

КВАША В.Г., КЛИМПУШ М.Д., РАЧКЕВИЧ В.С., СОБКО Ю.М.

Національний університет «Львівська політехніка»
м. Львів, Україна

УДК 624.21.004.69

ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТІВ ВУГЛЕЦЕВИМИ КОМПОЗИТАМИ CFRP

Ключові слова: підсилення балок, прольотна будова, мостова балка

Представлені результати випробувань натурної мостової балки до та після підсилення наклеєними композитами CFRP, а також підсилення балок прольотної будови моста.

Представлены результаты испытаний натурной мостовой балки до и после усиления наклеенными композитами CFRP, а также усиление балок пролетного строения моста.

Field-test data of bridge girder investigation before and after its strengthening by composites and strengthening of bridge span are described

ВСТУП. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Композитні матеріали на основі вуглецевих та інших волокон у вигляді стрічок і полотен набувають все більшого застосування для підсилення будівельних конструкцій різного призначення, в тому числі і мостових [1, 5, 9 - 13]. Цьому сприяють суттєві їх переваги перед іншими традиційними способами підсилення з застосуванням металевих елементів: висока статична і втомна міцність, близький до металу модуль пружності, висока корозійна стійкість і довговічність. Технологічність підсилення композитами обумовлена їх малою вагою (в п'ять разів легші металу), відсутністю розмірних обмежень і стиків по довжині (доставка в рулонах до 250 м), з'єднанням з підсилюваним елементом лише за рахунок клею, короткий термін наклеювання (десятки хвилин), малі терміни виконання робіт, низька трудомісткість і вартість наклеювання.

Основними недоліками системи є відсутність пластики при деформуванні стрічок, необхідність ретельного

вирівнювання поверхні, а також висока вартість. Однак якщо вартість визначати за сукупністю затрат, враховуючи низьку трудомісткість і короткі терміни виконання робіт з підсилення, його довговічність і практично нульові експлуатаційні затрати, система стає конкурентноздатною або навіть більш ефективною порівняно з традиційними методами підсилення. Про це свідчить досвід її застосування в розвинутих країнах світу [5, 9, 10 - 15].

Враховуючи великі потенційні можливості системи, обумовлені комплексом істотних переваг, а також необхідністю в найближчі роки підсилення і реконструкції великої кількості збірних мостів з ненапружених залізобетонних балок, армованих плоскими зварними каркасами з багаторядовим розташуванням (в 4...6 рядів) стержневої арматури без зазорів по висоті, а також струнобетонних [6], в Україні вперше проведені експериментальні дослідження підсилення стрічками CFRP моделей і натурних залізобетонних мостових балок, які враховували специфіку конструктивних рішень прольотних будов з багаторядовою арматурою [4,7,8]. Їх результати підтвердили можливість і ефективність підсилення мостових балок з багаторядовою арматурою приклеєними вуглецевими композитами.

Нижче описані порівняльні експериментальні дослідження натурних мостових балок зазначеного вище типу, які вперше на Україні були використані при підсиленні прольотних будов моста в процесі його реконструкції за проектом, розробленим ГНДЛ-88 Національного університету «Львівська політехніка».

ПОРІВНЯЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕПІДСИЛЕНОЇ І ПІДСИЛЕНОЇ МОСТОВИХ БАЛОК

Метою проведених випробувань було експериментальне дослідження напружено-деформованого стану, умов анкерування наклеєних стрічок, міцності та деформативності підсиленої балки на різних стадіях та при різних схемах її навантаження.

Випробувані одна непідсилена і одна підсилена балки.

Їх армування було однаковим. Для підсилення балки використали стрічки перерізом 120×1,4 мм (тип M1214), наклеєні на нижню і бокові грані в зоні розміщення поздовжньої розтягнутої арматури існуючої балки. На обидві бокові поверхні наклеєно по одній стрічці, на нижню поверхню - дві стрічки, з яких одна (верхня) доведена до опори, а друга (нижня) - обірвана на віддалі 195 см від опор (рис.1).

Для підсилення ребра балки, а також забезпечення анкерування стрічок на приопорних ділянках балки довжиною ~2,2 м наклеєно два шари полотна з вуглецевих волокон з охопленням нижньої грані балки з попередньо наклеєними стрічками, що забезпечувало додаткове анкерування останніх. Стрічки наклеювали у відповідності з вимогами технології фірми Sika [5]. Для приклеювання застосовували двокомпонентний клей Sikadur 30. Перед наклеюванням стрічки за вимогами технології Sika визначали міцність бетону на відрив методом pull-off, яка складала 1,53 МПа для непідсиленої і 2,31 МПа для підсиленої балки, що більше мінімальної - 1,5 МПа, при якій можливе підсилення приклеюванням стрічок. Крім цього, в зоні наклеювання стрічок бетонні поверхні балок репрофілювалися ремонтним матеріалом Sika Monotop і підготовлювали до наклеювання згідно інструктивних вимог даної технології.

Обидві балки навантажували за однаковими схемами прикладання навантажень. Спочатку імітували рухоме навантаження прикладанням зосередженої сили почергово в проміжних перерізах через 2,7 м вздовж балки. Її величина в кожному перерізі складала 80...85% від очікуваної руйнівної, при цьому ширина розкриття тріщин не перевищувала 0,3...0,4 мм, а текучість поздовжньої робочої арматури не наставала.

У процесі випробувань при всіх схемах навантаження вимірювали деформації поздовжньої і відігнутої арматури, стрічок, бетону стиснутої зони, деформацій зсуву приклеєних стрічок відносно бетону, а також прогинів балок з урахуванням осідання опор. Для заміру деформацій використовували індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,001мм на базі 220...250 мм. Вертикальні

переміщення і осідання опор заміряли прогиномірами з ціною поділки 0,01 мм.

Непідсилену і підсилену балки доводили до руйнування на останньому етапі випробувань двома симетрично прикладеними силами.

Непідсилену балку зруйнувала при навантаженні 190,4 кН на один домкрат внаслідок текучості арматури спочатку нижнього ряду стержнів, а пізніше і інших, розташованих вище, рядів. Це навантаження відповідає руйнівному згинальному моменту 1028,4 кН•м; руйнування супроводжувалось інтенсивним розкриттям тріщин (до 0,8...1,4 мм) і їх розвитком до низу стиснутої полиці. Прогин в середині прольоту при початку текучості арматури становив 48,79 мм, а максимально досягнутий при руйнуванні стиснутої зони склав 270 мм, тобто 1/50 прольоту балки.

У підсиленій балці початок текучості арматури відповідав навантаженню на домкрат 225,0 кН. До цього деформації арматури і стрічки були практично однакові, що підтверджує їх спільну роботу. Згинальний момент, який відповідає текучості арматури, склав 1215,0 кН•м і був на 28,6% більшим, ніж в непідсиленій балці, що є величиною підсилення балки за початком текучості поздовжньої арматури. При цьому прогин в середині прольоту становив 42,68 мм, а ширина розкриття тріщин - всього 0,15... 0,25 мм.

Після настання текучості арматури сили на домкратах підсиленої балки зростали, оскільки при постійному зусиллі в арматурі, що текла, розтягуючі зусилля сприймали стрічки підсилення. При прогині ~ 15... 17 см сталося місцеве відшарування бокової стрічки, після чого балка інтенсивно прогиналась, навантаження зростало повільніше і почались суттєві зсуви бокових стрічок по відношенню до поверхні бетону. Руйнування підсиленої балки почалось з відривання нижньої, не доведеної до опори, стрічки і супроводжувалось зрізом полотна по нижній грані балки на довжині анкерування. При максимально досягнутому навантаженні на домкратах 280,2 кН відірвалася в зоні анкерування по бетону захисного шару друга нижня стрічка; при максимально досягнутому навантаженні 283,4 кН при прогині 15...17

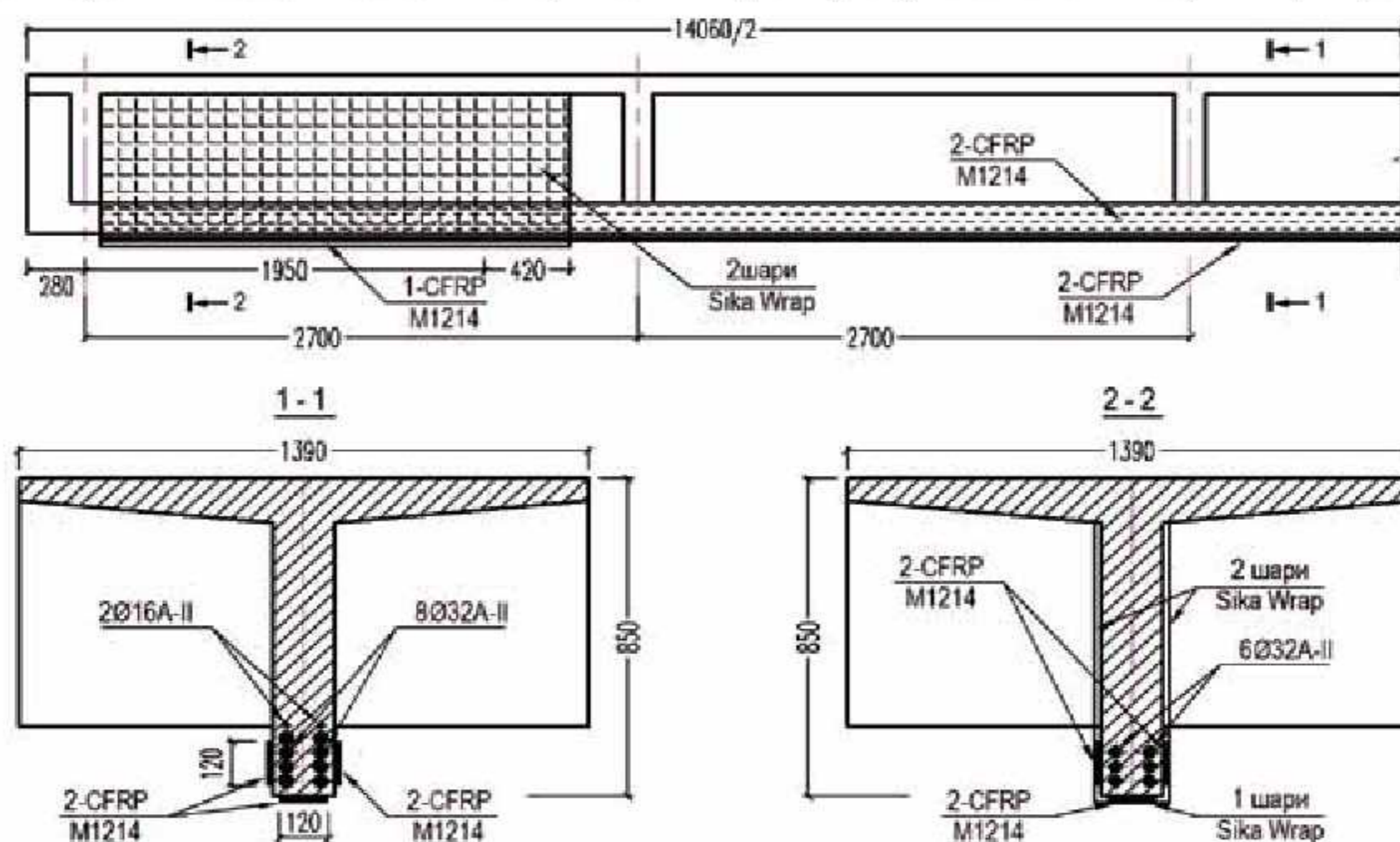


Рис. 1. Конструкція залізобетонної типової мостової балки, підсиленої стрічками CFRP і тканиною SikaWrap

см настало відривання інших стрічок і появилися ознаки роздавлювання стиснутої зони.

Руйнівний згинальний момент склав 1530,4 кН•м, що на 48,8 % більше, ніж для невідсиленої балки. Це і є резерв несучої здатності підсиленої балки. Так як вона зруйнувалася внаслідок втрати анкерування стрічок та їх відривання по захисному шарові бетону, міцність стрічок використалась далеко не повністю.

Більш детально результати порівняльних випробувань невідсиленої і підсиленої балок подані в публікації [2].

РЕКОНСТРУКЦІЯ МОСТА З ПІДСИЛЕННЯМ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БАЛОК КОМПОЗИТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Існуючий шляхопровід через залізницю розташований в населеному пункті. Він збудований у 1962-63 рр. за трьохпрольотною, балковою, розрізною конструктивною схемою 11,4+22,2+11,4 з габаритом проїзної частини 8 м і тротуарами по 0,75 м (рис. 2, а, б), що не відповідає сучасним вимогам пропускної здатності та безпеки руху транспорту і пішоходів для дороги II технічної категорії в межах населеного пункту.

Берегові опори з однорядних забивних паль перерізом 35×30 см об'єднані монолітною залізобетонною насадкою з шафовою стінкою і відкрилками. Проміжні опори – одностовпчаті діаметром 1,2 м з монолітним залізобетонним ригелем довжиною 9,8 м. Фундамент під опори бетонний масивний на природній основі.

Загальна концепція реконструкції моста передбачала розширення існуючих прольотних будов до габариту їздового полотна 11,5 м з двосторонніми тротуарами по 1,5 м, капітальний ремонт крайніх балок, наступне їх підсилення, підсилення ригелів проміжних опор, а також комплекс ремонтних і відновлювальних робіт з ліквідації дефектів та пошкоджень прольотних будов і опор, їх захисту від агресивних впливів зовнішнього середовища та можливої корозії в процесі майбутньої експлуатації після реконструкції із забезпеченням якості європейського рівня (типу “євроремонт”).

Аналіз варіантів розширення прольотної будови з врахуванням перетину шляхопроводом залізничної колії показав, що завданням реконструкції в найбільшій мірі відповідає застосування монолітної залізобетонної накладної плити з виступаючими консолями без розширення опор при влаштуванні тимчасового об'їзного моста,

виконанні робіт зверху і використанні підвісної металевої опалубки для бетонування консолей. Схема розширення показана на рис. 1 в. Накладну плиту 2 влаштовують зверху існуючої прольотної будови 1. Її консольні ділянки довжиною 370 см мають профіль змінного перерізу висотою від 14 см на кінці до 25 см біля примикання до крайньої балки з видаленою консолю полиці. Для створення поперечного ухилу товщина плити змінюється від 12 см по осі крайньої балки до 20,5 см – по осі прольотної будови.

Сумісну роботу накладної плити з існуючими балками забезпечують за допомогою арматурних петльових анкерів, розташованих вздовж прольоту з кроком 135 см і приварених до оголеної верхньої поздовжньої арматури 2Ø32 мм.

Для підсилення ригелів 3 проміжних опор в їх площині добетонувати і підведені під ригель конусоподібні залізобетонні стіни 4, розширені доверху і об'єднані зі стовпом розпірними трубчастими анкерами, розташованими в два ряди через 70...80 см.

Згідно з проведеними розрахунками на нормовані тимчасові навантаження А15 і НК-100 крайні балки середнього прольоту розширеної прольотної будови виявились перевантаженими до 30%, тому проектом реконструкції було передбачене їх підсилення шляхом наклеювання стрічок з вуглецевих композитів CFRP.

Для підсилення використані три стрічки CFRP типу M1214 поперечним перерізом 120×1,4 мм, приклеєні на нижню і бокові поверхні знизу відновленої частини ребра балки (рис. 3 а, б, в). За допомогою двокомпонентного епоксидного клею SikaDur 30. Технологія наклеювання повністю відповідає нормованим вимогам фірми-виробника Sika [9, 15] і проводилась під керівництвом її представника. Наклеювали стрічки з підвісних риштувань. Цикл робіт з наклеювання однієї стрічки довжиною майже 22 м складав 20...25 хв., а шість стрічок на дві балки з технологічними перервами наклеєні за 6 год.

Проведені випробування моделей підсилених залізобетонних балок [7, 8] показали, що надійна сумісна робота стрічок і розтягнутої зони балок можлива тільки при забезпеченні надійного їх анкерування на приопорних ділянках, так як анкерування стрічок втрачається внаслідок руйнування від зрізу шару бетону між існуючою арматурою і наклеєними стрічками [8, 11]. Тому для уникнення такого явища вперше був застосований спосіб додаткового

підсилення приопорної ділянки цього шару бетону шляхом приклеювання в зоні анкерування стрічок двох шарів композитних полотен 7 типу Wгар з напрямком робочих волокон, перпендикулярним до напрямку стрічок (рис. 3 а, в, г). Крім того, для запобігання відриву поверхневого шару бетону ребра балки разом з наклеєними полотнами і стрічками в цій зоні додатково вклеювали у просвердлені скрізні канали стержневі анкери 5 і включали їх в сумісну роботу з бетоном і наклеєними полотнами за допомогою “розеток” 6, утворених на бокових поверхнях ребра балки з відрізків полотна Wгар, яким при вклеюванні обмотували стержні. Виводили його назовні на бокові поверхні балок і у вигляді розгорнутих “розеток” наклеювали на репрофільовані бетонні поверхні ребра.

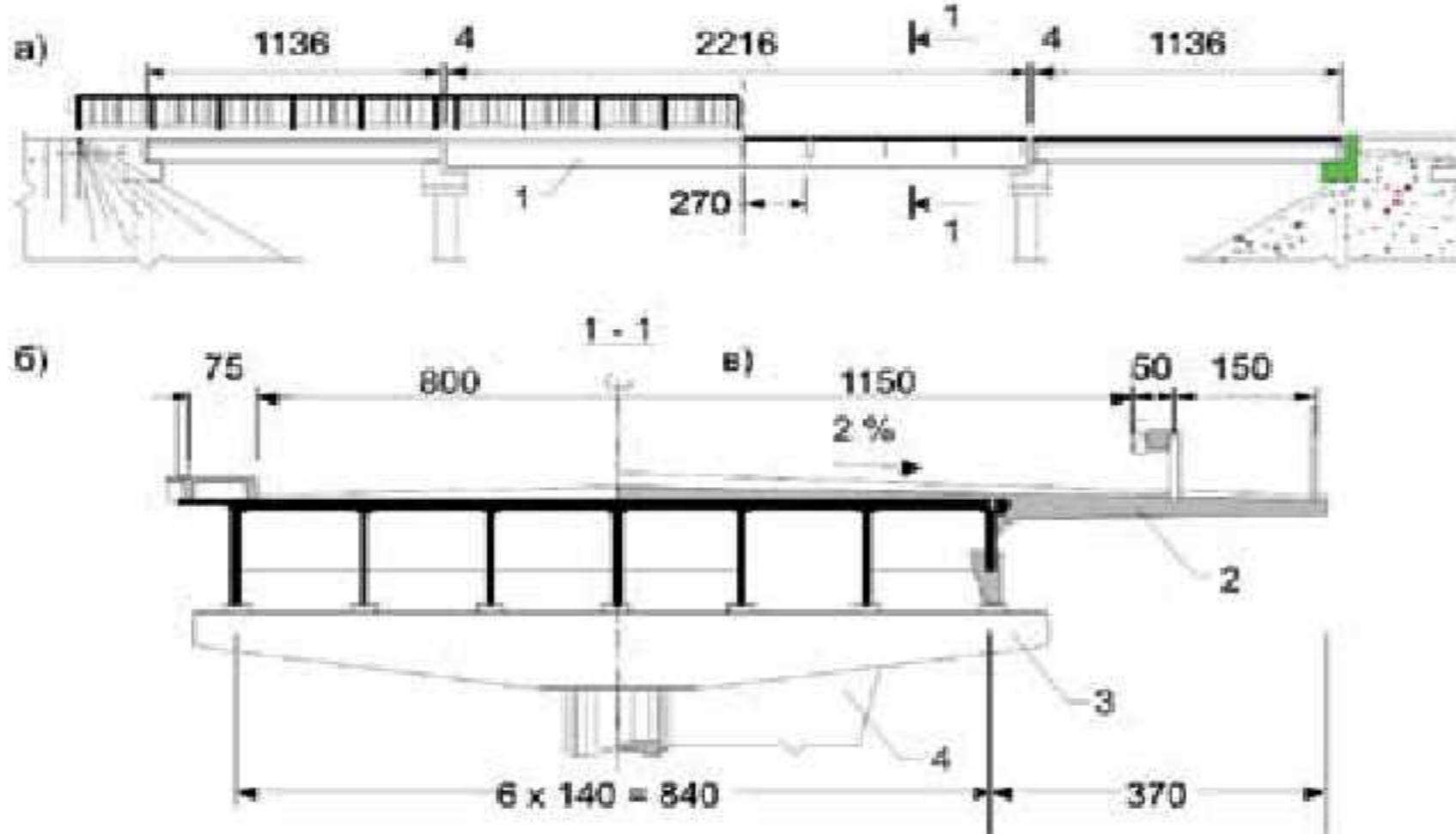


Рис. 2. Конструкція існуючої (а, б) і розширеної (в) прольотної будови: 1 - існуюча прольотна будова; 2 - монолітна залізобетонна накладна плита; 3 - ригель проміжної опори; 4 - залізобетонна конусоподібна стінка підсилення проміжної опори

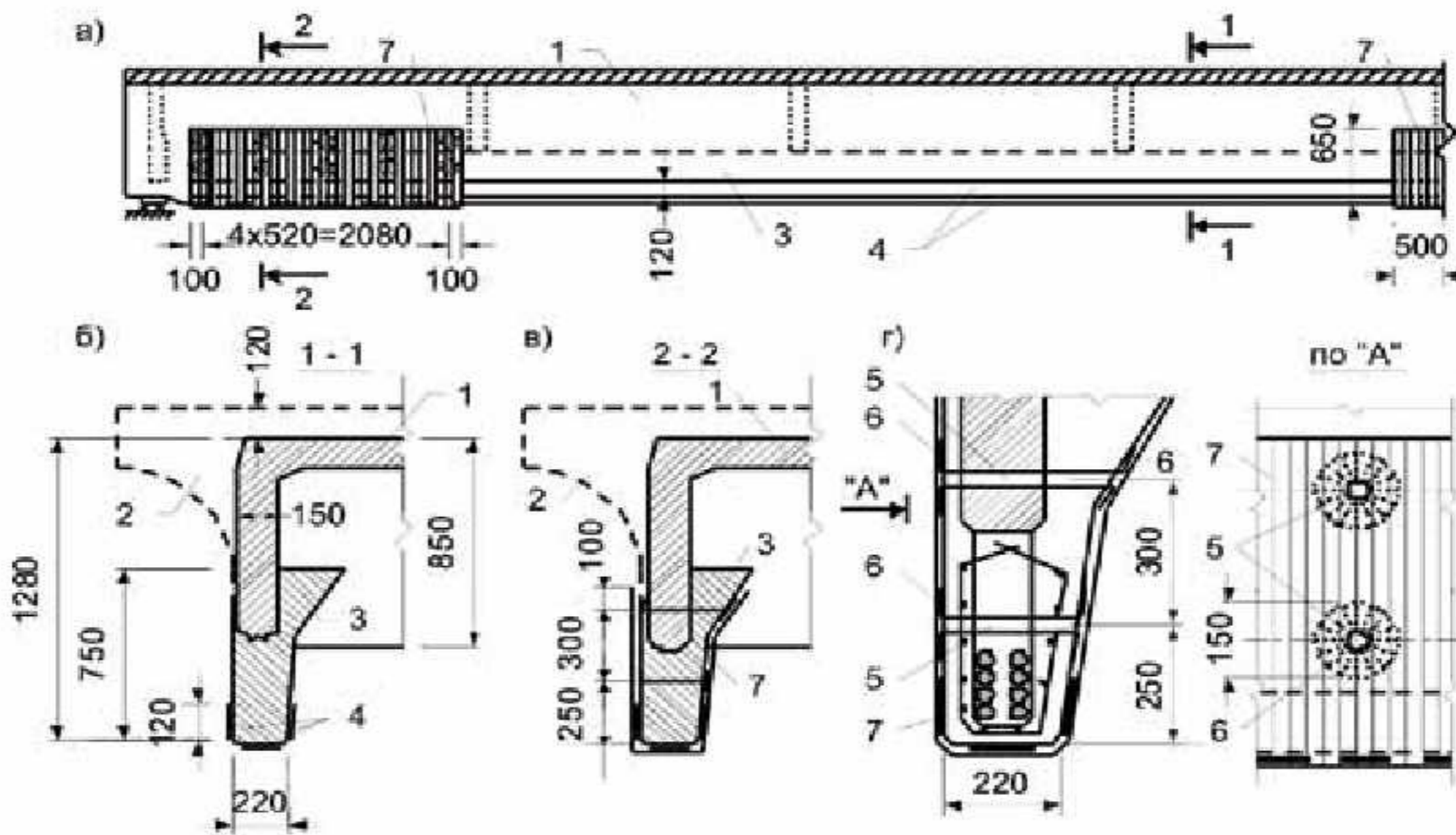


Рис. 3. Ремонт і підсилення крайніх балок прольотної будови середнього прольоту приклеюванням стрічок CFRP: а - елементи підсилення балки; б, в - поперечні перерізи відремонтованої і підсиленої балки; г-деталь анкерування стрічок CFRP. 1-крайня балка; 2- монолітна залізобетонна накладна плита; 3-відновлення видаленого бетону повторним бетонуванням; 4-три стрічки CFRP типу M1214; 5-анкерні стержні; 6-наклеєні на поверхню балок розетки з полотна Wrap; 7-два шари полотна Wrap для анкерування стрічок

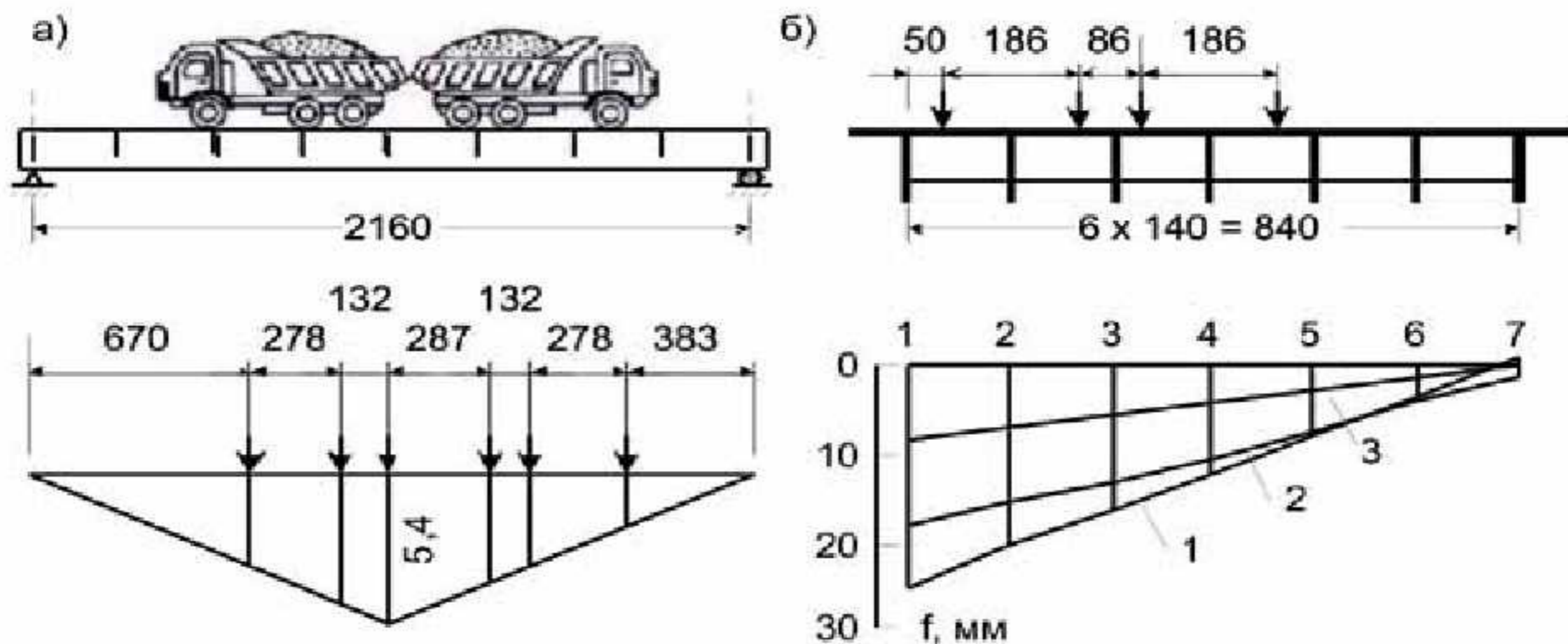


Рис. 4. Статичні випробування прольотної будови середнього прольоту: а розташування випробувального навантаження уздовж прольоту; б розташування навантаження поперек прольоту і епюри прогинів балок до (1) і після підсилення (2) стрічками CFRP до влаштування накладної плити та після влаштування накладної плити (3)

ВИПРОБУВАННЯ ПРОЛЬОТНОЇ БУДОВИ МОСТА

Випробування проводили тричі – до підсилення композитами, після підсилення до влаштування накладної плити, і кінцево після виконання всіх робіт з реконструкції. Метою їх було встановлення ефекту підсилення балок і впливу накладної плити на роботу прольотної будови і зміну прогинів балок.

При випробуваннях приймали одну схему навантаження прольотної будови автомобілями КамАЗ для одержання найбільшої навантаженості крайньої балки (рис.4 а, б).

Розподіл прогинів між балками (рис. 4 б) до (1) та після підсилення (2) близький до лінійного, що свідчить про значну поперечну жорсткість прольотної будови з монолітними діафрагмами. Після підсилення прогини балок дещо зменшились. Так до підсилення прогин крайньої балки становив 25,83 мм (1/836 прольоту), а після

підсилення зменшився до 17,64 мм (1/1214 прольоту), тобто на 31,7%, що співпадає з результатами випробувань окремої непідсиленої і підсиленої стрічками CFRP балок. Після включення в роботу накладної плити при тій же схемі навантаження прогини крайньої балки зменшилися до 8,9 мм, тобто на 65,5% мм порівняно з початковим.

В крайній балці до підсилення існуючі тріщини з розкриттям 0,07...0,12 мм після прикладання навантаження збільшилися до 0,25 мм. Після підсилення у відремонтованій крайній балці при випробуваннях тріщини не виявлені, що свідчить про вплив підсилення стрічками CFRP на збільшення тріщиностійкості балок.

ВИСНОВКИ:

1. Проведені експериментальні дослідження зміцнених композитами балок і їх застосування на практиці при підсиленні прольотної будови першого на Україні залізобетонного моста після тривалого періоду його інтенсивної експлуатації з одночасним ремонтом і відновленням підтвердили технологічність, простоту, малі трудозатрати, короткі терміни і низьку вартість виконання робіт.
2. Випробування прольотної будови до та після підсилення показали його ефективність в

підвищенні головних експлуатаційних показників залізобетонних балок – міцності, жорсткості і тріщиностійкості.

3. Система підсилення мостових конструкцій приклеюванням композитних стрічок і полотен може знайти застосування в Україні в першу чергу з огляду на просте виконання, а також значну кількість об'єктів, які потребують відновлення і підсилення. Для цього необхідно створити відповідну нормативну базу і спеціалізацію мостобудівельних організацій на нові технології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Загора А.П. Композитные материалы в мостостроении / А.П. Загора // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наук. праць. - К., 2002. - Вип.65. - С. 31-42.
2. Міцність і деформативність залізобетонних мостових балок, підсиленних неметалевою арматурою / [Кваша В.Г., Мельник І.В., Климпуш М.Д., Шевчик О.] / Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля: зб. наук. праць. - Львів, 2001.
3. Кваша В.Г. Аналіз експлуатаційного стану, довговічності і надійності з умов витривалості мостових балок існуючих мостів / Кваша В.Г., Мельник І.В., Климпуш М.Д. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. — К.: НДБК, 1999. - Вип. 50. - С. 482-488.
4. Кваша В.Г. Експериментальне дослідження залізобетонної мостової балки за ТП вип. 56, підсиленої композитною стрічкою з вуглецевих волокон CFRP / Кваша В.Г., Мельник І.В., Климпуш М.Д. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наук. праць. - К., 2001. - Вип.62. - С. 267-271.
5. Кваша В.Г. Сучасні технології ремонту і підсилення мостів / В.Г. Кваша, О.В. Панченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наук. праць. - К., 2002. - Вип. 65. - С. 45-50.
6. Климпуш М.Д. Проблеми ремонту і реконструкції мостів на дорогах загального користування України / М.Д. Климпуш // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: НДБК, 2001. - Вип. 54. - С.39-43.
7. Климпуш М.Д. Дослідження залізобетонних балок з багаторядовою арматурою, підсиленних композитними полімерами / М.Д. Климпуш // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. - Рівне, 2001. - Вип. 7. - С. 252-260.
8. Климпуш М.Д. Випробування залізобетонних балок, підсиленних композитними матеріалами, статичним і багаторазовим навантаженням / Климпуш М.Д., Кваша В.Г., Мельник І.В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наук. праць. - К., 2002. - Вип.64. - С. 101-105.
9. Хаютин Ю.Г. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций / Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. // Бетон и железобетон. - М., 2002. - №6. - С.17-20; 2003.- №1. - С. 25-29.
10. Kamińska M.E. Stan graniczny nośności na zginanie żelbetowych belek, wzmocnionych taśmami CFRP / M.E. Kamińska, R. Kotynia // XLIV konf. naukowa KILiW PAN i KN PZITB Problemy naukowo-badawcze budownictwa. - Tom IV, Konstrukcje betonowe. - Krynica, 1998. - S. 95 - 102.
11. Łagoda M. Zalecenia dotyczące wzmocnienia konstrukcji mostowych przez przyklejanie zbrojenia zewnętrznego / M. Łagoda. - Warszawa, 2002. - 62 s.
12. Radomski W. Nowe materiały w mostownictwie / W. Radomski // XLV Konf. naukowa KILiW PAN i KN PZITB Problemy naukowo-badawcze budownictwa. - Tom 6, Mosty. - Krynica, 1999. - S.281-302.
13. Siwowski T. Wzmocnienie mosta żelbetowego za pomocą taśm kompozytowych z włóknami węglowymi (CFRP) / T. Siwowski // III ogólnopolska konf. mostowców. - Wisła, 1999. - S.383-392.
14. Machida A. Recent Developments in Repair and Strengthening of Concrete Structures / A. Machida, H. Mutsuyoshi, B. Adhikary. // 16th congress of IABSE. - Lucerne, 2000.
15. Varastehpour H. Rapid Repair by In Situ Polymerization of CFRP / H. Varastehpour // 16th congress of IABSE. - Lucerne, 2000.