій та прогнозування можливості подальшої нормальної експлуатації реконструйованої споруди.

Розширену прольотну будову після реконструкції випробували за двома схемами її навантаження (рис. 3, г, д). Перша – повторювала схеми попередніх випробувань вільнообпертої, шарнірно нерухомої і защемленої існуючої прогонової будови (рис. 3). Результати випробувань за цією схемою проаналізовані у спільному аналізі попередніх випробувань і тут не коментуються. Найбільш важливою і одночасно найбільш не вигідною для оцінки кінцевих результатів реконструкції і встановлення придатності реконструйованого моста для подальшої експлуатації була нова схема навантаження (рис. 3, д) позацентрова з максимальним наближенням колон випробувального навантаження у розширеній прольотній будові до бар'єру безпеки, тобто з виходом його на консольну ділянку накладної плити. Ця схема була найневигіднішою для роботи прогонової будови під тимчасовим навантаженням (при повному постійному), створювала максимальну навантаженість крайніх балок і загалом характеризувала експериментальну вантажопідйомність реконструйованої прогонової будови з розширенням її монолітною залізобетонною накладною плитою і підсиленням балок зміною їхньої статичної схеми.

На рис. 6 в табличній формі представлена вибірка експериментальних даних з цих випробувань (ЗЩНП) для навантаження однією (а) і двома (б) колонами випробувального навантаження (прогини і КПП) для зручного порівняння такі ж експериментальні дані наведені також для вільнообпертої (ВО) прогонової будови. Крім того, для наочності табличні дані для обох схем продубльовані епюрами розподілу прогинів (а) і КПП (б) між балками прогонової будови як для базової, так і розширеної прогонової будови за найбільш не вигідної схеми навантаження з виходом на консольну ділянку накладної плити. Розподіл прогинів між балками поперек прольоту лінійний за явно вираженим принципом позацентрового стиску. Максимальний прогин у розширеній прольотній будові (одна і дві колони) 3,52 мм (5,45 мм) мала крайня балка (значення в дужках для двох колон автомобілів). Порівняно з такими ж прогинами базової прогонової будови 16,68 мм (18,82 мм) він зменшився у 4,74 (3,75) рази. Це змен-

шення прогину за більш невідповідного навантаження реконструйованої прогонової будови порівняно з існуючою вільнообпертою і характеризує високу ефективність включення в роботу елементів реконструкції та ступінь збільшення її вантажопідйомності порівняно з існуючою до реконструкції.

За найбільш невідповідного навантаження розширеної прогонової будови як однією так і двома колонами автомобілів з виходом їх на консольну ділянку накладної плити (рис. 6) розраховані КПП є значно більшими від експериментальних (різниця 58,3 % (49,6 %), хоча розподіл експериментальних КПП між балками є лінійним. Тобто, не дивлячись на велику різницю принцип позакцентрового стиску зберігається і для розрахованих і для експериментальних КПП. Це питання потребує додаткового вивчення і аналізу, а методика розрахунку – коригування.

Порівнювані результати випробувань вільнообпертої (ВО) і защемленої з накладною плитою (ЗЩНП), як кінцевий результат реконструкції (рис. 6) використовували також і для оцінки максимально досягнутого під час випробувань ступеню навантаженості балок за найневідповіднішими схемами розташування випробувального навантаження на прольотній будові (рис. 6), а також оцінки ефективності як залучення у спільну роботу з балками нових елементів реконструкції, так і ефективності виконаної реконструкції в цілому. За силову дію, яка характеризує ступінь навантаженості відносно розрахункової несучої здатності балок приймали згинальний момент в середині прольоту балок, який від випробувального навантаження розраховували для окремих, як правило крайніх балок за відповідними лініями впливу, (рис. 3) з використанням експериментальних КПП, а від постійного – за відомою методикою. При цьому ступінь навантаженості оцінювали окремо від випробувального навантаження, а також від сумарного – випробувального і постійного.

Максимальний згинальний момент в крайній балці існуючої прогонової будови за вільнообпертої статичної схеми від двох колон випробувального навантаження становив $M_1=557,75$ кН·м, (КПП=0,4365) З врахуванням згинального моменту від власної ваги балки $M_{гб}=412,13$ кН·м максимально досягнута під час випробувань навантаженість цієї балки становила $M_1^{\max}=999,88$ кН·м, що відносно її роз-

рахункової несучої здатності $M_4 = 2355,4$ кН·м становить 41,2% тобто є менше від рекомендованої ДБН навантаженості – 65 %.

Після защемлення балок на опорах і влаштування накладної плити, не дивлячись на зміщення двох колон випробувального навантаження на консоль накладної плити (рис. 6) згинальний момент від цієї схеми навантаження порівняно з попередньою вільнообпертою за рахунок зміни статичної схеми зменшився до $M_2=352,75$ кНм (КПП=0,718), що менше від згинального моменту у вільнообпертій існуючій прольотній будові в 1,58 рази. Це зменшення і відображає ефект від зміни статичної схеми балок.

Максимальна досягнута під час випробувань навантаженість крайньої балки у кінцевому варіанті (після завершення всіх робіт з реконструкції) з врахуванням власної ваги балки і повних постійних навантажень становить $M_2^{\max}=1106,13$ кНм, що відносно збільшеної несучої здатності цієї балки після залучення у спільну роботу з нею накладної плити $M_{H2}=2644,6$ кНм становить лише 41,8 %, тобто досягнута під час випробувань максимальна навантаженість балки у складі уже реконструйованої прогонової будови є меншою від рекомендованої ДБН В.2.3 6:2009.

Наукова новизна і практична значимість

Експериментальне і теоретичне обґрунтування ефективності та експлуатаційної надійності підсилення балок залізобетонних прогонових будов при зміні статичної схеми. Широке застосування методу підсилення залізобетонних прогонових будов зміною статичної схеми у практиці їх реконструкції.

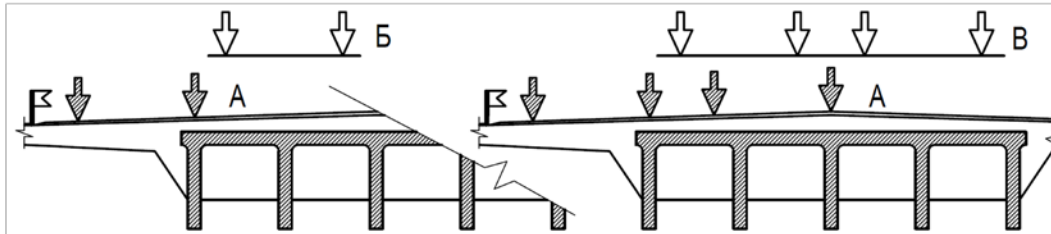
Висновки

Експериментальне підсилення балок залізобетонної прогонової будови за ТП вип. 56 після тривалого періоду експлуатації зміною статичної схеми з вільнообпертої розрізної на защемлену на опорах, та залученням в спільну роботу з існуючими балками монолітної залізобетонної накладної плити підтвердило ефективність, технологічність і надійність прийнятих конструктивних рішень, а випробування прогонової будови до, під час та після розширення і підсилення зміною статичної схеми балок підтвердили його ефективність в підвищенні основних експлуатаційних показників залізобетонних балок – міцності, жорсткості і тріщиностійкості.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Значне зменшення вимірних під час випробування прогинів балок в реконструйованій прольотній будові свідчить про надійне включення в спільну роботу з ними монолітної залі-

зобетонної накладної плити, та зміни статичної схеми і, внаслідок цього, збільшення як жорсткості балок, так і поперечної жорсткості прогонової будови в цілому.



Балки		Схеми					Схеми				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$f_i, \text{мм}$	ЗЩНП(А)	3,52	2,32	1,29	0,58	-0,06	5,45	4,17	2,92	1,82	0,82
	ВО(Б)	16,68	13,14	8,60	4,44	0,76	18,82	18,70	17,74	16,87	14,09
	Δ	4,74	5,66	6,67	3,65	-	3,45	4,48	6,08	8,94	17,18
КПР(к)	$K_p(\wedge)$	0,4601	0,3033	0,1686	0,0758	-0,0078	0,718	0,5494	0,3847	0,2398	0,1080
	$K(BO)$	0,3824	0,3032	0,1972	0,1018	0,0124	0,4365	0,4338	0,4113	0,3913	0,3268
	$\Delta k\%$	20,3	0,7	-14,5	-25,5	-	64,5	27,9	-5,5	-38,7	-67,0
	$K(\text{сал}) (2)$	0,7285	0,4643	0,2000	-0,0643	-0,3285	1,0714	0,7557	0,900	0,0615	-0,2714
	$\Delta c\%$	58,3	54,2	1,4	-3,7	-	49,2	37,5	4,0	-79,4	-

Умовні позначення і скорочення до таблиці:

$f_{i, \text{мм}}$ - прогини балок 1...5 в середині прольоту за схемами обпирання - ЗЩНП (защемлена з накладною плитою); ВО - (вільноперта).

$\Delta = f_B/f_A$ - співвідношення прогинів за ВО і ЗЩНП схемами.

$K_p(1)$, $K_{\text{во}}$ і $K_{\text{сал}}$ - коефіцієнти поперечного розподілу за схемами обпирання балок ЗЩНП (1); ВО; і розраховані (сал) за методом позацентрального стиску;

$\Delta_k = (K_p - K_{\text{во}}) \cdot 100 / K_{\text{во}}$; $\Delta_c = (K_{\text{сал}} - K_p) \cdot 100 / K_p$ - різниця у значеннях відповідних КПР

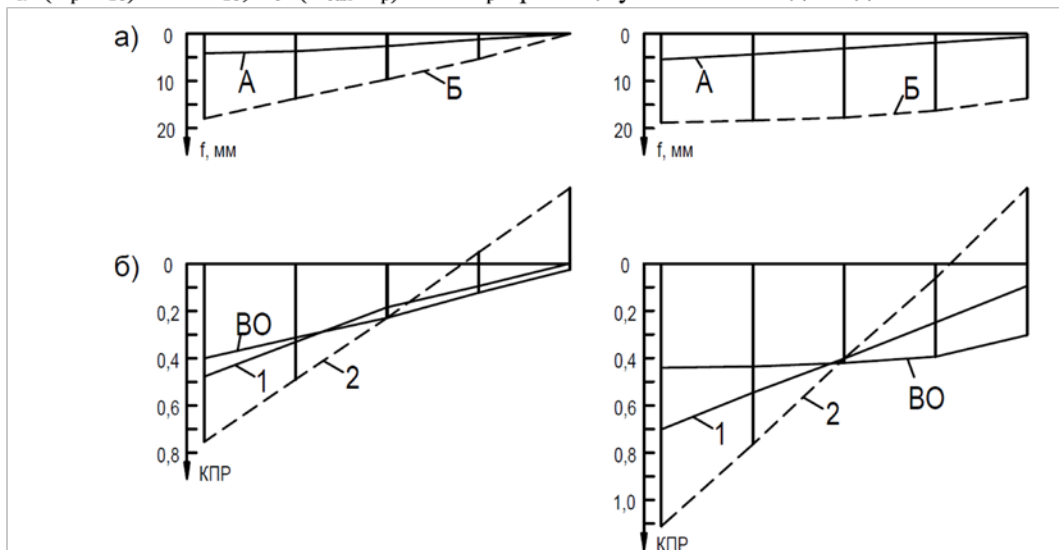


Рис. 6. Результати випробувань реконструйованої прогонової будови (схеми 4 і 5)

Лінійний розподіл прогинів в балках існуючої і реконструйованої прогонової будови свід-

чить, що фактична просторова робота відповідає теоретичним передумовам методу позацен-

тровоного стиску, прийнятому для перевірочних розрахунків на тимчасові нормовані і випробувальні навантаження. Це підтверджується також порівнянням теоретичних і експериментальних коефіцієнтів поперечного розподілу, які для схем навантаження в межах ширини прогонової будови практично збігаються. При розташуванні навантаження на консольній ділянці накладної плити розбіжність експериментальних і розрахункових КІР є значною, тому методика розрахунку потребує коригування.

За величиною зменшення прогинів балок реконструйованої прогонової будови порівняно з існуючою можна вважати, що внаслідок залучення в роботу елементів реконструкції вона має значний запас вантажопідйомності на сприйняття нормованих тимчасових навантажень А15 і НК-100, тобто відповідає експлуатаційним вимогам чинних норм проєктування нових мостів ДБН В.2.3-14:2006 та ДБН В.1.2-15:2009 і придатна для подальшої експлуатації на нормовані тимчасові навантаження А15 і НК-100, що доводить можливість подальшого використання прогонових будов за ТП вип. 56 і продовження терміну їх експлуатації, співставного з новозбудованими мостами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бієн, І., & Gladysz-Bień, М. (2014) Klasyfikacja diagnostycznych badań obiektów mostowych. *Inżynieria i budownictwo*, 7, 364-368.
- Boronzczyk-Plaska, G., & Radomski, W. (2008). Bridge widening – Technical, economical and aesthetical aspects. *Bridge Maintenance, Safety, Management, Health Monitoring and Informatics*, 557.
- Cardinale, G., & Orlando, M. (2004). Structural evaluation and strengthening of a reinforced concrete bridge. *Journal of Bridge Engineering*, 9(1), 35-42.
- Wiśniewski D., & Majka M. (2013). Ocena nośności mostów w okresieich eksploatacji – doświadczenia krajowe i zagraniczne. *Inżynieria I budownictwo*, 7-8, 364-367.
- Артёмов, В. Е., & Распопов, А. С. (2012). К вопросу о точности вычислений в расчетах строительных конструкций. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 3, 6-8.
- Кваша, В. Г. (2002а). Ефективні системи розширення і підсилення залізобетонних балкових прогонових будов автодорожніх мостів. *Дисертація доктора технічних наук*. Львів: НУ «Львівська політехніка».
- Кваша, В. Г. (2002б). *Обстеження та випробування автодорожніх мостів*. Львів: НУ «Львівська політехніка».
- Кваша, В. Г., Ковальчик, Т. П., & Салійчук, Л. В. (2007). Досвід розширення балкових залізобетонних прогонових будов монолітною залізобетонною накладною плитою. *Теорія і практика будівництва*, 80-94.
- Кваша, В. Г., & Рачкевич, В. С. (2008). Аналіз розподілу тимчасового навантаження між балками прогонової будови за результатами натурних випробувань. *Теорія і практика будівництва*, 627, 122-128.
- Кваша, В. Г. (2017). *Мости та шляхопроводи, реконструйовані за проєктами Галузевої науково-дослідної лабораторії № 88 (ГНДЛ-88) Національного університету «Львівська політехніка»*. Каталог. Львів: НУ Львівська політехніка.
- Микитенко, С. М. (2012). Застосування оптимізаційних методів до розрахунку міцності залізобетонних елементів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 3, 124-126.
- Рачкевич, В. С. (2009). Експлуатаційний стан та ефективні системи відновлення збірних залізобетонних прогонових будов з багаторядовою каркасною арматурою. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 521-533.
- Рачкевич, В. С., Кваша В. Г., & Салійчук, Л. В. (2013). Реконструкція автодорожніх мостів з підсиленням залізобетонних балок зміною статичної схеми. *Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури*, 49(1), 282-289.
- Рачкевич, В. С., Кваша, В. Г., Салійчук, Л. В., & Тузяк, А. А. (2013). Розподіл тимчасового навантаження між балками без діафрагмової прогонової будови моста за результатами натурних випробувань. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 49, 211-217.
- Сінь, Я., Юпин, М., Салійчук, Л., & Кваша, В. (2021). Оптимальне конструктивно-технологічне вирішення реконструкції міського шляхопроводу та результати його випробувань. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 20, 92-107.
- Сінь, Я., Шуляр, Р. А., Салійчук, Л. В., & Кваша, В. Г. (2022). Сучасний стан проблеми реконструкції автодорожніх мостів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 42, 315-329.
- Сухоруков, Б. Д. (2012). Распределение временной нагрузки между балками в автодорожном железобетонном путепроводе рамно-неразрезной системы. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 3, 199-206.
- ТП (1958). Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56. *Пролетные строения железобетонные сборные с каркасной арматурой периодического профиля*. Москва: Стройиздат.

YAO XIN^{1*}, A. A. HORBACHEVSKA², L. V. SALIYCHUK³, V. G. KVASHA⁴

^{1*} Department of Highways and Bridges, Lviv Polytechnic National University, st. Stepana Bandera, 12, Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38 (073) 4026510, email yaoxinukraine@gmail.com, ORCID 0000-0001-6490-279X.

^{2*} Department of Highways and Bridges, Lviv Polytechnic National University, st. Stepana Bandera, 12, Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38 (096) 5153193, email Anna.Tuziak@gmail.com, ORCID 0000-0002-3038-4979.

^{3*} Branch research laboratory BRL-88, Lviv Polytechnic National University, st. Stepana Bandera, 12, Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38 (067) 7182206, email lubovsaliycuk@gmail.com, ORCID 0000-0003-2016-9818.

^{4*} Department of Highways and Bridges, Lviv Polytechnic National University, st. Stepana Bandera, 12, Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38 (096) 4600734, email victor.h.kvasha@lpnu.ua, ORCID 0000-0002-5620-485X.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES RECONSTRUCTION UNDER THE TYPICAL PROJECT VOL. 56 WITH BEAMS STRENGTHENING BY CHANGING STATIC SCHEME

Purpose. Study of the actual nature of the spatial work and the regularity of the distribution of the temporary load between the beams of the existing simply supported cross-ribbed span structure and under various options for changing its static schemes, involving in joint work the reinforced concrete overlay slab and other new elements of the reconstruction. **Methodology.** In order to evaluate the effectiveness of the structural solutions used during the reconstruction of the expansion and strengthening of the span structure, it is planned to conduct a set of alternate tests with sequential introduction into its composition before each alternate test of one of the new structural elements of the reconstruction, involved in joint work with the existing beams. That is, for each successive test, the impact of only one factor was assessed, the inclusion of which in the composition of the existing span structure changed its operating conditions. The effectiveness of its application was evaluated by direct comparison of the deflections of the beams of the next tests with the deflections of the previous ones. **Results** of five (1... 5) span structure tests were carried out during successive stages of reconstruction, i.e. in the following sequence: 1 – test of the span structure in the existing state according to the simply supported static scheme; 2 – after installation of the horizontal immobility of the supporting parts; 3 – after complete pinching of the beams on the supports; 4 – after installation of the overhead plate of the expansion of the span structure on pinched beams; 5 – after completion of reconstruction before handover. The results of these tests were beam deflections and transverse distribution coefficients determined from them. The effect of joint work of new reconstruction elements with the existing beams was established by comparing the deflections of these beams from tests 1-4 under the same load schemes. We obtained the ratio $f_1:f_2:f_3=1:1.46:2.95$, from which it is evident that the greatest effect of strengthening the beams is achieved in the static scheme pinched on the supports. The experimental transverse distribution coefficients turned out to be almost the same for all investigated static schemes, which indicates that the possibility of their spatial calculation using one method. **The scientific novelty** consists in the experimental and theoretical substantiation of the effectiveness and operational reliability and strengthening of beams of reinforced concrete span structures by changing the static scheme. **Practical significance** – wide application of the method of strengthening reinforced concrete span structures by changing the static scheme in the practice of their reconstruction.

Keywords: reinforced concrete beam span structures, reconstruction, strengthening of beams, change of static scheme, experimental studies, tests

REFERENCES

- Bień, I., & Gladysz-Bień, M. (2014) Klasyfikacja diagnostycznych badań obiektów mostowych. *Inżynieria i budownictwo*, 7, 364-368. (in Polish)
- Boronczyk-Plaska, G., & Radomski, W. (2008). Bridge widening – Technical, economical and aesthetical aspects. *Bridge Maintenance, Safety, Management, Health Monitoring and Informatics*, 557. (in English)
- Cardinale, G., & Orlando, M. (2004). Structural evaluation and strengthening of a reinforced concrete bridge. *Journal of Bridge Engineering*, 9(1), 35-42. (in English)
- Wiśniewski D., & Majka M. (2013). Ocena nośności mostów w okresie eksploatacji – doświadczenia krajowe i zagraniczne. *Inżynieria i budownictwo*, 7-8, 364-367. (in Polish)
- Artemov, V. Ye., & Raspopov, A. S. (2012). K voprosu o tochnosti vychisleniy v raschetakh stroitelnykh konstruktsiy. *Mosti ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktika*, 3, 6-8. (in Russian)

- Kvasha, V. H. (2002a). Efektyvni systemy rozshyrennia i pidsylennia zalizobetonnykh balkovykh prohonovykh budov avtodorozhnikh mostiv. *Dysertatsiia doktora tekhnichnykh nauk*. Lviv: NU «Lvivska politekhnik». (in Ukrainian)
- Kvasha, V. H. (2002b). *Obstezhennia ta vyprobuvannia avtodorozhnikh mostiv*. Lviv: NU «Lvivska politekhnik». (in Ukrainian)
- Kvasha, V. H., Kovalchuk, T. P., & Saliichuk, L. V. (2007). Dosvid rozshyrennia balkovykh zalizobetonnykh prohonovykh budov monolitnoiu zalizobetonnoiu nakladnoiu plytoiu. *Teoriia i praktyka budivnytstva*, 80-94. (in Ukrainian)
- Kvasha, V. H., & Rachkevych, V. S. (2008). Analiz rozpodilu tymchasovoho navantazhennia mizh balkamy prohonovoi budovy za rezultatamy naturnykh vyprobuvan. *Teoriia i praktyka budivnytstva*, 627, 122-128. (in Ukrainian)
- Kvasha, V. H. (2017). *Mosty ta shliakhprovody, rekonstruiivani za proektamy Haluzzevoi naukovo-doslidnoi laboratorii # 88 (HNDL-88) Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnik»*. Kataloh. Lviv: NU Lvivska politekhnik. (in Ukrainian)
- Mykytenko, S. M. (2012). Zastosuvannia optymizatsiinykh metodiv do rozrakhunku mitsnosti zalizobetonnykh elementiv. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 3, 124-126. (in Ukrainian)
- Rachkevych, V. S. (2009). Ekspluatatsiyni stan ta efektyvni systemy vidnovlennia zbirnykh zalizobetonnykh prohonovykh budov z bahatoriadovoiu karkasnoiu armaturoiu. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy*, 521-533. (in Ukrainian)
- Rachkevych, V. S., Kvasha V. H., & Saliichuk, L. V. (2013). Rekonstruktsiia avtodorozhnikh mostiv z pidsylenniem zalizobetonnykh balok zminoiu statychnoi skhemy. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva i arkhitektury*, 49(1), 282-289. (in Ukrainian)
- Rachkevych, V. S., Kvasha, V. H., Saliichuk, L. V., & Tuziak, A. A. (2013). Rozpodil tymchasovoho navantazhennia mizh balkamy bez diaframovoi prohonovoi budovy mosta za rezultatamy naturnykh vyprobuvan. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 49, 211-217. (in Ukrainian)
- Sin, Ya., Yupyn, M., Saliichuk, L., & Kvasha, V. (2021). Optymalne konstruktyvno-tekhnolohichne vyrishennia rekonstruktsii miskoho shliakhprovodu ta rezultaty yoho vyprobuvan. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 20, 92-107. (in Ukrainian)
- Sin, Ya., Shuliar, R. A., Saliichuk, L. V., & Kvasha, V. H. (2022). Suchasnyi stan problemy rekonstruktsii avtodorozhnikh mostiv. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy*, 42, 315-329. (in Ukrainian)
- Sukhorukov, B. D. (2012). Raspredelenie vremennoy nagruzki mezhdubalkami v avtodorozhnom zhelezobetonnom puteprovode ramno-nerazreznoy sistemy. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktika*, 3, 199-206. (in Russian)
- TP (1958). Tipovye proekty sooruzheniy na avtomobilnykh dorogakh. Vypusk 56. *Proletnye stroeniya zhelezobetonnye sbornye s karkasnoy armaturoy periodicheskogo profilya*. Moskva: Stroyizdat. (in Russian)

Надійшла до редколегії 31.10.2023.

Прийнята до друку 20.11.2023.