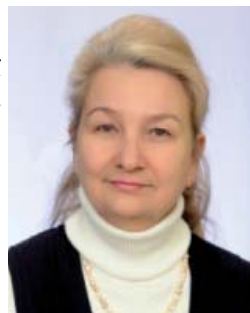




УДК 624.004:0125



**ГОРБАЧЕВСЬКА А.А.**  
Асист., Ін-т буд-ва та інженерії  
довкілля, Нац. ун-т «Львівська  
політехніка»,  
м. Львів, Україна,  
e-mail: anna.tuziak@gmail.com,  
тел.: + 38 (093) 705-85-58,  
ORCID: 0000-0002-3038-4979



**САЛІЙЧУК Л.В.**  
Канд. технічних наук, зав.  
лаб., Ін-т буд-ва та інженерії  
довкілля, Нац. ун-т «Львівська  
політехніка»,  
м. Львів, Україна,  
e-mail: l.v.saliychuk@gmail.com,  
тел.: + 38 (067) 718-22-06,  
ORCID: 0000-0003-2016-9818

## РЕКОНСТРУКЦІЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО АВТОДОРОЖНЬОГО ШЛЯХОПРОВОДУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЙОГО ВИПРОБУВАНЬ

### АНОТАЦІЯ

На даний час більшість мостів малих і середніх прольотів відносять до морально і фізично застарілих. При неможливості їх перебудови для продовження терміну нормальної експлуатації вони потребують відновлення і реконструкції, що за вартістю у декілька разів менша від перебудови і може бути виконана у короткі терміни. В роботі описано технічний стан і проектні рішення реконструкції одного з таких мостів - шляхопроводу через залізницю на км. 7+222 автодороги Західний обхід м. Львова. Результати випробувань даного шляхопроводу після реконструкції показали, що прийняті рішення є актуальними.

Метою роботи є аналіз досвіду реконструкції моста з прольотними будовами за ТП вип. 56 з застосуванням для розширення габариту мостового полотна і одночасного підсилення балок залізобетонної накладної плити і зміни статичної схеми, а також експериментальна перевірка прийнятих конструктивно-технологічних рішень реконструкції за результатами статичних випробувань реконструйованої прольотної будови.

Виконано розширення прольотної будови за нормативами дороги II технічної категорії до Г-10,5+2×1,0 м та забезпечення вантажопідйомності на нормовані тимчасові навантаження А15 і НК-100. Передбачено заміну конструкцій облаштування мостового полотна і виконання комплексу ремонтно-відновлювальних робіт для ліквідації дефектів і забезпечення довговічності реконструйованої споруди. Проведено випробування для встановлення дійсного характеру просторової роботи прольотної будови і розподілу тимчасового навантаження між балками після заміни крайніх балок новими більшої жорсткості, влаштування збірно-монолітної накладної плити і

зміни статичної схеми, а також експериментальна перевірка дійсної статичної схеми реконструйованої прольотної будови із двох можливих: класичної балкової нерозрізної з шарнірним обпиранням балок на опорах або з повним їх защемленням (рамно-нерозрізна).

Реконструкція залізобетонної прольотної будови за ТП вип. 56 після тривалого періоду експлуатації довела її доцільність, технологічність і надійність прийнятих конструктивних рішень. Зміна статичної схеми з розрізної на защемлену на опорах також підтвердила свою ефективність.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** залізобетонний міст, експлуатаційний стан, реконструкція, випробування.

### РЕКОНСТРУКЦІЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО АВТОДОРОЖНОГО ПУТЕПРОВОДА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕГО ИСПЫТАНИЙ

**ГОРБАЧЕВСКАЯ А.А.** Ассистент, Ин-т стр-ва и инженерии окружающей среды, Нац. ун-т «Львовская политехника», г. Львов, Украина, e-mail: anna.tuziak@gmail.com, тел.: + 38 (093) 705-85-58, ORCID: 0000-0002-3038-4979

**САЛИЙЧУК Л.В.** Канд. технических наук, зав. лаб., Ин-т стр-ва и инженерии окружающей среды, Нац. ун-т «Львовская политехника», г. Львов, Украина, e-mail: l.v.saliychuk@gmail.com, тел.: + 38 (093) 705-85-58, ORCID: 0000-0003-2016-9818

### АННОТАЦИЯ

В настоящее время большинство мостов малых и средних пролетов относят к морально и физичес-



ки устаревшим. При невозможности их перестройки для продления срока нормальной эксплуатации они нуждаются в восстановлении и реконструкции, которая по стоимости в несколько раз меньше перестройки и может быть выполнена в короткие сроки. В работе описаны техническое состояние и проектные решения реконструкции одного из таких мостов - путепровода через железную дорогу на км. 7 + 222 автодороги Західний обхід г. Львов. Результаты испытаний данного путепровода после реконструкции показали, что принятые решения актуальны.

Целью данной работы является описание опыта реконструкции моста с пролетными строениями по ТП вып. 56 с применением для расширения габарита мостового полотна и одновременного усиления балок железобетонной накладной плиты и изменения статической схемы, а также экспериментальная проверка принятых конструктивно-технологических решений реконструкции по результатам статических испытаний реконструированного пролетного строения.

Выполнено расширение пролетного строения по нормативам дороги II технической категории до G-10,5 + 2 × 1,0 м и обеспечения грузоподъемности на нормированные временные нагрузки А15 и НК-100. Предусмотрена замена конструкций обустройства мостового полотна и выполнения комплекса ремонтно-восстановительных работ для ликвидации дефектов и обеспечения долговечности реконструированного сооружения. Проведены испытания для установления действительного характера пространственной работы пролетного строения и распределения временной нагрузки между балками после замены крайних балок новыми большей жесткости, устройство сборно-монолитной накладной плиты и изменения статической схемы, а также экспериментальная проверка действительной статической схемы реконструированного пролетного строения из двух возможных: классической балочной неразрезной с шарнирным опиранием балок на опорах или полным их защемлением (рамно-неразрезная).

Реконструкция железобетонного пролетного строения по ТП вып. 56 после длительного периода эксплуатации доказала ее целесообразность, технологичность и надежность принятых конструктивных решений. Изменение статической схемы с разрезной на защемленную на опорах также подтвердило свою эффективность.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** железобетонный мост, эксплуатационное состояние, реконструкция, испытания.

## RECONSTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE MOTORWAY OVERPASS AND THE RESULTS OF ITS TESTS

**HORBACHEVSKA A.A.** Ass., Inst. of Building and Environmental Engineering, Lviv Polytechnic Nat. Univ.,

Lviv, Ukraine,  
e-mail: anna.tuziak@gmail.com,  
tel.: + 38 (093) 705-85-58,  
ORCID: 0000-0002-3038-4979

**SALIYCHUK L.V.** PhD, Laboratory Head, Inst. of Building and Environmental Engineering, Lviv Polytechnic Nat. Univ.,

Lviv, Ukraine,  
e-mail: l.v.saliychuk@gmail.com,  
tel.: + 38 (067) 718-22-06,  
ORCID: 0000-0003-2016-9818

### ABSTRACT

At present, most bridges of small and medium-sized spans are morally and physically obsolete. With the impossibility of their rebuilding to prolong the normal operation, they need to be restored and reconstructed, what is several times less than the rebuilding and can be executed in a short time. In this work the technical condition and design solutions for the reconstruction of one of such bridges, the railway over crossing at km. 7 + 222 of the Lviv Western bypass highway are described. The results of tests of this overpass after the reconstruction showed that the taken decisions were relevant. The purpose of this work was to describe the experience of reconstruction of the bridge with the span structures, made according to the Typical Project 1956, with the application the reinforced concrete slab and the change of the static scheme for expanding the gauge of the bridge deck and simultaneous beams strengthening, as well as the experimental verification of the taken constructive and technological decisions for the reconstruction based on the results of static tests of the reconstructed span structure.

The expansion of the span structure according to the standards of the road of the second technical category up to G-10,5 + 2×1,0 m and the provision of load-bearing capacity for the normalized temporary loads A15 and NK-100 were made. The replacement of the design of the bridge deck and the implementation of a repair and restoration works complex to eliminate defects and ensure the durability of the reconstructed facility were envisaged. Tests were carried out to establish the actual nature of the spatial work of the span structure and ensure the distribution of the temporary load between the beams after the replacement of outermost beams by the new beams with greater rigidity, and the installation of a monolithic superimposed slab and the change of the static scheme were conducted. An experimental verification of the actual static scheme of the reconstructed span structure from two possible including the classical beam continuous with a hingedly abutted on supports or with their full restraint (frame-continuous) was conducted.

Reconstruction of the reinforced concrete span structure, made according to the Typical Project 1956, after long operation period has proved its



expediency, technological effectiveness and reliability of the design decisions taken. Changing the static scheme from discontinuous to restraint on the supports also confirmed its effectiveness.

**KEY WORDS:** reinforced concrete bridge, operational state, reconstruction, tests.

## ВСТУП. ПОСТАНОВКА ПИТАННЯ. МЕТА РОБОТИ

Мости малих і середніх прольотів, збудовані у значній кількості в 50-60-ті роки минулого сторіччя з прольотними будовами із збірних залізобетонних балок за одним з перших типових проектів ТП вип. 56, на даний час, внаслідок неодноразової зміни норм проектування, а, відповідно, і експлуатаційних вимог до автодорожніх мостів, відносять до морально і фізично застарілих. Не дивлячись на загальний незадовільний стан, перевищення нормованого терміну експлуатації у 2-2,5 рази, наявність дефектів і невідповідність експлуатаційних параметрів до вимог чинних норм проектування нових мостів [1], вони продовжують експлуатуватись на мережі державних і місцевих доріг. При неможливості перебудови для продовження терміну їх нормальної експлуатації з доведенням технічних показників до вимог сучасного транспорту вони потребують відновлення і реконструкції, що за вартістю у декілька разів менша від перебудови і може бути виконана у стислі терміни.

До таких мостів належить і шляхопровід через залізницю на км. 7+222 автодороги Західний обхід м. Львова на приміській ділянці з об'єднаними міським і транзитним потоками руху. Обстеження, виконане в Галузевій науково-дослідній лабораторії № 88 НУ «Львівська політехніка», показало, що, незважаючи на наявність дефектів прольотних будов і опор, технічний стан моста визнаний придатним для реконструкції з використанням для розширення прольотної будови і підсилення балок технічних рішень науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок Галузевої науково-дослідної лабораторії № 88 [4, 5, 7, 10], що і розробила проект реконструкції моста.

Метою даної роботи є аналіз існуючого досвіду реконструкцій мостів з прольотними будовами за ТП вип. 56 із застосуванням для розширення габариту мостового полотна і одночасного підсилення балок залізобетонної накладної плити і зміни статичної схеми, а також експериментальна перевірка прийнятих конструктивно-технологічних рішень реконструкції за результатами статичних випробувань реконструйованої прольотної будови.

## ІСНУЮЧИЙ ШЛЯХОПРОВІД ТА ЙОГО ТЕХНІЧНИЙ СТАН

За конструкцією шляхопровід залізобетонний, балковий, розрізний, чотирьохпрольотний з однаковими прольотами по 14,1 м, загальною довжиною

56,8 м. Габарит мостового полотна Г-8,3+2×0,7 м з двосторонніми тротуарами підвищеного типу по 0,7 м (рис. 1 а, в).

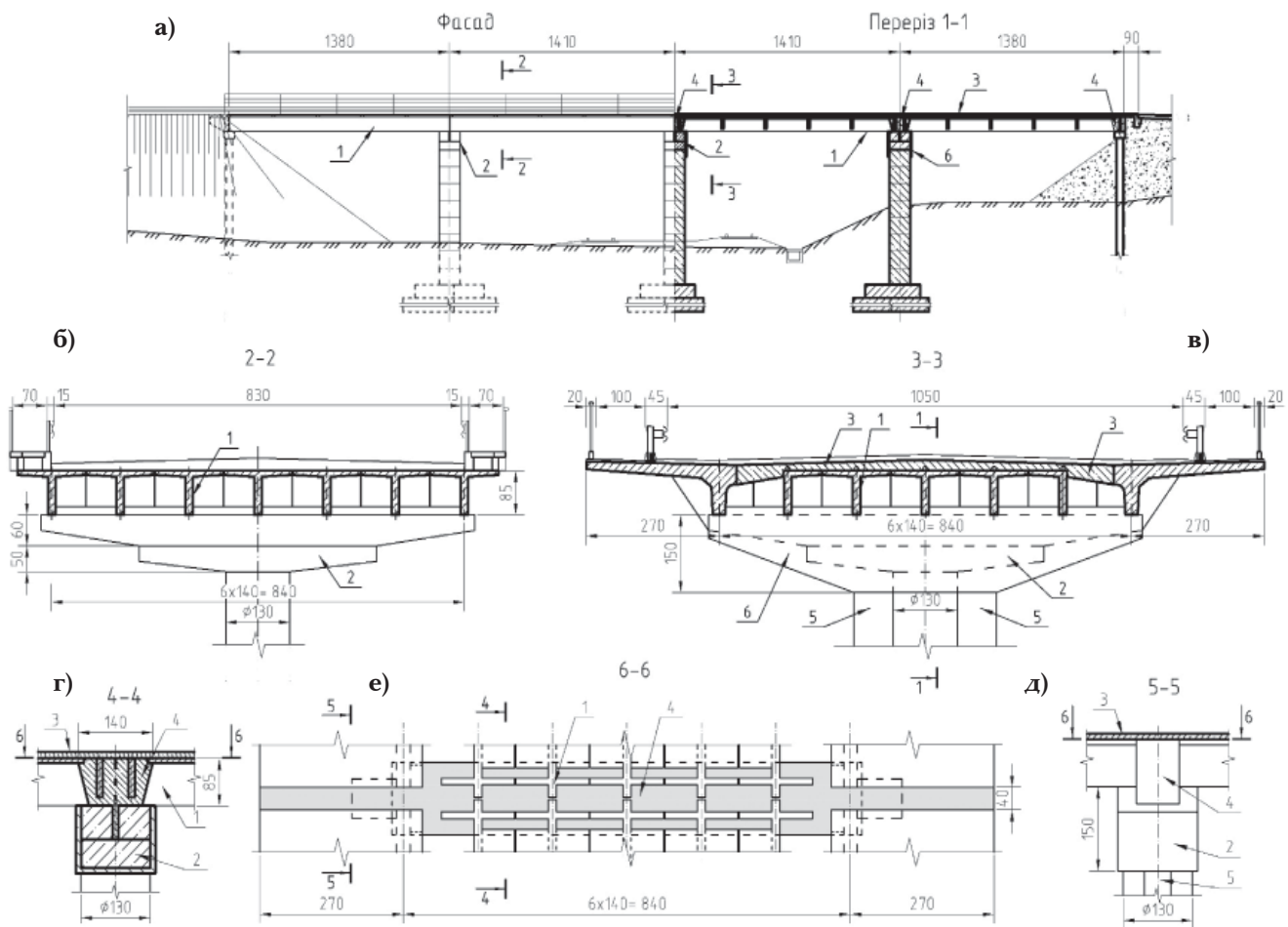
Прольотні будови перехресно-ребристі із збірних залізобетонних балок таврового перерізу за ТП вип. 56 [3, 9, 10, 12], об'єднаних у просторову систему прольотної будови поперек прольоту тільки в площинах поперечних діафрагм, зварюванням верхніх і нижніх закладних деталей півдіафрагм суміжних балок металевими накладками за конструктивним рішенням [12].

Берегові опори шляхопроводу обсіпні, полегшеного типу з однорядних залізобетонних забивних паль, об'єднаних зверху монолітною залізобетонною насадкою з шафовою стіною і зворотними відкритками. Проміжні опори одностовпчасті залізобетонні, полегшені із двоступінчастими двоконсольними ригелями (рис. 1 б). Стовп опори круглого перерізу діаметром 1,30 м, знизу жорстко защемлений і монолітно об'єднаний із залізобетонною плитою фундаменту. Ригелі опор збірно-монолітні, двоступеневі. Нижня ступень ригеля монолітна, жорстко защемлена у верхньому обрізі стовпа. Верхня – збірна з двох плитних елементів, об'єднаних між собою позовжнім замоноличеним стиком.

Комплекс існуючого мостового полотна включає проїзну частину шириною 8,3 м без смуг безпеки, двосторонні підвищені тротуари шириною по 0,7 м із збірних типових (за ТП вип. 56 [12]) накладних залізобетонних блоків рамної конструкції, металеве перильне огородження решітчастого типу і встановлене уже в процесі експлуатації захисне напівжорстке металеве бар'єрне огородження, закріплене до нестандартних металевих стійок та перильного огородження, чим повністю перекриває рух пішоходам. Покриття їздового полотна – асфальтобетон товщиною 20-22 см, що збільшує постійне навантаження на прольотну будову порівняно з проектним. Над береговими опорами влаштовані деформаційні шви закритого типу з металевим лотком-компенсатором.

Виявлені під час обстеження дефекти і пошкодження є типовими для залізобетонних мостів цього типу [3, 7, 10]. Насамперед, це вкрай незадовільний стан облаштування мостового полотна з багаторазовим нарощенням шарів асфальтобетонного покриття з нерівностями і вибоїнами в ньому, зруйнованими деформаційними швами, а також неробочим станом гідроізоляції, термін служби якої давно вичерпався. Їздове полотно має недостатній габарит для забезпечення пропускної здатності і безпеки руху за нормативами дороги другої технічної категорії. Загалом, під час реконструкції мостове полотно потребує розширення і заміни облаштування.

У прольотних будовах внаслідок активної дії багаторазового періодичного замочування-висихання, замерзання-розмерзання недопустимо пошкодженими є відкриті бокові і нижні поверхні крайніх



**Рис. 1.** Конструктивне рішення існуючого і реконструйованого моста  
 1 – існуючі балки; 2 – ригель проміжної опори; 3 – залізобетонна накладна плита;  
 4 – надопорне поперечне ребро; 5 – вертикальні ребра підсилення стовпа опори;  
 6 – оббетонування існуючого ригеля

балок. Це відшарування захисного шару бетону на значних ділянках з оголенням поздовжньої і поперечної арматури, її інтенсивна корозія з втратою площі поздовжньої арматури  $\varnothing 32$  мм до 20% і поперечної арматури  $\varnothing 8$  мм до 70%. Окремі стрижні поперечної арматури прокородували на 100% (розірвані). За цими ознаками крайні, найбільше навантажені балки всіх прольотів визнані непрацездатними і неремонтопридатними і під час реконструкції потребують заміни.

Проміжні балки прольотних будов мають лише частково зруйновані торцеві ділянки внаслідок періодичного замокання і замерзання через розгерметизовані деформаційні шви. Інших дефектів, щоб істотно впливали на їх несучу здатність, не мають. Під час реконструкції проміжні балки прольотних будов потребують очищення поверхонь, захисту від негативного впливу факторів зовнішнього середовища.

Діафрагми між середніми балками всіх прольотів мають лише окремі пошкодження поверхонь бетону, потребують ремонту і можуть бути використані для подальшої експлуатації та під час реконструкції.

Насадки берегових опор мають незначні раковини, сколи, дрібні тріщини, вивітрювання бетону, нагромадження сміття; стовпи проміжних опорсколи, дрібні раковини, вивітрювання бетону, поздовжні тріщини в збірних кільцевих елементах. Бетон ригелів кородований, з відшаруванням захисного шару, внаслідок чого арматура на значних ділянках оголена і сильно кородована. Стан ригелів усіх проміжних опор внаслідок руйнування захисного шару, оголення і корозії арматури непрацездатний. Вони потребують відновлення і підсилення.

За результатами обстеження та характером виявлених дефектів і пошкоджень згідно з вимогами ДБН В.2.3-6:2009 [2] стан існуючого шляхопроводу визнаний непридатним до нормальної експлуатації, не відповідає експлуатаційним вимогам за пропускною здатністю і вантажопідйомністю як об'єкт дороги II технічної категорії.

#### **РЕКОНСТРУКЦІЯ ШЛЯХОПРОВОДУ ТА ПІДСИЛЕННЯ БАЛОК ПРОЛЬОТНИХ БУДОВ**

Основа реконструкції - розширення прольотної будови за нормативами дороги II технічної категорії до  $\Gamma-10,5+2 \times 1,0$  м та забезпечення



вантажопідйомності на нормовані чинними нормами проектування нових мостів тимчасові навантаження А15 і НК-100. Крім того, необхідна заміна конструкцій облаштування мостового полотна і виконання комплексу ремонтно-відновлювальних робіт для ліквідації дефектів і забезпечення довговічності реконструйованої споруди, співставної з нормованою довговічністю нових мостів.

Розширення прольотної будови до заданого габариту після демонтажу крайніх балок виконане на основі плоскої збірно-монолітної залізобетонної накладної плити, збірні консольні ділянки якої довжиною 2,7 м одночасно входять в склад зовнішньої частини верхньої полиці нових збірних крайніх балок (рис. 1 б, г) і монолітної ділянки, розташованої в середній частині між новими балками над залишеними існуючими, полиці яких служили опалубкою для її бетонування. Монолітну частину накладної плити надійно об'єднували для сумісної роботи з існуючими балками гнучкими петлевими арматурними анкерами. Накладна плита армована верхніми і нижніми арматурними сітками, робочі стержні яких з'єднували на зварюванні внапуск з арматурними випусками з полиці нових крайніх балок.

Статична схема існуючих прольотних будов змінена з розрізної на балково- або рамно-нерозрізну влаштуванням над береговими і проміжними опорами поперечних опорних ребер, у які вмонолічували торці суміжних існуючих і нових балок (рис. 1, д). Крім того, нові балки об'єднували в нерозрізну систему зварюванням внапуск відповідних випусків арматури з їх торців. Таким чином, розвантажили існуючі і нові балки в прольотах.

Проміжні опори підсилені оббетонуванням з додатковим армуванням існуючих двоступінчатих ригелів з перетворенням їх в одноступінчаті (рис. 1 г), а також добетонуванням у площині опори з обох боків існуючих круглих стовпів додатково армованих вертикальних ребер жорсткості, включення яких у роботу забезпечує несучу здатність опор на дію навантажень поперек прольоту.

Після виконання робіт із розширення прольотної будови виконано повну заміну елементів облаштування мостового полотна, а також ремонтні роботи з забезпечення нормованої довговічності реконструйованого моста.

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ПРОЛЬОТНОЇ БУДОВИ ПІСЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Мета випробувань - встановлення дійсного характеру просторової роботи прольотної будови і розподілу тимчасового навантаження між балками після заміни крайніх балок новими більшої жорсткості, влаштування збірно-монолітної накладної плити і зміни статичної схеми, а також експериментальна перевірка дійсної статичної

схеми реконструйованої прольотної будови із двох можливих: класичної балкової нерозрізної з шарнірним обпиранням балок на опорах або з повним їх защемленням (рамно-нерозрізна).

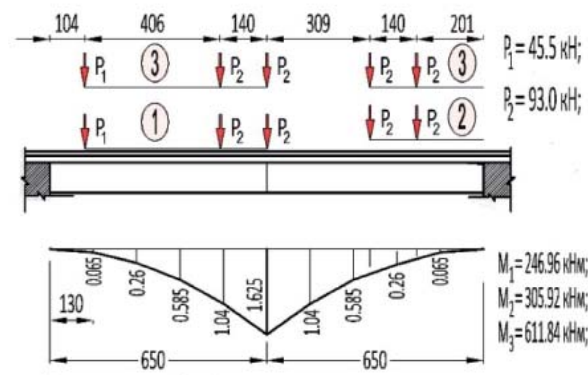
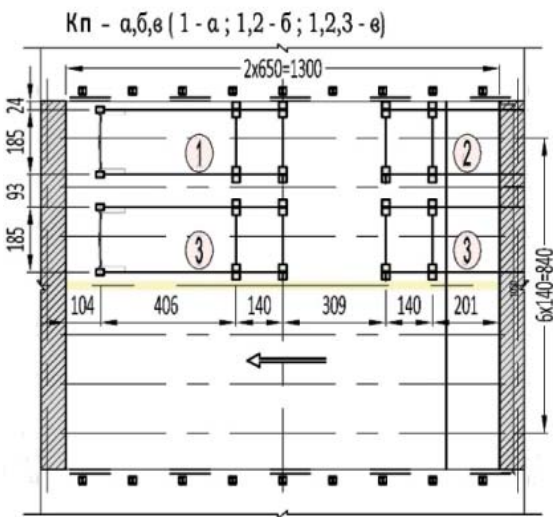
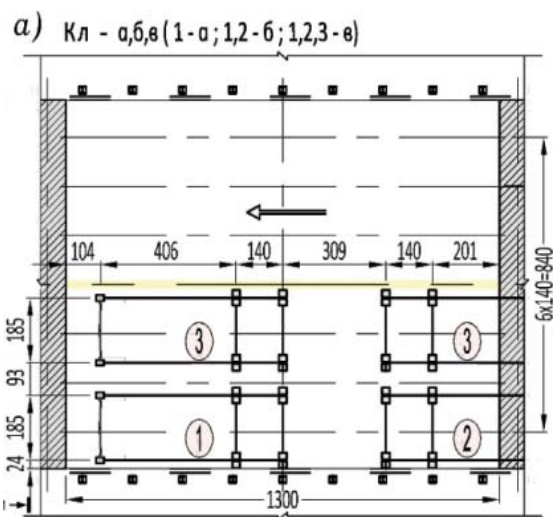
Прольотну будову крайнього (К) і середнього (С) прольотів випробовували за загальноприйнятою методикою [2, 3, 6] після завершення всіх робіт із реконструкції. Для випробувань використовували тимчасове рухоме навантаження з однієї або двох колон навантажених автомобілів-самоскидів КрАЗ, по одному або два автомобілі в колоні, (тиск на передню вісь 45,5 кН, на задні осі візка по 93,0 кН).

На прольотній будові поперек і вздовж прольоту автомобілі встановлювали в найбільш не вигідне положення за відповідними лініями впливу для одержання максимальних згинальних моментів (максимального навантажувального ефекту) в крайній і суміжній з нею балках. Здійснені лівосторонні (л) і правосторонні (п) схеми позакентрового навантаження крайнього (К) і середнього (С) прольотів зрозумілі відповідно до рис. 2 а, б і рис. 3 а, б.

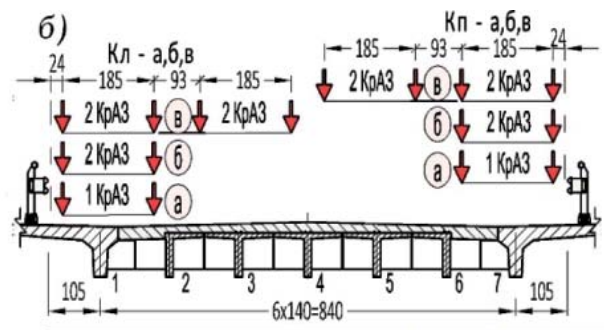
Для одержання графіків прогинів балок М-ф навантаження проводили ступенево (а, б, в), встановлюючи послідовно за прийнятими схемами в одну колону один (а) і два автомобілі (б), і в дві колони по два автомобілі (в) на крайньому (схеми Кл, Кп) і середньому (схеми Сл, Сп) прольотах з вимірюванням прогинів на кожному ступені навантаження. Ці схеми охопили всі можливі в режимі найбільш не вигідних експлуатаційних навантажень. Прогини балок у середині прольоту вимірювали механічними прогиномірами 6 ПАО з ціною поділки 0,01 мм.

Для всіх схем навантаження (а, б, в) прогини представлені в таблицях на рис. 2 б; 3, б, та для можливості аналізу і порівняння у вигляді епюр їх розподілу між балками (рис. 2, б; рис. 3, б). При навантаженні прольотних будов ідентичними лівими і правими схемами, що створювали однакову максимальну навантаженість лівої і правої крайніх балок, їх максимальні прогини були досить близькими між собою, відповідно, 3,30 мм і 3,32 мм для крайнього і 4,05 мм і 4,35 мм, для середнього прольотів. Незначна різниця прогинів балок при лівих і правих схемах навантаження є додатковим свідченням достовірності їх вимірних величин.

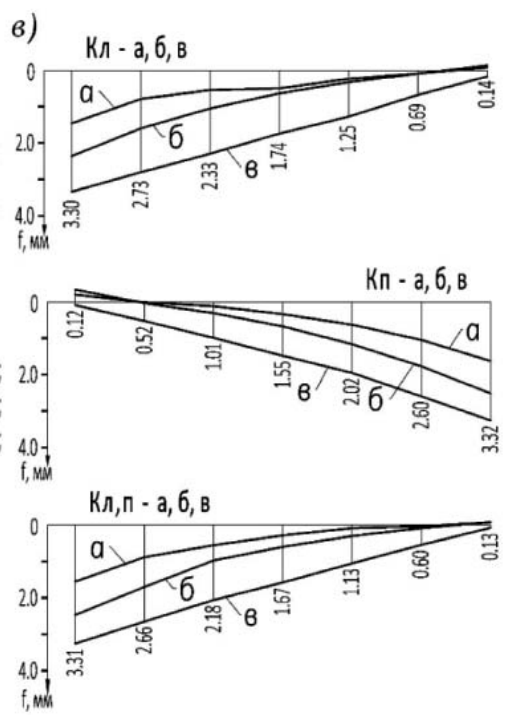
Максимальний прогин крайньої балки в розширеній прольотній будові при схемі навантаження Сп-в становив 4,35 мм, що складає лише 1/3241 прольоту при допустимому короткочасному прогині 1/400. Малі прогини є результатом впливу на роботу прольотної будови конструктивних елементів реконструкції: зменшення навантаженості прольотної будови внаслідок зміни її статичної схеми і збільшення жорсткості поперечника, а також суттєвого збільшення жорсткості нових крайніх балок з односторонніми консолями та існуючих після включення в сумісну роботу з ними накладної плити.



Позначення до таблиці:  
 $f_i$  - прогин і-ї балки при лівих (л) і правих (п) схемах навантаження – а, б, в.  
 $f_{1m}$  - серединний прогин від лівих і правих схем навантаження.  
 $KM_1, KM_2, KM_3$  - експериментальні коефіцієнти поперечного розподілу згинальних моментів від схем навантаження а, б (1 колона), в (дві колони)  
 $KM_m$  - середні значення КПРМ від схем а, б.



Експ. дані	1	2	3	4	5	6	7	Схема
$f_i$ , мм	1.57	0.80	0.56	0.40	0.20	0.04	-0.03	а
л/п	-0.18	0.06	0.12	0.37	0.66	1.08	1.61	
$f_{1m}$ , мм	1.59	0.94	0.61	0.38	0.16	0.05	-0.10	б
$KM_1$	0.4380	0.2590	0.1680	0.1047	0.0441	0.0138	-0.0275	
$f_i$ , мм	2.34	1.58	1.04	0.62	0.35	0.08	-0.05	в
л/п	-0.19	0.03	0.38	0.68	1.14	1.83	2.56	
$f_{1m}$ , мм	2.45	1.71	1.09	0.65	0.36	0.06	-0.12	а, б
$KM_2$	0.3926	0.2804	0.1747	0.1042	0.0577	0.0096	-0.0192	
$f_i$ , мм	3.30	2.73	2.33	1.74	1.25	0.69	0.14	в
л/п	0.12	0.52	1.01	1.55	2.02	2.60	3.32	
$f_{1m}$ , мм	3.31	2.66	2.18	1.65	1.13	0.60	0.13	а, б
$KM_3$	0.2834	0.2217	0.1866	0.1430	0.0968	0.0514	0.0111	
$M_1$ , кНм	102.56	66.60	42.33	25.78	12.45	2.89	-5.56	а
$M_2$ , кНм	127.05	82.51	52.43	31.94	15.42	3.58	-6.88	б
$M_3$ , кНм	173.34	139.32	114.17	87.49	59.22	31.45	6.79	в



**Рис. 2.** Результати випробувань розширеної прольотної будови крайнього прольоту при навантаженні за схемами а), б), в); а) – схеми розташування випробувального навантаження; б) – таблиця результатів випробувань та епюри прогинів балок при ліво- (л) і правосторонній (п) схемах навантаження і середній проліт з ліво- і правосторонніх схем (л, п); в) – графіки прогинів балок залежно від величини згинального моменту;  $M_1, M_2, M_3$  - сумарні згинальні моменти на прольотну будову (при коефіцієнті поперечного розподілу згинальних моментів = 1,0) від схем навантаження 1, 2, 3

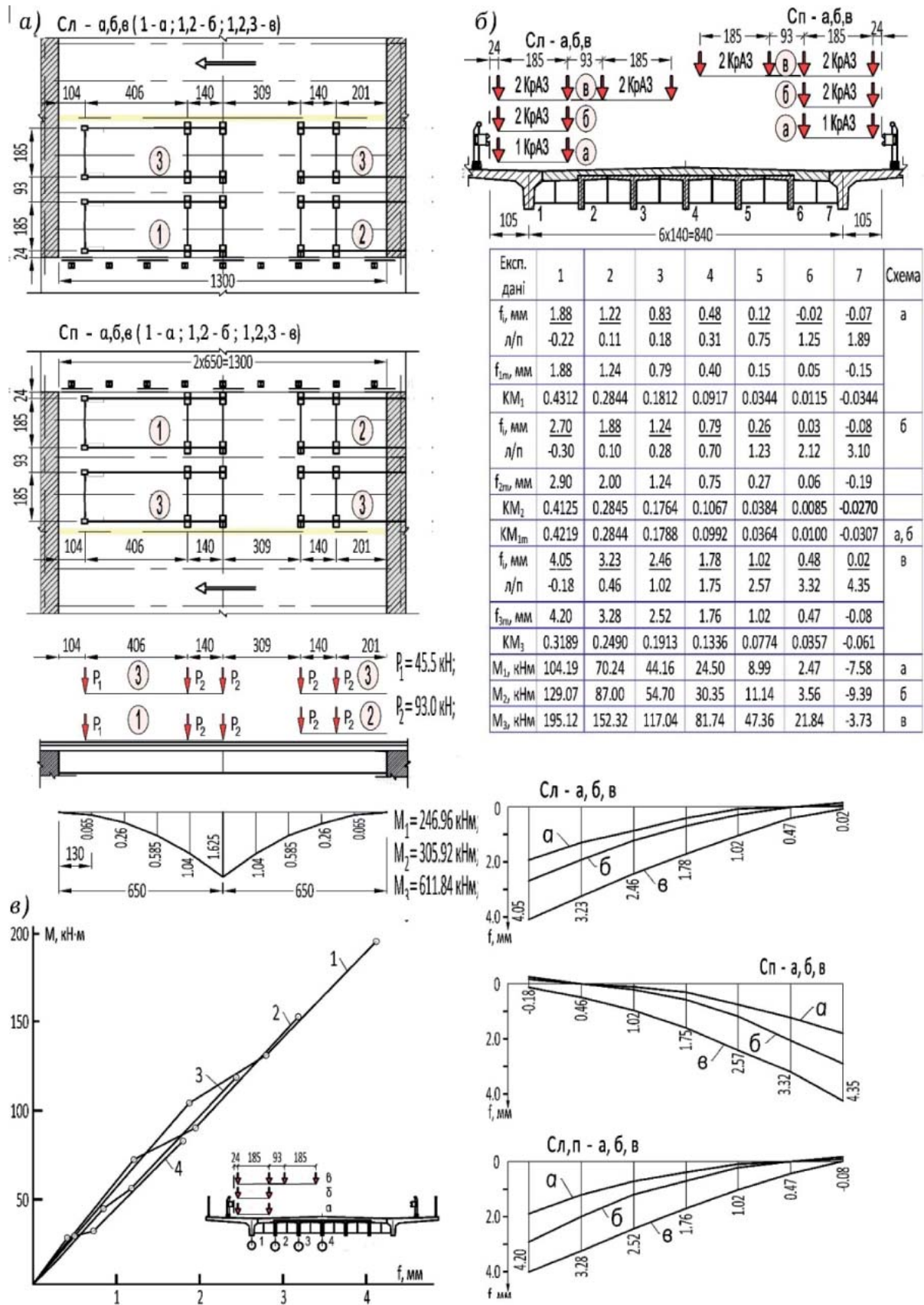


Рис. 3. Результати випробувань розширеної прольотної будови середнього прольоту при навантаженні за схемами а), б), в); а) – схеми розташування випробувального навантаження; б) – таблиця результатів випробувань та епюри прогинів балок при ліво- (л) і правосторонній (п) схемах навантаження і середні з ліво- і правосторонніх схем (л, п); в) – графіки прогинів балок залежно від величини згинального моменту;  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  - сумарні згинальні моменти на прольотну будову (при коефіцієнті поперечного розподілу згинальних моментів = 1,0) від схем навантаження 1, 2, 3



Характер розвитку прогинів між балками для обох випробуваних прольотів практично однаковий і залежить від навантажувального ефекту, створюваного однією чи двома колонами випробувального навантаження. При одній колоні (схеми а, б), тобто максимальному ексцентриситеті прикладання навантаження відносно осі поперечника прольотної будови, епюри розподілу прогинів криволінійні, що є характерним для прольотних будов із відношенням довжини прольоту  $L$  до ширини між крайніми балками  $B$   $L/B < 2$ . При двох колонах і, відповідно, меншому ексцентриситеті розподіл прогинів близький до лінійного, хоча менше виражена кривина епюри зберігається.

За експериментальними прогинами знаходили другу важливу для аналізу характеру просторової роботи прольотної будови під навантаженням характеристику, так званий коефіцієнт поперечного розподілу навантажувального ефекту (КПР), за який, як показано в роботах [6, 7, 11], прийнято КПР згинального моменту (КПРМ). Якщо визначені за результатами випробувань (експериментальні) КПРМ<sub>е</sub> мають задовільну збіжність із розрахованими (теоретичними) КПРМ<sub>т</sub>, можна вважати, що прийнятий метод просторового розрахунку відображає дійсну розрахункову модель прольотної будови. При відомих КПРМ і сумарному згинальному моменті на прольотну будову при КПРМ=1,0 навантажувальний ефект на кожну балку  $M_i$  знаходять їх перемноженням.

Дійсну статичну схему (розрахункову модель) реконструйованої прольотної будови із двох найбільш ймовірних – класичної нерозрізної з шарнірним обпиранням балок на опори і повністю защемленої на проміжних і берегових опорах (рамно-нерозрізної) уточнювали шляхом порівняння прогинів балок і КПРМ крайнього і середнього прольотів, що залежать від величини згинальних моментів.

При класичній нерозрізній системі згинальний момент від навантаження, а, відповідно, і прогини балок і КПРМ у крайньому прольоті повинні бути більшими, ніж у середньому (рис. 4 а, б). При повністю защемленій статичній схемі кожен прольот працює окремо і, теоретично, згинальні моменти, прогини і КПРМ в обох прольотах повинні бути однакові. Представлене на рис. 4 порівняння епюр прогинів (рис. 4 а) і епюр КПРМ (рис. 4 б) показує, що і прогини балок, і КПРМ

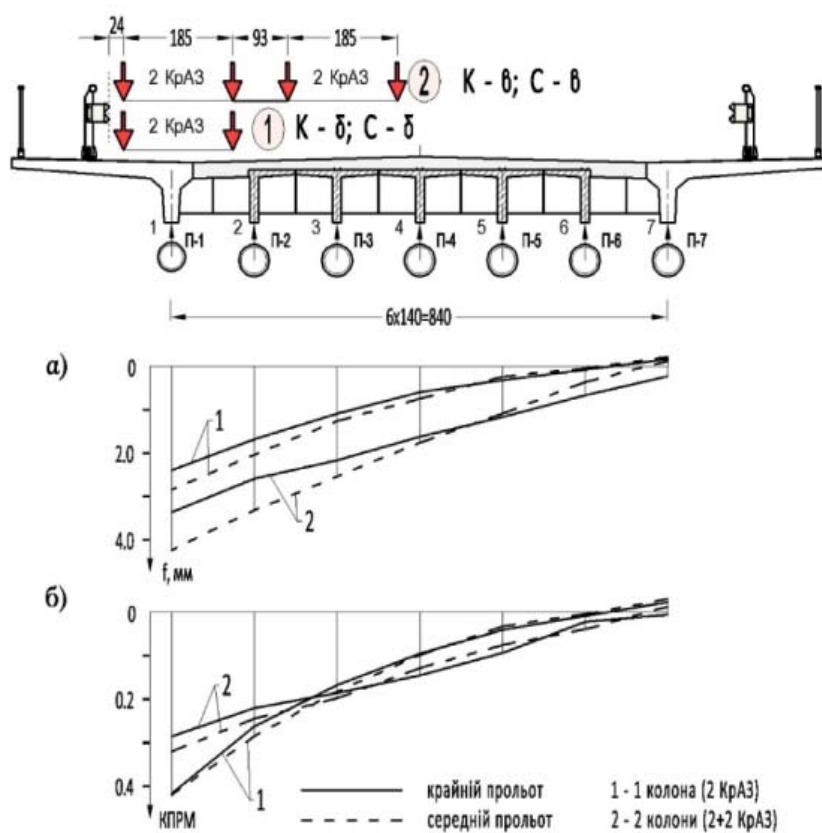


Рис. 4. Порівняння прогинів (а) і КПРМ (б) балок крайнього і середнього прольотів за схемами навантаження б (1) і в (2)

для обох прольотів майже збігаються. Їх різниця знаходиться в межах природного розкиду експериментальних даних, а в середньому прольоті навпаки вони навіть є дещо більшими. Наведене порівняння переконливо свідчить, що прийняті в проекті реконструкції конструктивні рішення забезпечили роботу прольотної будови за повністю защемленою статичною схемою з найбільшим розвантажувальним ефектом балок в прольотах.

Це підтверджує і порівняння розрахованої навантаженості прольотних будов згинальним моментом в середині прольоту від двох колон випробувального навантаження при КПРМ=1,0. Так, при шарнірно обпертій нерозрізній статичній схемі навантаженість крайнього прольоту є найбільшою і становить 1272,4 кН·м, середнього є меншою – 1122,3 кН·м, і є найменшою для обох прольотів при защемленій – 611,8 кН·м, тобто зменшення навантаженості порівняно з нерозрізною становить 2,08 рази, що свідчить про істотний вплив статичної схеми на характер просторової роботи і навантаженість прольотної будови. Тому, цілком закономірно можна вважати, що дана прольотна будова після реконструкції завдяки защемленню балок в потужні надопорні поперечні ребра працює не за класичною нерозрізною статичною схемою, а близькою до защемленої, тобто має значний запас вантажопідйомності на сприйняття без обмежень нормованих тимчасових навантажень А15 і НК-100.





## ВИСНОВКИ

1. Реконструкція залізобетонної прольотної будови за ТП вип. 56 після тривалого періоду експлуатації довела її доцільність і ефективність, технологічність і надійність прийнятих конструктивних рішень, а випробування реконструйованого моста підтвердили забезпечення основних експлуатаційних показників: вантажопідйомності, пропускної здатності, безпеки і комфортності руху.
2. Малі прогини балок у реконструйованій прольотній будові свідчать про надійне включення в спільну роботу з ними залізобетонної накладної плити та зміни статичної схеми і, внаслідок цього, збільшення як жорсткості балок, так і поперечної жорсткості прольотної будови в цілому.
3. Аналіз можливих статичних схем роботи прольотної будови після реконструкції за результатами випробувань показав, що найбільший ступінь підсилення балок на дію згинального моменту одержують при зміні статичної схеми з розрізної на защемлену на опорах, за якою і працює реконструйована прольотна будова.
4. Результати статичних випробувань підтвердили, що несуча здатність і деформативність реконструйованої прольотної будови відповідають експлуатаційним вимогам чинних норм проектування нових мостів і можливість її подальшої експлуатації на нормовані тимчасові навантаження А15 і НК-100 і продовження терміну експлуатації, співставного з новозбудованими мостами.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування: ДБН В.2.3-22:2009. - [Чинні від 2009-03-01]. - Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2009. - 73 с. - (Буд. норми України).
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування: ДБН В.2.3-6:2009. - [Чинні від 2010-03-01]. - Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2009. - 31 с. - (Буд. норми України).
3. Кваша В.Г. Обстеження та випробування автодорожніх мостів / В.Г. Кваша. - Львів: НУ «Львівська політехніка», 2002. - 102 с.
4. Кваша В.Г. Розширення збірних залізобетонних прольотних будов з багаторядковою каркасною арматурою залізобетонною накладною плитою / В.Г. Кваша // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наукових праць. - Вип. 4. - Рівне: УДУВГП, 2000. - С. 205-213.
5. Відновлення автодорожнього моста після наслідків повені з розширенням і

підсиленням прольотної будови / [В.Г. Кваша, Л.В. Салійчук, В.С. Рачкевич, Л.Я. Семанів] // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2008. - Вип. 16, ч. 1. - С. 342-350.

6. Кваша В.Г. Аналіз розподілу тимчасового навантаження між балками прольотної будови за результатами натурних випробувань / В.Г. Кваша, В.С. Рачкевич // Вісн. «Теорія і практика будівництва». - Львів: НУЛП, 2008. - № 627. - С.122- 128.
7. Реконструкція міського шляхопроводу з розширенням прольотної будови збірною монолітною накладною плитою / [В.Г. Кваша, Т.П. Ковальчик, А.Я. Мурин, В.М. Полець, Л.В. Салійчук] // Вісн. «Теорія і практика будівництва». - Львів: НУЛП, 2010. - № 662. - С. 208-216.
8. Кваша В.Г. Розширення прольотної будови автодорожнього моста з її підсиленням зміною статичної схеми без влаштування деформаційних швів / В.Г. Кваша, Л.В. Салійчук, В.С. Рачкевич // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2011. - Вип. 21. - С. 582-589.
9. Матаров И.А. Сборные железобетонные мосты с многорядной сварной арматурой / И.А. Матаров, Л.С. Смирнова, А.Л. Шилина. - М.: Автотрансиздат, 1959. -186 с.
10. Рачкевич В.С. Експлуатаційний стан та ефективні системи відновлення збірних залізобетонних прольотних будов з багаторядовою каркасною арматурою / В.С. Рачкевич, В.Г. Кваша // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - Рівне: НУВГП, 2009. - Вип. 18. - С. 521-523.
11. Рачкевич В.С. Дослідження просторової роботи залізобетонної перехресно-ребристої балкової прольотної будови до та після розширення і підсилення накладною плитою / В.С. Рачкевич // Вісн. «Теорія і практика будівництва». - Львів: НУЛП, 2015. - № 823. - С. 270-280.
12. Салійчук Л.В. Застосування клеестержневих анкерів при реконструкції мостів / Л.В. Салійчук, В.Г. Кваша // Дороги і мости. - Київ: ДерждорНДІ, 2009. - Вип. 9. - С. 220-227.
13. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Вып. 56. Пролётные строения железобетонные, сборные с каркасной арматурой периодического профиля. - М.: Стройиздат, 1958. - 56 с.

## REFERENCES

1. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymogy proektuvannja [Transport facilities. Bridges and pipes. Basic design



- requirements]. (2009). DBN V.2.3-22:2009. K: DP "Ukrarkhbudinform". 73 p. (Building norms of Ukraine) [in Ukrainian].
2. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennja i vyprobuvannja [Transport facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing]. (2009). DBN V.2.3-6:2009. K: DP "Ukrarkhbudinform". 31 p. (Building norms of Ukraine) [in Ukrainian].
  3. Kvasha V.H. Obstezhennja ta vyprobuvannja avtodorozhnih mostiv [Inspection and testing of road bridges]. Lviv, Nat. Univ. «Lviv Polytechnic». 2002. 102 p. [in Ukrainian].
  4. Kvasha V.H. Rozshyrennja zbirnykh zalizobetonnykh prol'otnykh budov z bahatoryadkovoyu karkasnoyu armaturoyu zalizobetonnoyu nakladnoyu plytoyu [Expansion of precast reinforced concrete span structures with multi-row frame reinforcement by a reinforced concrete slab]. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne, 2000. Vol. 4. P. 205–213 [in Ukrainian].
  5. Kvasha V.H., Saliychuk L.V., Rachkevych V.S., Semaniv L.Ya. Vidnovlennja avtodorozhn'oho mosta pislya naslidkiv poveni z rozshyrennyam i pidsylennyam prol'otnoyi budovy [Restoration of the road bridge after the effects of flood with the expansion and strengthening of the spatial structure]. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne, 2008. Vol. 16. P. 342–350 [in Ukrainian].
  6. Kvasha V.H., Rachkevych V.S. Analiz rozpodilu tymchasovoho navantazhennja mizh balkamy prol'otnoyi budovy za rezul'tatamy naturnykh vyprobuvan' [Analysis of the temporary load distribution between the beams of the span structure according to the results of full-scale tests]. Visn. Teoriia i praktyka budivnytstva. Lviv, Nat. Univ. «Lviv Polytechnic», 2008. Vol. 627. P. 122–128 [in Ukrainian].
  7. Kvasha V.H., Kovalchuk T.P., Muryn A.Ya., Polets' V.M., Saliychuk L.V. Rekonstruktsiya mis'koho shlyakhoprovodu z rozshyrennyam prol'otnoyi budovy zbirno-monolitnoyu nakladnoyu plytoyu [Reconstruction of the city overpass with the expansion of the span structure with a monolithic superimposed slab]. Visn. "Teoriia i praktyka budivnytstva". Lviv, Nat. Univ. «Lviv Polytechnic», 2010. Vol. 662. P. 208–216 [in Ukrainian].
  8. Kvasha V.H., Saliychuk L.V., Rachkevych V.S. Rozshyrennja prol'otnoyi budovy avtodorozhn'oho mosta z yiyi pidsylennyam zminoyu statychnoyi skhemy bez vlashtuvannja deformatsiynykh shviv [Extension of the road bridge span structure with its strengthening by changing the static scheme without the arrangement of deformation seams]. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy, Rivne, 2011. Vol. 21. P. 582–589 [in Ukrainian].
  9. Matarov I.A., Smirnova L.S., Shilina A.L. Sbornye zhelezobetonnye mosty s mnogo-ryadnoi svarnoi armaturoi [Precast reinforced concrete bridges with multi-row frame reinforcement]. M: Avtostroizdat Publ., 1959. 186 p. [in Russian].
  10. Rachkevych V.S., Kvasha V.H. Eksploatatsiynny stan ta efektyvni systemy vidnovlennja zbirnykh zalizobetonnykh prol'otnykh budov z bahatoryadovoyu karkasnoyu armaturoyu [Operational condition and effective rebuilding systems for the precast reinforced concrete span structures with multi-row frame reinforcement]. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne, 2009. Vol. 18. P. 521–523 [in Ukrainian].
  11. Rachkevych V.S. Doslidzhennja prostorovoyi roboty zalizobetonnoyi perekhresno-rebrystoyi balkovoyi prol'otnoyi budovy do ta pislya rozshyrennja i pidsylennja nakladnoyu plytoyu [Investigation of the spatial work of reinforced concrete cross-ribbed beam span structure before and after extension and strengthening by the superimposed slab]. Visn. "Teoriia i praktyka budivnytstva". Lviv, Nat. Univ. «Lviv Polytechnic», 2015. Vol. 823. P. 270–280 [in Ukrainian].
  12. Saliychuk L.V., Kvasha V.H. Zastosuvannja kleyesterzhnevnykh ankeriv pry rekonstruktsiyi mostiv [Application of adhesive anchors during bridges' reconstruction]. Dorohy i mosty. K: 2009. Vol. 9. P. 220–227 [in Ukrainian].
  13. Proletnye stroeniya zhelezobetonnye, sbornye s karkasnoi armaturoi periodicheskogo profilya. Tipovye proekty sooruzhenii na avtomobil'nykh dorogakh [Reinforced concrete span structures, precast with periodic profile frame reinforcement Typical projects of structures on highways]. Vol. 56. M: Stroizdat Publ., 1958. 56 p. [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 11.09.2018 р.