

Ю. М. Собко^{1,2}, О. В. Панченко², А.Г.Сінякін^{2,3}, Д. Й. Тарнопольський⁴,
В. М. Вітрук⁴, О. В. Кот⁴, О. В. Войцехівський^{5,6}, Д. М. Байда^{5,6}

¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автомобільних доріг та мостів

²ТОВ “Сіка Україна”, м. Київ,

³Харківський національний університет будівництва та архітектури,
⁴“Містпроект” м. Київ,

⁵Вінницький національний технічний університет,

⁶ТОВ “Гервін” м. Вінниця

ТЕХНОЛОГІЇ СИКА ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ МОСТІВ

© Собко Ю. М., Панченко О. В., Сінякін А. Г., Тарнопольський Д. Й., Вітрук В. М., Кот О. В.,
Войцехівський О. В., Байда Д. М., 2017

У статті подано опис варіантів реконструкції і розширення габариту проїзду, підсилення і захист конструкцій шляхопроводів на перетині просп. Науки і магістральної вулиці, на перетині вул. Д. Щербаківського з просп. Перемоги, шляхопроводу на Одеській площі у м. Києві, та моста через Пд. Буг у м. Вінниці за технологіями Sika, що дозволило перевести споруди у дискретний стан 1 [3].

Ключові слова: обстеження, ремонт бетону, підсилення вуглепластиками.

Yu. Sobko^{1,2}, O. Panchenko², A. Sinyakin², D. Tarnopolskij³,
V. Vitruk³, O. Kot³, O. Vojcehivskij⁴, D. Bajda⁵

¹Lviv Polytechnic National University,
Department of Roads and Bridges,

²SikaUkraine LLC,

³Kharkiv National University of Construction and Architecture,

⁴Mistproekt LLC,

⁵Vinnitsa National Technical University,

⁶Gervin LLC

SIKA TECHNOLOGIES FOR BRIDGES RECONSTRUCTION

© Sobko Yu., Panchenko O., Sinyakin A., Tarnopolskij D., Vitruk V., Kot O.,
Vojcehivskij O., Bajda D., 2017

The article describes the static scheme and the construction of bridge superstructure overpasses at the interchange of the Nauky Prospectus and the main line of the continuous traffic highway and at the interchange of the Danylo Shcherbakivsky Street from Peremogy Prospectus near Metro Station “Nyvky”, overpass in the Odessa Square in Kyiv and the bridge across the Southern Bug River in Vinnytsia City. The results of the inspection of structural elements of the bridge structures technical condition was also described, and bridges operational state according to the VBN classification were determined. As a result of the analysis, the repair strategy and variants of reconstruction with traffic gabarite and sidewalks widening were determined including the replacement of the bridge deck plate and the design of strengthening system by SikaCarboDur CFRP materials were developed. The technology of RC structures repair and protection using the technologies of SikaMonotop and Sikagard are given. As a result, that allowed us to carry out chosen repair strategy and reconstruction, to do strengthening, repair and protection of RC elements at a high technical level and in the planned short time of construction, to transfer bridge superstructures to the discrete state category 1 [4] and extend the Life Cycle Time.

Key words: bridge beam, concrete repair, CFRP strengthening, concrete protection.

Вступ. Актуальність роботи зумовлена необхідністю реконструкції мостів і шляхопроводів. В м. Києві, за словами мера Віталія Кличка, після обстеження і перевірки технічного стану 70 мостів і шляхопроводів сьогодні перебувають у передаварійному стані – всі ми пам’ятаємо наприклад, аварію Шулявського шляхопроводу. Не краща ситуація в інших населених пунктах по всій Україні.

Огляд наукових джерел і публікацій. Протягом останніх років технології ремонту і реконструкції мостів та шляхопроводів Sika успішно впроваджуються у мостобудівництві України. Південний міст [1], міст “Метро”, Новокозачинський і Гаванський шляхопроводи, пішохідні мости в Києві, мости через р. Латориця у Сваляві й Мукачеві, міст № 1 через р. Дніпро в Дніпропетровську, шляхопровід в с. Вістова Івано-Франківської області [2], шляхопровід через залізницю “Караваєві Дачі” у місті Києві [3], мостовий перехід по греблі Каховської ГЕС [4], під’їзні естакади аеропортів Бориспіль і Донецьк, понад 170 мостів і шляхопроводів на автомагістралях М06, М05, М03 та багато інших – це реальні об’єкти, де фахівці-мостовики використовують, перевіряють і постійно моніторять протягом принаймні 10-ти останніх років якість і надійність матеріалів і технічних рішень Sika для мостів і шляхопроводів.

У цій статті розглянемо деякі приклади реконструкції мостів і шляхопроводів в м. Києві і в м. Вінниці з використанням технологій реконструкції ремонту Sika.

Шляхопровід на перетині проспекту Науки і магістралі безперервного руху. Цей шляхопровід був споруджений у 1990 році під проектні нормативні тимчасові навантаження А11 та НК-80. Статична схема – $4 \times 21,0 + 24,0 + 7 \times 21,0$ м. Усі прольоти шляхопроводу переkritі розрізними балковими прогоновими будовами з напруженим армуванням відповідно до типового проекту СДП інв. № 384/46, які об’єднані в дві температурно-нерозрізні секції. Поперечний переріз прогонової будови складається з 6-ти балок, які встановлені з кроком 2,30...2,36 м та об’єднані між собою шляхом омоноличування плити проїзної частини (рис. 1). Шляхопровід перебуває на перетині просп. Науки та магістралі безперервного руху, бездіафрагмовий, балковий, вільно опертий, регулярної структури.

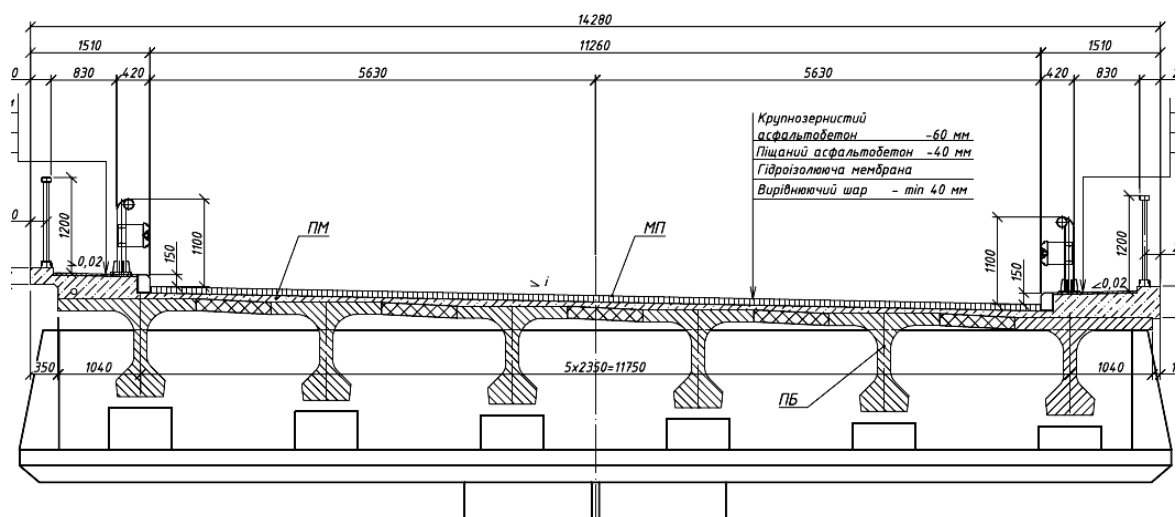


Рис. 1. Поперечний переріз шляхопроводу на перетині проспекту Науки і магістралі безперервного руху після капітального ремонту

За матеріалами технічного обстеження виявлено, що шляхопровід на значній площі вимагає негайного ремонту і заміни елементів мостового полотна. Внаслідок щораз більшої інтенсивності руху транспорту і збільшення кількості великовантажних автомобілів у транспортному потоці там відбувається руйнування захисного шару бетону, гідроізоляції і несучих елементів мостової конструкції. Основними недоліками прогонових будов є наявність оголень та корозії робочого армування, а також наявність значних площ фільтрації води з вилуговуванням бетону по плиті проїзної частини. В незадовільному стані перебувають насадки та підферменники стоянів та ригель та підферменники опори 7 через потрапляння води з деформаційного проміжку. За класифікацією ВБН [5] шляхопровід належить до експлуатаційного стану 4А “обмежено працездатний”, але вимагає негайного ремонту через непрацездатний стан мостового полотна.

У результаті було прийнято рішення про необхідність розробки проекту капітального ремонту мостової споруди, визначена стратегія ремонту, розроблена система захисту залізобетонних елементів проти руйнівних впливів агресивного і атмосферного навколишнього середовища.

Проект капітального ремонту розробили спеціалісти ТОВ “Містпроект”, який передбачав збереження габариту проїзної частини Г-11,26 + 2Т-0,83 м [5] (рис. 1) із заміною мостового полотна. Запропонована прогресивна технологія ремонту та захисту залізобетонних елементів від корозій та карбонізації Sika MonoTop® System + Sikagard®-702W Aquafob (рис. 2).

Конструкцію проїзної частини прольотної будови повністю розбирали. Далі виконували накладну плиту з бетону класу В30, F300, W8 з домішками Sika (Sika Plast-2508, SikaFume®, SikaFiber®, SikaMix+). Особливість улаштування накладної плити полягала у тому, що вона була включена в сумісну просторову роботу з плитою існуючої прольотної будови шляхом приклеювання до попередньо підготовленого бетону плити проїзної частини і укладання монолітного бетону способом “мокрим по мокрому” на адгезійний шар з матеріалу Sika MonoTop®-910 N. Таким чином отримали нову композитну плиту проїзної частини шляхопроводу.



Рис. 2. Вид знизу до (а) і після (б) ремонту технологіями і матеріалами Sika

Шляхопровід на перетині вул. Данила Щербаківського з просп. Перемоги біля ст. метро “Нивки”. Статична схема шляхопроводу – $3 \times 21 + 27 + 2 \times 33 + 27 + 4 \times 21$ м. Прогони шляхопроводу перекрито прогоновими балковими будовами двох типів: температурно-нерозрізної системи повною довжиною $3 \times 21,0$ м та $4 \times 21,0$ м; нерозрізної системи за схемою $27 + 2 \times 33 + 27$ м. Прогонові будови обох типів сформовано з використанням балок повною довжиною 21,0 м з напруженого залізобетону за типовим проектом СДП інв. № 384/46. Для об’єднання розрізних балок в нерозрізну систему над опорами 4, 5 та 6 змонтовані вставки того ж перерізу довжиною 10,2 м, які мають каркасне армування та об’єднані зі збірними напруженими балками шляхом зварювання арматурних випусків та їх омонолічуванням. В поперечному перерізі розрізних прогонових будов встановлено 8 балок, які об’єднані між собою за плитою проїзної частини. Нерозрізна прогонова будова в поперечнику має 9 балок. Шляхопровід розташовується на магістральній вулиці загальноміського значення з регульованим рухом. Він був запроектований під тимчасові рухомі навантаження класу Н-30, НК-80.

Технічне обстеження показало, що шляхопровід вимагає негайного ремонту з повною заміною мостового полотна. Внаслідок зношення гідроізоляції, деформаційних швів та всієї системи водовідведення загалом відбувається руйнування захисного шару та карбонізація бетону, корозійні процеси в конструкціях опор та прогонових будов. В нерозрізній прогоновій будові в збірних вставках зі звичайного залізобетону наявні похилі тріщини в стінках балок розкриттям до 0,5 мм в приопорних ділянках проміжних опор. Цей дефект вказує на недостатню несучу здатність перерізу за поперечною силою. З урахуванням того, що вік шляхопроводу становить понад 30 років, і він перебуває в несприятливому середовищі, слід враховувати вплив процесів старіння матеріалів, а також вплив корозії бетону і арматури на загальний технічний стан. За класифікацією ВБН [5] за рейтингом основних конструктивних елементів шляхопровід знаходиться у стані 4 “обмежено працездатний”. У результаті прийнято рішення про необхідність проведення капітального ремонту споруди, визначено стратегію ремонтних робіт, розроблено систему захисту залізобетонних елементів проти руйнівних впливів агресивного і атмосферного навколишнього середовища.

Проект капітального ремонту, розроблений спеціалістами ТОВ “Містпроект”, який передбачав повну заміну мостового полотна з улаштуванням накладної плити зі збереженням габариту

проїзної частини і тротуарів Г-17,30 + 2Г-0,75 м [6] (рис.3). В ході ремонту збільшено розрахункове тимчасове навантаження з 4 смуг Н-30 до 5 смуг А11. Ремонт та захист залізо-бетонних елементів від корозій та карбонізації виконується за допомогою матеріалів Sika MonoTop® System. Встановлення бордюрів – з використанням Sikaflex® PRO 3, Sika Rundschnur PE.

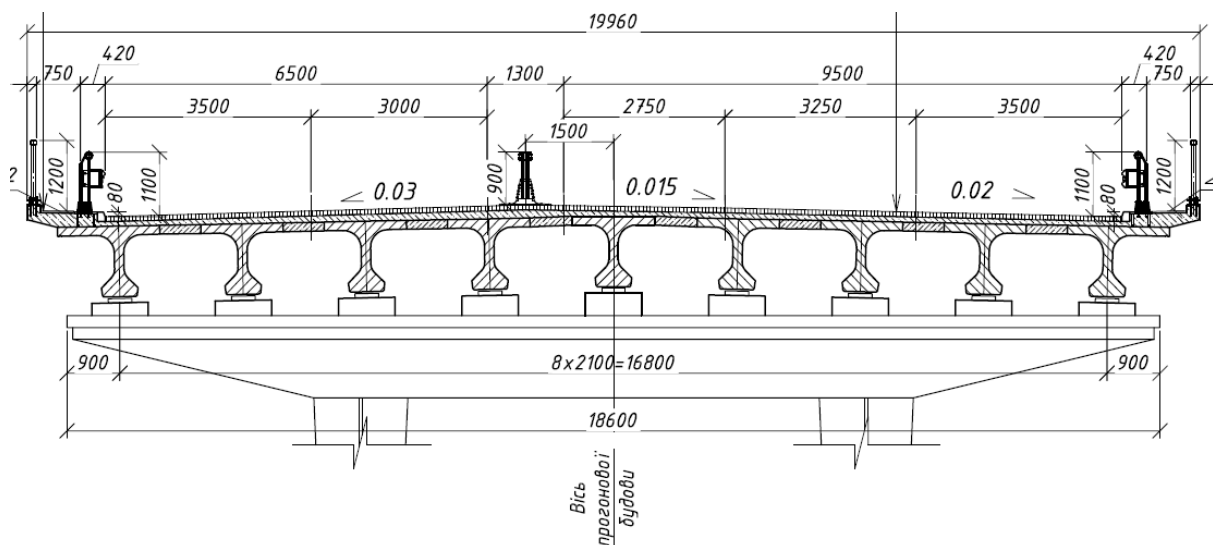


Рис. 3. Поперечний переріз прогонової будови шляхопроводу на перетині вул. Данила Щербаківського з проспектом Перемоги біля ст. метро “Нивки” після капітального ремонту

Вимагали підсилення крайні балки прогонових будов – на дію згинаючого моменту в усіх прогонах та поперечної сили в приопорних зонах проміжних опор нерозрізних прогонових будов. Підсилення реалізовано композитними матеріалами з вуглепластиків, що наклеюються за рекомендаціями [9] (рис. 4, 5).

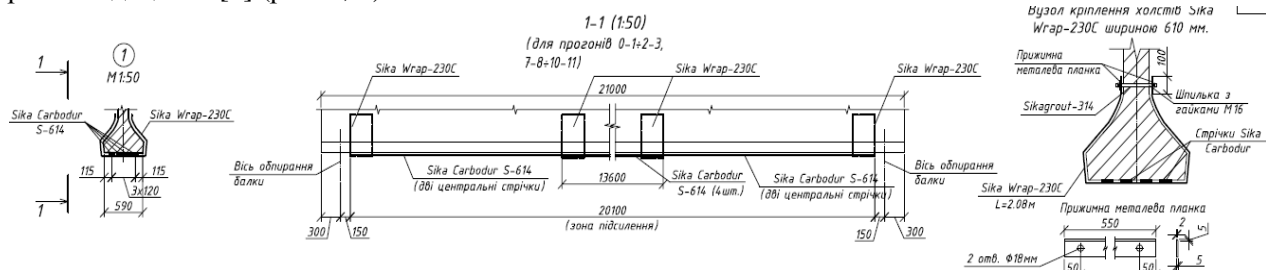


Рис. 4. Конструкція підсилення балок з використанням композитних матеріалів з вуглецевих волокон



Рис. 5. Загальний вид балки шляхопроводу після підсилення композитними матеріалами Sika

Шляхопровід у складі транспортної розв'язки на Одеській площі в Голосіївському районі м. Києва. Цей шляхопровід збудовано в 1989 році за проектом інституту “Київпроект”. Це нерозрізна залізобетонна збірно-монолітна, попередньо напружена конструкція за типовим проектом інституту Укрдїпродор ВТП 27/4 М-85 випуск 0,1, яка складається з коробчастих блоків, що об'єднані в поздовжньому напрямку попередньо напруженим армуванням. Статична схема – 32,9+42,00+32,9 м. Поперечний переріз складається з 6-ти збірних залізобетонних коробчастих балок, які розміщені з постійним кроком 5,65 м і об'єднані у поперечному напрямку шляхом омонолічування стиків на арматурних випусках з плит проїзної частини. В процесі спорудження було виявлено, що бетон балок не відповідає проектній марці, тому прогонову будову підсилювали за двома варіантами: влаштування додаткової стінки по осі балки або збільшення товщини стінок блоків. Також було збільшено товщину нижньої плити блоків та влаштовано армовану монолітну плиту товщиною 100 мм з безсадкового бетону по всій поверхні плити проїзної частини прогонової будови. Шляхопровід розміщений на магістральній вулиці загальноміського значення з регульованим рухом, бездіафрагмовий, балковий, нерозрізний, регулярної структури, який був запроектований під тимчасові рухомі навантаження класу А11, НК-80.

Проектом капітального ремонту, що був розроблений спеціалістами ТОВ “Містпроект”, передбачалася заміна існуючої дефектної накладної плити на нову з бетону В30, F300, W8 (рис. 6) з домішками Sika. Як гідрозапобіжний шар перед напilenням гідроізоляції використано Sikagard® 720 Epo Cem. Також запропонована прогресивна технологія ремонту та захисту залізобетонних елементів від корозії та карбонізації Sika MonoTop® System + Sikagard® 550 W (рис. 6, 7).

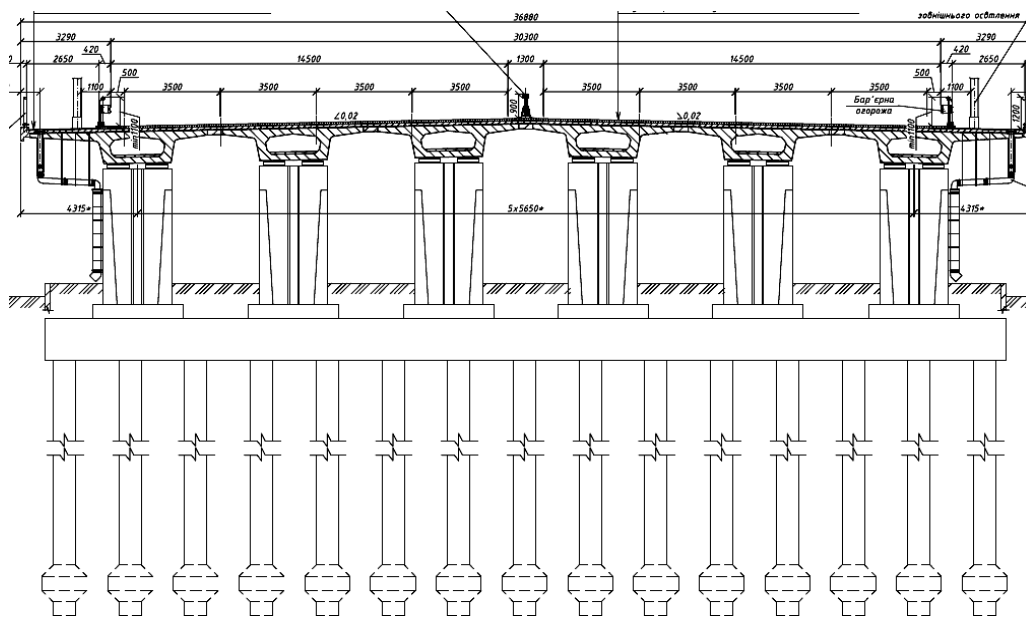


Рис. 6. Поперечний переріз прогонової будови шляхопроводу у складі транспортної розв'язки на Одеській площі в Голосіївському районі м. Києва після капітального ремонту

Рис. 7. Вид знизу прогонової будови шляхопроводу у складі транспортної розв'язки на Одеській площі в Голосіївському районі м. Києва після капітального ремонту



Міст через ріку Південний Буг по вул. В. Чорновола в м. Вінниця. П'ятничанський міст через ріку Південний Буг по вул. В. Чорновола у м. Вінниця був побудований в 1962 році за проектом організації “Проектстальконструкція” м. Київ. Довжина моста 192,5 м і він за класифікацією [10] належить до великих мостів. Схема міста – це 4-ри основних аркових прольоти довжиною по 45,0 м та два крайні балкові прольоти довжиною по 7,48 м. В поперечному напрямку міст має проїзну частину шириною 13,6 м і два тротуари по 1,75 м. Загальна ширина моста складає 17,1 м. Арки прогонових будов мосту виконані зі збірно-монолітного залізобетону, всі надарочні конструкції збірні. Загальний вид моста представлений на рис. 8, поперечний переїз моста до та після реконструкції показані на рис. 9.

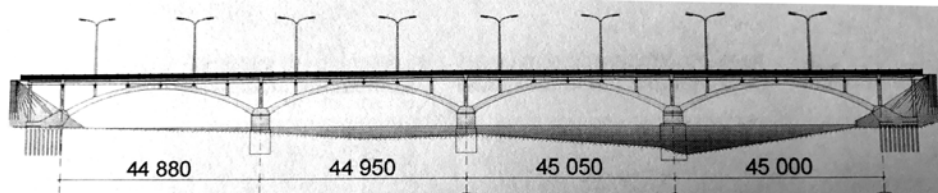


Рис. 8. Загальний вид моста через ріку Південний Буг по вул. В. Чорновола у м. Вінниця

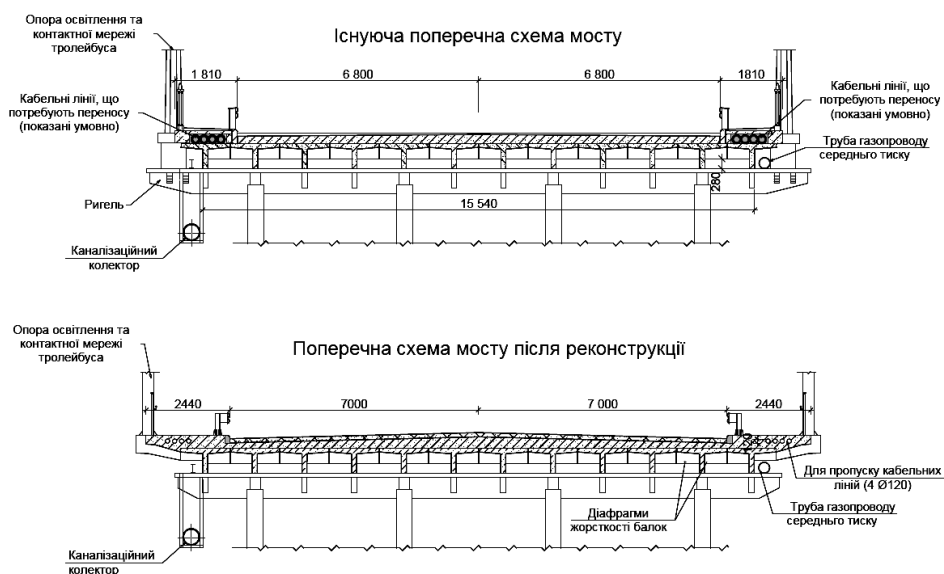


Рис. 9. Поперечний переріз до і після реконструкції моста через р. Півд. Буг по вул. В. Чорновола у м. Вінниця

За результатами обстеження технічного стану, який виконали спеціалісти ТОВ “Гервін МЗ” і перевірочними розрахунками, сформульовано висновок про те, що мостова конструкція внаслідок незабезпечення несучої здатності основних несучих конструкцій перебувають у **непрацездатному** стані (за класифікацією ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012). Також спеціалістами ТОВ “Гервін МЗ” виконаний проект реконструкції мосту, який передбачає:

- збільшення вантажопідйомності основних несучих конструкцій мосту до сприйняття тимчасових рухомих навантажень А11 та НК-80 згідно з ДБН В.1.2-15:2009;
- розширення тротуарів із збільшенням їх ширини в проєкті до 1,8 м з умови забезпечення двостороннього руху по мосту пішоходів з обмеженими можливостями;
- приведення всіх конструкцій мосту у відповідність до чинних вимог ДБН В.2.3-22:2009 із забезпеченням безпеки руху пішоходів і автотранспорту по мосту.

Для відновлення геометрії мостових елементів використовується система ремонту залізобетону Sika MonoTop® System та сухе торкретування спеціальним матеріалом Sika Gunitе. Захист елементів від хлоридної корозії та карбонізації бетону системою Sikagard®-680 S Betoncolor.

Також передбачене підсилення мостових елементів монолітними обоймами і сорочками, металевими обоймами і композитними вуглепластиковими матеріалами Sika.

Зокрема підсилення балок за поперечною силою розраховували за [7, 8]. Значення проектної стискальної сили визначається як:

$$f_{cd} = a_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{g_c}, \quad (1)$$

$V_{Rd,max}$ – проектне значення максимальної поперечної сили, яка може бути сприйнята елементом, з умови руйнування стиснутого умовного стержня:

$$V_{Rd,max} = a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{(ctgq + ctga)}{(1 + ctgq)}. \quad (2)$$

Поперечна сила, яка сприймається арматурою:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (ctgq + ctga) \cdot \sin a; \quad f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{g_s} \leq 400 \text{ МПа}. \quad (3)$$

Поперечна сила, яка сприймається композитним матеріалом:

$$V_{Rd,f} = \frac{A_{fw}}{s_f} \cdot \left(d_f - \frac{n_s}{3} \cdot l_{t,max} \cdot \cos b \right) \cdot E_{fd} \cdot e_{fse} \cdot (\sin b + \cos b), \quad (4)$$

де A_{fw} – площа FRP для підсилення за поперечною силою, вимірюється перпендикулярно до напрямку волокон; s_f – поздовжній крок ламінатів FRP, що використовуються для підсилення; d_f – ефективна висота підсилення FRP, виміряна від верху FRP підсилення до розтягнутої арматури; $n_s = 0$ – для повністю замкнених хомутів; $n_s = 1$ – для U-подібних FRP хомутів; $n_s = 2$ – коли FRP матеріали наклеєні тільки на бокові грані балок; $l_{t,max}$ – довжина анкерування (TR55 [6], розділ 6.3); β – кут між напрямком основних волокон FRP і лінією, перпендикулярною до поздовжньої осі елемента; E_{fd} – модуль розтягу ламінату FRP; e_{fse} – ефективна деформація FRP для підсилення за поперечною силою. Приймається найменшою з: $\left(\frac{e_{fd}}{2}; 0,5 \cdot \sqrt{\frac{f_{ctk}}{E_{fd} \cdot t_f}}; 0,004 \right)$.

Всі розрахунки виконували за новою програмою SIKAR[®]CARBODUR[®]CALCULATION SOFTWARE, з врахуванням накладної плити підсилення. На рис. 10 показана принципова схема підсилення приопорних зон балок на поперечну силу.

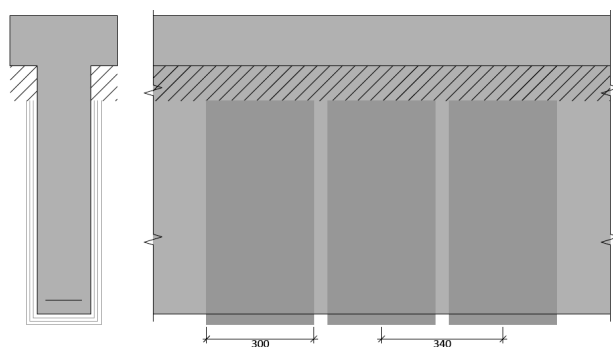


Рис. 10. Схем підсилення балок на поперечну силу

Висновки. Підсумовуючи сказане, можна сформулювати висновки про те, що в результаті виконання капітальних ремонтів мостів та шляхопроводів, завдяки аналізу, виборі стратегії ремонту, виконання детального обстеження технічного стану споруди, виконання якісних проектних вирішень, а також застосуванню сучасних передових технологій і матеріалів Sika вдалося реалізувати обрану стратегію ремонту і реконструкції, виконати ремонт, підсилення та захист несучих конструкцій композитними матеріалами на високому технічному рівні і

у заплановані стислі терміни будівництва, перевести мостові споруди в категорію, що відповідає дискретному стану 1 [5] і продовжити цикл життя даних конструкцій.

1. Фукс Г. Б., Панченко А. В., Синякин А. Г. Опыт применения строительных технологий и материалов фирмы Sika при ремонте эстакады Южного моста в Киеве // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 69, К.2004, с. 254–259. 2. Кваша В. Г., Мельник І. В., Климпуш М. Д. Використання вуглепластиків для підсилення балок при реконструкції залізобетонного автодорожнього моста // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 69, К., 2004. – С. 70–74. 3. Куціковський О. Г., Панченко О. В., Собко Ю. М., Шевчик О. Т. Застосування технологій і матеріалів компанії “Sika” при ремонті шляхопроводу “Караваяєві дачі” у місті Києві // Будівельні конструкції. – НДІБК, К. – 2005. – Т. 2. – С. 25–28. 4. Синякин А. Г., Панченко А. В., Собко Ю. М., Тарнопольский Д. Й. Реконструкция мостового перехода по плотине Каховской ГЭС // 36. “Автомобільні дороги і дорожнє будівництво”. – НТУ, К. – 2006. – Вип. 73, – С. 289–292. 5. ВБН В.3.1-218-174-2002 “Мости та труби. Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються”. – К., 2002. 6. Инструкция по уширению автодорожных мостов и путепроводов: ВСН 51-88 / Минавтодор РСФСР, Минавтодорстрой УССР и БССР. – М.: Транспорт, 1990. – 128 с. 7. Concrete Society Technical Report No. 55 (TR 55): design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials, Third Edition 2012. 8. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. 9. Бамбура А., Гурківський О., Дорогова О., Сазонова І., Мірошник Т., Собко Ю., Панченко О. Рекомендації щодо застосування композитних матеріалів фірми Sika для підсилення залізобетонних конструкцій. ДП “Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій”, ЗНТ-219-2167.13-001, Київ, 2014, 45 с. 10. Мости та труби. Основні вимоги проектування: ДБН В.2.3-22:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с.

References

1. Fuks B., Panchenko A. V., Sinyakina A. G. [Experience of the use of Sika construction technologies and materials during repair of the Yuzuj Bridge in Kiev]. Sb. Avtomobilnyye dorogi i dorozhnoye stroitelstvo [Road and Road Construction], 2004, Kyiv, vol. 69, pp. 254–259 (in Ukraine). 2. Kvasha V. G., Melnyk I. V., Klympush M. D. [The use of carbon fibers for beams strengthening during the reconstruction of a RC bridge]. Zb. Avtomobilni dorogy i dorozhnye budivnytstvo [Road and Road Construction], 2004, vol. 69, Kyiv pp. 70–74. 3. Kutsikovskyy O. H., Panchenko O. V., Sobko Yu.M., Shevchyk O. T. [Application of technologies and materials of “Sika” company during repair of overpass “Karavaevy Dachi” in the City of Kiev]. Zb. Budivelni konstruktsiyi.[Building Structures]. 2005. Vol. 2, pp.25–28. 4. Sinyakyn A. H., Panchenko O. V., Sobko Yu.M., Tarnopolskyy D. Y. [Reconstruction of bridge over the dam of Kahovsky hydroelectric power station]. Zb. “Avtomobilni dorohy i dorozhnye budivnytstvo”. [Road and Road Construction] 2006. vol. 73, pp. 289–292. 5. VBN V.3.1-218-174-2002 “Mosty ta truby. Ocinka texnichnogo stanu avtodorozhnykh mostiv, shcho ekspluatuyutsya”. – K., 2002. 6. Instruktziya po ushireniyu avtodorozhnykh mostov i puteprovodov: VSN 51-88 / Minavtodor RSFSR, Minavtodorstroy USSR i BSSR. – М.: Transport, 1990. – 128 s. 7. Concrete Society Technical Report No. 55 (TR 55): design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials, Third Edition 2012. 8. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. 9. Bambura A., Gurkivskyy O., Dorogova O., Sazonova I., Miroshnyk T., Sobko Yu., Panchenko O. Rekomendaciyi shchodo zastosuvannya kompozytnykh materialiv firmy Sika dlya pidsylennya zalizobetonnykh konstrukcij. DP “Derzhavnyj naukovo-doslidnyj instytut budivelnnykh konstrukcij”, ZNT-219-2167.13-001, Kyiv, 2014, 45 s. 10. Mosty ta truby. Osnovni vymogy proektuvannya: DBN V.2.3-22:2009. – К.: Minregionbud Ukrayiny, 2009. – 52 s.