

металевих конструкцій покриття. Тильна частина вирішена у вигляді монолітної залізобетонної склепінчастої плити по металевих фермах криволінійного обрису. Середня частина вирішена у вигляді консольної гладкої тонкостінної залізобетонної оболонки прогоном 14 м та підйомом 8 м. Консоль оболонки змінна по висоті з максимальним вильотом на гребені 8 м.

Сьогодні завершується коригування проекту Львівського стадіону до Євро-2012 у збірно-монолітному варіанті. Використання попередньо напружених порожнистих збірних плит покриття дає змогу значно скоротити терміни будівництва і масу будівлі.

УДК 624.21

В.Г. Кваша

Національний університет “Львівська політехніка”

ЗБІРНО-МОНОЛІТНІ КОНСТРУКЦІЇ РЕКОНСТРУЙОВАНИХ І РОЗШИРЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТІВ

© Кваша В.Г., 2010

Описані конструктивні рішення розширення різних типів балкових залізобетонних прольотних будов плоскою монолітною залізобетонною накладною плитою. Наведені результати їх випробувань до та після підсилення крайніх балок і після розширення перед здаванням реконструйованих мостів в експлуатацію.

Метою роботи є спроба узагальнити досвід галузевої науково-дослідної лабораторії №88 Національного університету “Львівська політехніка” з проектування і впровадження системи розширення прольотних будов плоскою монолітною залізобетонною накладною плитою у разі забезпечення їх габаритів і вантажопідйомності згідно з вимогами чинних норм проектування нових мостів. У разі забезпечення сумісної роботи монолітної залізобетонної плити зі збірними існуючими балками розширена прольотна будова за характером роботи і напруженого стану несучих елементів перетворюється у збірно-монолітну конструкцію з двостадійним сприйняттям постійних і тимчасових навантажень. Нижче наведені характерні приклади конструктивних рішень розширення найпоширеніших в Україні типів монолітних і збірних прольотних будов з балок без попереднього напруження і попередньо напружених плоскою монолітною залізобетонною накладною плитою, застосування якої в комплексі вирішує основні завдання реконструкції моста: забезпечення необхідної ширини проїжджої частини і тротуарів, збільшення загальної поперечної жорсткості прольотної будови і поліпшення її просторової роботи, підсилення існуючих балок до необхідної несучої здатності і жорсткості, покращання динамічних характеристик, заміна елементів мостового полотна з відмовою від, як правило, дефектних деформаційних швів, покращання умов і комфортності руху, надання споруді сучасного архітектурного вигляду тощо.

У групу реконструкції увійшли збудовані у великій кількості (до 80%) і найбільше розповсюджені на мережі доріг України типи залізобетонних прольотних будов малих і середніх прольотів (до 25...33 м) масового будівництва (рис. 1), а саме: монолітні прольотні будови довоєнної і першого десятиліття повоєнної побудови (рис. 1,а) [3,4,6]; збірні залізобетонні діафрагмові (рис. 1,б,в) і бездіафрагмові (рис. 1,г) прольотні будови з багаторядковою каркасною арматурою без попереднього напруження, збудовані у великій кількості в 50–60-ті роки минулого століття збірні перехресно-ребристі прольотні будови з попередньо напружених балок за типовими проектами 50–60-х років, серед яких найбільшого розповсюдження набули струнобетонні балки завдовжки 11,36 м, 16,76 м, 22,16 м (рис. 1,д), армовані пакетом струн з високоміцного дроту Ø3...5 мм, а також збірні залізобетонні балки завдовжки до 33 м, армовані пучками з високоміцного дроту діаметром 5 мм з натягом арматури на упори і на бетон (рис. 1,е,є).

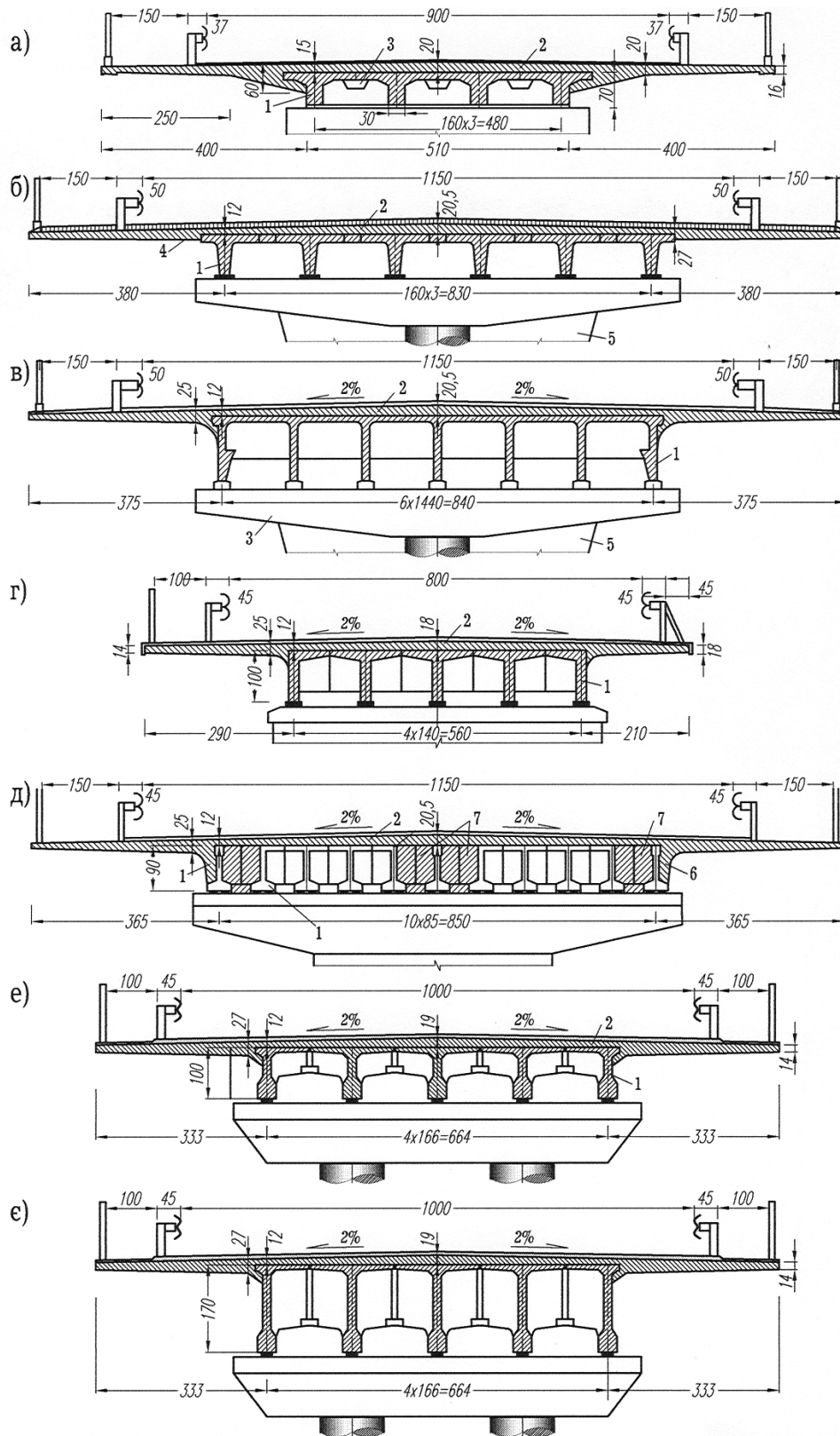


Рис. 1. Схеми розширення прольотних будов різних типів монолітною залізобетонною накладною плитою:
 1 – існуючі прольотні будови; 2 – монолітна залізобетонна накладна плита з консолями;
 3 – шпорочне з'єднання накладної плити з існуючими балками; 4 – вмонтований клеєтержневий анкер;
 5 – залізобетонні стіни підсилення ригеля опори; 6 – обетонування фасадної поверхні крайньої балки;
 7 – монолітні вставки підсилення балок

Переважна більшість прольотних будов з попередньо напружених балок має задовільний технічний стан і достатню вантажопідйомність, але не задовольняє нормовані вимоги за габаритом проїжджої частини і потребує розширення, а за наявності дефектів в балках і їх підсилення. Крім того результати випробувань показали їхні незадовільні динамічні характеристики. За швидкостей руху транспортних засобів у діапазоні 20–40 км/год, що є характерним для вузьких мостів, існує збіжність частот власних і вимушених коливань, тобто робота балок в найбільш невідгідному, резонансному режимі. Тому для виведення їх з резонансної зони частот і амплітуд коливань необхідне збільшення експлуатаційної швидкості транспортних засобів і маси прольотних будов, що забезпечує розширення прольотних будов накладною плитою.

Прольотні будови всіх перерахованих типів розширені за однією конструктивною схемою – плоскою монолітною залізобетонною плитою з консолями завдовжки до 3–4 м залежно від ширини існуючої прольотної будови і необхідного габариту розширення. Конструкція накладної плити зрозуміла з рис. 1.

Застосування монолітної накладної плити особливо ефективно в комбінації з перетворенням розрізної системи прольотної будови в нерозрізну, що дозволяє зміною її статичної схеми істотно розвантажити існуючі балки в прольотах, а також уникнути влаштування деформаційних швів. Цей варіант розширення реалізований під час реконструкції моста, поперечний переріз якого показаний на рис. 1,б. Існуючий залізобетонний міст, мав конструктивну схему $4 \times 16,8$ м, загальною довжиною 73,04 м з габаритом $\Gamma-6+2 \times 0,75$ м. Нерозрізність над проміжними опорами (рис. 2) створювали бетонуванням у проміжках між опорними діафрагмами існуючих балок 1 потужних армованих опорних ребер 3, об'єднаних з накладною плитою 2, яку в надопорних ділянках для сприйняття опорного згинального моменту додатково армували сітками.

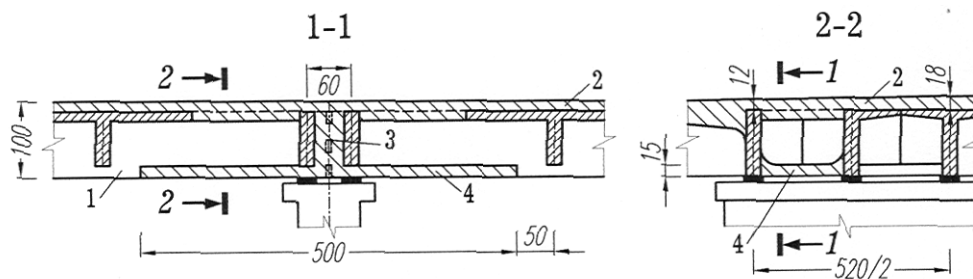


Рис. 2. Деталь надопорної ділянки прольотної будови у разі перетворення її з розрізної в нерозрізну
1 – існуючі балки; 2 – монолітна залізобетонна накладна плита; 3 – надопорне поперечне ребро;
4 – нижня плита стиску

Для сприйняття опорного моменту на приопорній ділянці між суміжними крайніми найбільше навантаженими балками влаштована нижня плита стиску 4. Отже, ребра балок разом з нижньою і верхньою плитами утворюють на цій ділянці коробчастий переріз, що значно збільшує поперечну жорсткість прольотної будови.

Результати перевірочних розрахунків крайніх балок прольотних будов завдовжки 22–33 м після розширення і включення в роботу накладної плити мали недостатню несучу здатність на сприйняття нормованих тимчасових навантажень. Тому для її забезпечення при реконструкції виконане підсилення цих балок за новітньою технологією фірми Sika наклеюванням в нижній розтягнутій зоні стрічок з вуглецевих композитів CFRP як додаткового зовнішнього армування.

Об'єднання накладної плити з існуючими балками

Сумісну роботу накладної плити з існуючими балками і передавання зсуваючих сил в горизонтальних швах сполучення, яка забезпечує напружено-деформований стан збірно-монолітного перерізу, близький до відповідного стану суцільного, забезпечують об'єднанням спеціальними анкерними елементами, які сприймають зсуваючі і відриваючі зусилля, а також динамічні дії. Залежно від типу розширюваної прольотної будови застосовували різні типи дискретних зв'язків.

У разі розширення монолітної прольотної будови за рис. 1,а накладну плиту об'єднували з існуючими поздовжніми і поперечними балками через плиту проїжджої частини шпоночними з'єднаннями з жорсткою арматурою (рис.3, а). Шпонки розміщували вздовж і впоперек прольоту між ребрами балок в пробитих в існуючій плиті вікнах розмірами 30×30 см, в які вертикально до площини зрізу між старим і новим бетоном заводили жорстку арматуру з кутників. Для забезпечення надійної роботи шпонок на відрив і закриття відколів на нижній поверхні плити під час пробивання в ній вікон з боку її нижньої поверхні влаштовані армовані анкерні потовщення. Шпонки бетонували одночасно з бетонуванням накладної плити.

В збірних прольотних будовах (рис.1, б, в, г) сумісну роботу накладної плити з існуючими балками забезпечували їх об'єднанням за допомогою гнучких петлевих анкерів, приварених до місцево оголеної верхньої поздовжньої арматури 2Ø32мм в кожному ребрі (рис.3, б).

У прольотній будові із струнобетонних балок (рис. 1,д) накладну плиту об'єднували з існуючими балками за допомогою жорстких анкерів з кутників, вмонтованих у поздовжніх монолітних вставках підсилення балок під час їх бетонування (рис. 3,в).

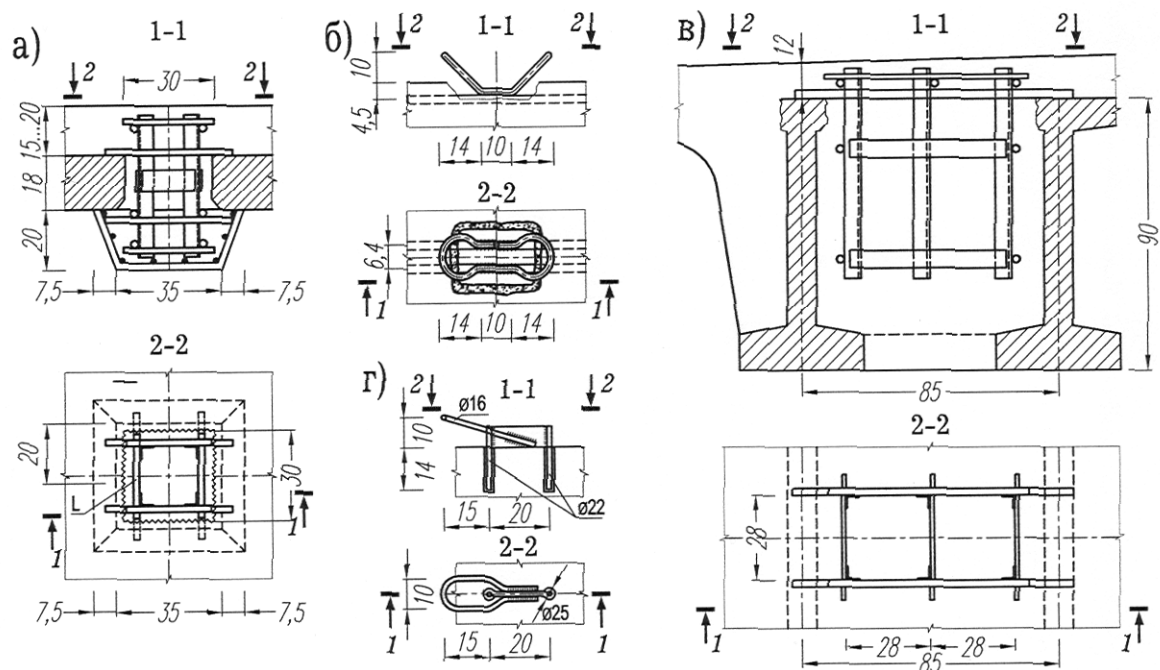


Рис. 3. Деталі об'єднання монолітної залізобетонної накладної плити з існуючими балками:

а – шпоночне з'єднання з жорсткою арматурою і нижнім анкерним потовщенням; б – гнучкі петлеві анкери, приварені до місцево оголеної арматури 2Ø32; в – вмонтовані жорсткі анкери з кутників; г – петлеві анкери, закріплені до клеєштирьових упорів

У прольотних будовах за рис. 1,е,є з попередньо напружених балок, армованих пучковою арматурою, накладну плиту об'єднували для сумісної роботи з існуючими балками петлевими анкерами, привареними до жорстких клеєштирьових упорів, кожен з яких закріплений до ребра балок двома стержнями діаметром 22 мм, вкесеними цементно-епоксидним розчином SikaGroud 311 в заздалегідь висвердлені канали Ø25 мм на глибину 140 мм (рис. 3,г).

Наклеювали стрічки CFRP після видалення всіх елементів мостового полотна за мінімального навантаження балок тільки їх власною вагою, дотримуючись вимог технології Sika. Перед наклеюванням стрічок виконана репрофіляція і вирівнювання бетонної основи в межах наклеювання комплексною системою матеріалів Sika Monotor, а також очищення і знежирення її спеціальним розчином. Підготовчі роботи і наклеювання виконували з підвісних риштувань. Час наклеювання стрічок на одну балку з технологічними перервами становив до 4...6 год. Після наклеювання на поверхню стрічок наносили захисний шар з епоксидно-цементного розчину.

Для бетонування консолей накладної плити у разі розширення монолітної прольотної будови за схемою рис. 1,а влаштували дерев'яну опалубку, яку збирали на місці з окремих брусків і дощок укладених зверху дерев'яних риштувань, стояки яких обпирали на дерев'яні лежневі опори, укладені на ущільнену ґрунтово-щебелеву основу. Незважаючи на ретельну підготовку і закріплення елементів опалубки, дощатий настил був виконаний без щільного підганяння дощок, які на окремих ділянках прогинались під вагою укладеного бетону, в непідігнані шви між дошками запливало цементне тісто. Тому нижня поверхня консольної ділянки накладної плити мала нерівності, напливи бетону, численні раковини, які погіршили її естетичний вигляд. Загалом використання дерев'яної опалубки для бетонування консолей не забезпечує належної якості відкритих поверхонь і їх естетичного вигляду.

Тому для бетонування консолей накладної плити на наступних об'єктах за схемами рис. 1,б,в,г,д та ін. в ГНДЛ-88 розроблена інвентарна підвісна металева опалубка, принципова схема якої показана на рис. 4,а. Опалубка складається з підвісної несучої системи у вигляді металевих спарених ферм 1, підвішених до балок прольотної будови через 2,7 м вздовж прольоту (в створі діафрагм) і для забезпечення жорсткості об'єднаних між собою вздовж прольоту зв'язковими фермами. На несучій системі монтують металеві блоки опалубки 2 з просторових ферм, покритих по контактній з бетоном поверхні металевим листом завтовшки 3 мм. Просторове положення блоків опалубки регулюють болтовими і клиновими пристроями, розташованими між спареними фермами.

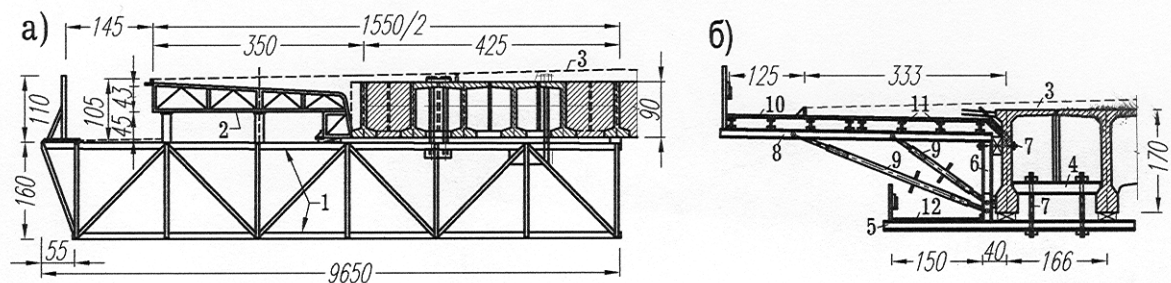


Рис. 4. Схеми підвісної опалубки ГНДЛ-88 (а) і фірми DoKa (б), для бетонування консолей накладної плити 1 – підвісні металеві ферми; 2 – блоки опалубки; 3 – контур накладної плити; 4 – опорні поперечини; 5,8 – нижній і верхній ригелі; 6 – стійка; 7 – стяжні болти; 9 – шпindelьні розкоси; 10 – дерево-фанерні плити; 11 – балки Н20Р; 12 – нижній робочий настил

Інший варіант опалубки використали для бетонування консольних ділянок накладної плити під час розширення прольотних будов за схемами рис. 1,е,є (рис.4,б) Опалубку зібрали з стандартних елементів несучої опалубки TOP 50 фірми DoKa: сталевих ригелів WS10 і шпindelьних розкосів різної довжини, з яких була змонтована підвісна несуча система опалубки (рис. 4,б), основним несучим елементом якої є опорні поперечини 4, обперті на консольні звіси нижньої полиці балок. До них болтами 7 притягували нижній ригель 5 з стандартних елементів WS10. Стійки 6 впирали в ригель 5 і притягували болтами 7 через дерев'яні прокладки до ребра крайньої балки. Верхній ригель 8 обпирали на стійку 6 і підтримували шпindelьними розкосами Т6 і Т7 (9), якими регулювали проектне положення верхнього ригеля. Обшивка опалубки 10 з тришарових дерево-фанерних плит 3-SO 21 мм, обпертих і закріплених цвяхами до стандартних балок Н20Р (11). Комплект об'єднувальних і кріпильних елементів опалубки підібраний з номенклатури виробів фірми DoKa.

Технологія бетонування накладної плити на розглянутих об'єктах реконструкції була різною. Так, на мостах за схемами рис. 1, а, д (монолітна і струнобетонна прольотні будови) через неможливість закриття руху і влаштування об'їзного моста накладну плиту бетонували почергово на обох половинах моста, використовуючи вільну смугу існуючої або заново влаштованої на забетонованій ділянці плити проїжджої частини для одностороннього пропуску автотранспорту, у разі забезпечення його регулювання з заданою швидкістю, інтервалом і в межах допустимої ваги транспортних засобів.

На інших об'єктах (рис. 1, б, в, г, е, є) плити бетонували при закритому русі одночасно на всю ширину моста, у разі використання опалубки за схемою рис. 4, а – захватками на наявній її комплект завдовжки до 24,0 м. Показовим і технологічно найсучаснішим було бетонування плити на мосту за схемою рис. 1, е, є. Двосторонню підвісну опалубку (рис. 4, б) з елементів фірми Дока встановлювали відразу на всю довжину моста, також на всі балки прольотних будов вмонітували клеєштирьові анкери об'єднання з накладною плитою і виконували її армування. Після закінчення цих робіт бетонування накладної плити було безперервним на всю її площу розмірами 13,3 × 84 м. Бетонну суміш подавали бетононасосами, а її консистенцію з осадкою конуса 18–20 см забезпечували пластифікуючими добавками за рекомендаціями ДерждорНДІ. Склад бетонної суміші Ц:П:Щ=1:1,56:2,38 при В/Ц=0,39–0,41.

Після виконання основних робіт на останньому етапі реконструкції виконували комплекс ремонтних і відновлювальних робіт з ліквідації пошкоджень і дефектів прольотних будов і опор, а також захисту їх від агресивних впливів зовнішнього середовища та можливої корозії під час майбутньої експлуатації. Для їх виконання і забезпечення якості європейського рівня (типу «Євроремонт»), як експеримент, застосовували ремонтно-відновлювальні системи з високоякісних і довговічних матеріалів відомих фірм Sika, Gemite Produkt inc тощо. Як приклад, на рис. 5 показаний загальний вигляд реконструйованого шляхопроводу (рис.1,в,г) після виконання такого ремонту. Аналогічні ремонти виконані і на інших описаних об'єктах реконструкції.



Рис. 5. Загальний вигляд шляхопроводу після реконструкції

Основні види ремонтних робіт: видалення зруйнованих і прокородованих шарів бетону; відкриття арматури, піскоструменева її очищення від корозії та захист антикорозійним покриттям; піскоструменева обробка відновлювальних поверхонь бетону; нанесення ремонтних матеріалів мокрим торкретуванням або оштукатурюванням; фарбування відкритих поверхонь захисними фарбами.

Основні групи ремонтних матеріалів: бетони і розчини для торкретування, заповнення раковин, репрофіляції поверхонь, ін'єктування тріщин; покриття з інгібіторами корозії для антикорозійного захисту арматури; фарби і покриття для захисту відремонтованих і існуючих бетонних поверхонь від карбонізації та агресивних впливів зовнішнього середовища; ізоляційні матеріали для якісної ізоляції проїжджої частини і тротуарів.

В основу вибору ремонтних матеріалів був покладений принцип об'єктивних економічних розрахунків за основним принципом господарювання в умовах ринкової економіки – ціна ремонтних систем (ціна + технологія) зарахована до гарантованого міжремонтного періоду експлуатації. Досвід застосування якісних ремонтних систем відомих міжнародних фірм показує, що здебільшого дорогі, але високоякісні матеріали є більш рентабельними, ніж дешеві матеріали і технології, оскільки малий термін виконання робіт і тривалий післяремонтний період беззатратної експлуатації є найважливішим економічним фактором.

Проведена апробація на описаних об'єктах фірмових матеріалів і технологій ремонту показала, що вони є ефективними, доступними за вартістю і можуть знайти широке застосування в Україні, насамперед через простоту виконання робіт, а також з уваги на велику кількість об'єктів, які потребують ремонту.

Найбільші сумніви виникають у можливості розширення монолітною накладною плитою прольотних будов за рис. 1,б,в, а також попередньо напружених довжиною 33,0 м (рис. 1,є). Тому під час реконструкції для встановлення ефективності прийнятих проектних рішень виконаний комплекс їх порівняльних випробувань до та після підсилення крайніх балок, а також після влаштування накладної плити перед здаванням моста в експлуатацію. До розширення випробування проводили після видалення всіх елементів існуючого мостового полотна, тобто у разі мінімального навантаження тільки від власної ваги балок.

Прийняті етапи випробувань дали можливість безпосереднім порівнянням прогинів балок за однакою схемою випробувального навантаження оцінити вплив включення в роботу з існуючими балками стрічок підсилення як наклеєного додаткового зовнішнього армування і монолітної залізобетонної накладної плити на міцність, жорсткість і тріщиностійкість балок, тобто виявити ефект підсилення і розширення.

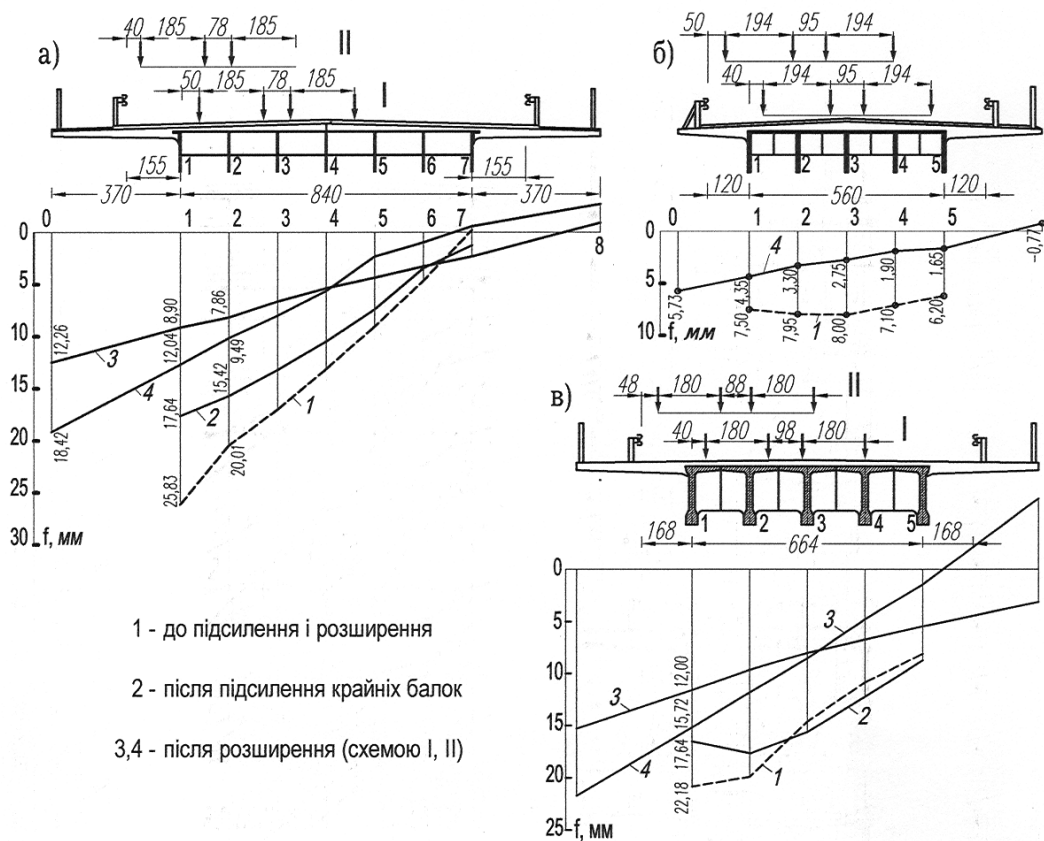


Рис. 6. Схеми випробування прольотних будов статичним навантаженням та епюри прогинів балок до (1) та після підсилення (2) і розширення (3,4)

Усі прольотні будови випробовували за однаковими схемами статичним навантаженням з двох колон автомобілів вагою 22,5–30 т. Уздовж і поперек прольоту автомобілі встановлювали в найневигодніше положення за відповідними лініями впливу для одержання максимальної навантаженості крайніх (лівої і правої) балок (рис. 6, а, б, в). До підсилення і розширення прольотні будови випробовували за схемою I з максимальним наближенням колон до осі крайньої балки. Після влаштування накладної плити випробування повторювали за цією самою схемою, що дало можливість безпосереднім порівнянням прогинів виявити ефект включення в роботу накладної плити, а також здійснювали нову схему II з максимальним наближенням колон автомобілів до

бар'єру безпеки з виходом крайніх коліс навантаження на консольну ділянку накладної плити, що відповідало максимальній навантаженості як крайніх балок, так і консолі. Прийняті схеми охопили найневигідніші випадки навантаження прольотних будов у режимі експлуатації, тобто дали можливість перевірити їх несучу здатність, жорсткість і тріщиностійкість. Результати випробувань представлені епіюрами експериментальних прогинів, величини і характер розподілу яких між балками дає уявлення про характер просторової роботи прольотних будов та жорсткість і ступінь навантаженості окремих балок.

Під час випробувань прольотної будови за схемою рис. 1, в прогин крайньої балки до підсилення становив 25,83 мм. (1/836 прольоту), після підсилення за такої самої схеми навантаження зменшився до 17,64 мм. (1/1224 прольоту), тобто на 34,7 %, а після включення в роботу накладної плити ще зменшився до 8,9 мм, тобто в 1,98 раза порівняно з прогином цієї самої балки після її підсилення. У разі максимальної навантаженості прольотної балки за схемою II її прогин збільшився до 12,04 мм., але все ж був в 1,46 раза менший, ніж до включення в роботу накладної плити.

Прогин крайньої балки прольотної будови за рис 1, б до розширення під час навантаження за схемою I становив 7,5 мм. Після розширення і створення нерозрізності під час навантаження за схемою II (ліва і права) він зменшився до 4,35 мм, тобто в 1,72 раза, що свідчить про значний ефект включення в роботу накладної плити і зміни статичної схеми прольотної будови у збільшенні її жорсткості і вантажопідйомності. Випробування також підтвердили, що після реконструкції прольотні будови працювали за нерозрізною статичною схемою, оскільки в суміжних прольотах зафіксовані як прогини, так і вигини балок.

До підсилення середній прогин балок 1 і 5 прольотної будови за рис. 1, є під час навантаження за схемою I становив 22,18 мм, після підсилення за тієї самої схеми навантаження зменшився до 17,85 мм. (на 19,5 %). Після включення в роботу накладної плити прогин цих самих балок зменшився до 12,0 мм. (на 45,9 %). У разі максимальної навантаженості крайніх балок (схема II) їх середній прогин становив 15,92 мм., що на 23,2 % менше від прогину цих самих балок до підсилення і розширення прольотної будови, і становив 1/2033 прольоту при допустимому короткочасному прогинові від тимчасових навантажень 1/400 прольоту.

Необхідно також відзначити, що у всіх випробовуваних прольотних будовах після включення в роботу накладної плити існує майже лінійний розподіл прогинів між балками, що є свідченням значного збільшення їх поперечної жорсткості.

Загалом наведені експериментальні дані з порівняння прогинів балок до та після розширення прольотних будов переконливо свідчать про істотний вплив накладної плити на збільшення вертикальної жорсткості балок, а абсолютні величини прогинів про наявність значного резерву вантажопідйомності і можливість експлуатації реконструйованих прольотних будов на нормовані тимчасові навантаження чинних норм проектування нових мостів.

1. Виконана реконструкція мостових об'єктів довела реальну можливість застосування монолітної залізобетонної накладної плити для розширення найпоширеніших в Україні типів прольотних будов малих і середніх прольотів у разі забезпечення їх вантажопідйомності на нормовані тимчасові навантаження чинних норм проектування нових мостів з необхідним в окремих випадках підсиленням крайніх балок зовнішнім армуванням з наклеєних композитних стрічок CFRP.

2. Особливо ефективним є розширення багатопрольотних мостів з одночасною зміною статичної схеми з розрізної в нерозрізну. Розроблені конструктивні рішення технологічні, забезпечують необхідну надійність і вантажопідйомність, а також можливість продовження терміну експлуатації збірних залізобетонних прольотних будов співрозмірного з новозбудованими мостами.

3. Випробування прольотних будов підтвердили, що їхні несуча здатність і деформативність достатні для сприйняття нормованих тимчасових навантажень, на які було запроектовано їхню конструкцію.