

УДК 693.54

¹ **І.В. Шумаков**, завідувач кафедри технології, організації будівельного виробництва і геодезії, <https://orcid.org/0000-0002-1502-051X>;

² **С.В. Бутнік**, кандидат технічних наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-9737-9421>;

³ **С.О. Бугаєвський**, доктор технічних наук, професор, <https://orcid.org/0000-0003-2861-0268>;

⁴ **В.О. Бугаєвський**, аспірант, дизайнер, експерт, <https://orcid.org/0009-0003-3177-7998>

^{1, 2, 4} Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

³ Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТОВИХ СПОРУД

Анотація. У статті наведено інформацію щодо ефективних конструктивних та організаційно-технологічних рішень при обстеженні, проектуванні та відновленні мостової споруди, що було частково зруйновано в результаті збройної агресії РФ. Встановлено, що інформація з наукових та нормативних джерел недостатньо відображає ситуацію з мостами, де повністю втрачено частину несучих конструкцій і потрібно виконувати роботи зі зведення нових конструктивів з можливим використанням частини старих (незруйнованих). Визначено поточний експлуатаційний стан основних елементів споруди (мостове полотно, прогонова будова, опори та опорні частини, фундаменти, підходи). При прогнозуванні терміну безаварійної експлуатації встановлено, що залишковий ресурс мосту з урахуванням фактичного технічного стану основних елементів на час обстеження (руйнувань), який визначено з рівняння деградації елементів, є повністю вичерпаним. Отримані дані дозволили виконати прогнозування технічного стану мосту відповідно до нормативних вимог і призначити експлуатаційні та відновлювальні заходи. Обґрунтовано використання непошкоджених підземних конструкцій для зведення нових залізобетонних опор, де передбачено виконання підготовчих робіт з застосуванням засобів комплексної механізації. При бетонуванні тіл опор підтверджено раціональність нового кріплення підкосів опалубочних блоків, що забезпечило підвищену жорсткість та стійкість змонтованої опалубки, для чого запропоновано замість двох плит в поперечному напрямку по обох сторонах від опор на ґрунті встановити одну плиту між опорами на жорстку металеву каркасну конструкцію висотою, що відповідає нижній межі масиву бетонування, з можливістю кріплення до неї підкосів, що працюють у різних площинах. Положення двох плит, що передбачалися для підкосів вздовж осі мосту, запропоновано не змінювати, при цьому вони також були розміщені на аналогічних металевих каркасах. Розміщення плит для кріплення підкосів на згаданій висоті дозволило зменшити довжину підкосів та забезпечити їхні робочі кути у найбільш ефективних межах.

Ключові слова: міст, експлуатаційний стан, обстеження, відновлення, бетонування, організаційно-технологічні рішення.

Постановка проблеми

В умовах широкомасштабної збройної агресії РФ Україна зіткнулась з проблемами відновлення великої кількості мостових споруд. Проектування і будівництво в умовах воєнних дій потребує прийняття і впровадження ефективних технічних і технологічних рішень. При відновленні споруд проєктувальник і дослідник стикаються з актуальною проблемою збереження частини конструкцій. В кожному окремому випадку потрібно виконати детальне дослідження зруйнованих конструкцій з подальшим аналізом та висновками.

Аналіз основних досліджень і публікацій

На сьогодні розроблено низку конструктивно-технологічних рішень, що відображено у нормативах України [1-4]. Закордонні джерела [6-8] нормують методи обстеження та відновлення конструкцій мостів та надають статистику щодо їх сучасного стану. Так, за даними ASCE (Американського товариства інженерів-будівельників), у США є 614 387 мостів, майже чотирьом з 10 з яких 50 років і більше. У 2016 р. 56 007, або 9,1% мостів країни мали конструктивні дефекти, і в середньому щодня було 188 мільйонів поїздок через структурно дефектний міст. У той час як кількість мостів, які перебувають у тако-

му поганому стані, що їх можна вважати несправними, зменшується, середній вік американських мостів продовжує зростати, і багато мостів у країні наближаються до кінця свого проєктного терміну експлуатації. Згідно з останньою оцінкою, відставання країни у відновленні мостів становить 123 млрд. дол.

При цьому інформація з наукових та нормативних джерел не стосується мостових споруд, де повністю втрачено частину несучих конструкцій і потрібно виконувати роботи зі зведення нових конструктивів з можливим використанням частини старих (незруйнованих).

Визначення стану мостів і прийняття рішень щодо відновлення або заміни знаходиться відповідно до закордонних нормативів у сфері управління активами. З урахуванням потреб виділяються значні ресурси для управління своїми мостовими активами за допомогою різноманітних методів профілактики та збереження [9]. Зазвичай у даних джерелах класифікується стан мостів за загальною системою оцінювання від 0 до 9 (9 означає відмінне, 0 незадовільне), що називається рейтингом загального стану (GCR). На основі цього рейтингу стану з точки зору планування майбутніх рішень мости поділяються на чотири основні категорії стану активів: консерва-

ція/профілактичне обслуговування, реабілітація, технічне обслуговування, відновлення. Достатньо легко передбачити, що для українських воєнних умов для категорії відновлення мостових споруд існують великі обсяги та є необхідність узагальнення практичного досвіду для подальшого тиражування ефективних рішень.

Мета дослідження — визначення експлуатаційного стану основних елементів мостової споруди та обґрунтування конструктивних та організаційно-технологічних рішень з відновлення з максимальним використанням вцілілих конструкцій.

Виклад основного матеріалу

У якості об'єкту дослідження було обрано міст через р. Десна, що розташований на автомобільному шляху загального користування державного значення Сосниця–Шаповалівка, (Чернігівська обл.). В результаті обстеження було виявлено, що міст є пошкодженим в результаті воєнних дій. Враховано, що проектна та виконавча документація на міст відсутня. Згідно облікової картки та обстеження встановлено основні технічні параметри моста: категорія дороги та кількість смуг – III категорія, 2 смуги; кут перетину 70° С; довжина споруди 304,7 м; отвір моста 275,0 м; підмостовий габарит 8,4 м; поздовжня схема $18+2\times 24+42+63+42+3\times 24+18$ м; статична схема балочна, нерозрізна; рік зведення 1997.

Нумерація опор моста прийнята по ходу кіло-

метражу: 1, 2, ..., 11. Проміжні опори 8, 9, 10 були повністю зруйновані, крайня опора 11 зруйнована частково, в результаті чого прогонові будови між опорами 7÷11 обвалилися в підмостову зону і зазнали руйнування рух транспорту по споруді був закритий. Прогонові конструкції між опорами 1÷4 та між 7÷11 виконані зі збірних залізобетонних попередньо напружених пустотних плит довжиною 18 м (П-18) та надопорних блоків довжиною 4,6 м що об'єднані в нерозрізну систему за схемою $18+2\times 24$ м загальною довжиною 66 м за допомогою монолітних стиків довжиною 0,7 м. Прогонова конструкція між опорами 4 та 7 – сталезалізобетонна нерозрізна за схемою $42+63+42$ м. Крайні опори 1 та 11 – обсіпні козові зі збірного залізобетону на пальовій основі.

Крайні опори через пальовий ростверк спираються на залізобетонні забивні палі перерізом $0,35\times 0,35$ м довжиною 14 м (36 палі на одну опору). Проміжні опори – комбінованого типу залізобетонні збірно-монолітні на пальовій основі індивідуального проектування. Для проміжних опор застосовано високий пальовий ростверк. Палі фундаментів руслових опор – залізобетонні забивні перерізом $0,4\times 0,4$ м, довжиною 14 м (по $40\div 50$ палі на одну опору). Палі фундаментів заплавних опор – залізобетонні забивні перерізом $0,35\times 0,35$ м довжиною 14 м (по 27 палі на одну опору).

При обстеженні були виявлені основні пошкодження прогонових будов:



Рис. 1. Загальний вид моста після руйнування прогонів між опорами 7÷11 (аерофотозйомка)



Рис. 2. Зруйновані прогони між опорами 7÷11



Рис. 3. Розбирання зруйнованих конструкцій

- замокання з висолами в поперечних та повздовжньому стиках збірних залізобетонних плит проїзної частини;
- руйнування захисного шару навколо водовідвідних трубок;
- поверхнева корозія сталевих конструкцій прогонової будови;
- поперечні тріщини у плити під головними балками, що переходять під кутом на нижню поверхню плити проїзної частини;
- поперечні тріщини у плити під повздовжнім прогоном, що переходять під кутом на нижню поверхню плити проїзної частини.

Отримані в результаті обстеження дані дозволяють виконати оцінку та прогнозування технічного стану мосту відповідно до вимог [4], а також призначити необхідні експлуатаційні та відновлювальні заходи. На підставі отриманих даних та результатів їх обробки основні елементи мосту віднесено до таких експлуатаційних станів:

- мостове полотно: стан 5, непрацездатний;
- прогонова будова: стан 5, непрацездатний;
- опори та опорні частини: стан 5, непрацездатний;
- фундаменти: стан 4, обмежено працездатний;
- підходи: стан 4, обмежено працездатний.

Залишковий ресурс мосту (прогноз терміну безаварійної експлуатації) з урахуванням фактичного технічного стану основних елементів на час обстеження, який визначено з рівняння деградації елементів, повністю вичерпано. На основі оцінки загального

технічного стану споруди визначено її експлуатаційний стан – 5 (непрацездатний) за класифікацією [4].

Процес відновлення споруди почався з розбирання зруйнованих конструкцій, що виконувалося за допомогою екскаватору типу CATERPILLAR 428E з гідромолотом, навішеним на стрілу (рис. 3).

Тривалість відновлювальних робіт визначалася на підставі розрахунку згідно з [5], п. 4.3.9, по трудовитратах по главах 1 8 зведеного кошторисного розрахунку, при цьому враховано сезонність виробництва робіт, технологічні перерви при виконанні бетонних робіт, тривалість улаштування монолітних залізобетонних плит, роботи на підходах до мосту, час на розбирання існуючих конструкцій моста:

$$T_{\text{відн.}} = Q / N * t * 20,83 * n$$

де Q – трудовитрати по главах 1 8 зведеного кошторисного розрахунку – 217 113,72 люд.-год. (витрати праці робітників-будівельників, робітників-монтажників, робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин та загальновиробничих затрат);

N – середня кількість працюючих (61 чол.);

t – тривалість робочої зміни (8 год.);

n – середня змінність робіт (1,5 зміни/добу);

20,83 – середня кількість робочих днів на місяць, дн./міс.;

Тривалість виконання робіт прийнято 14 міс., в

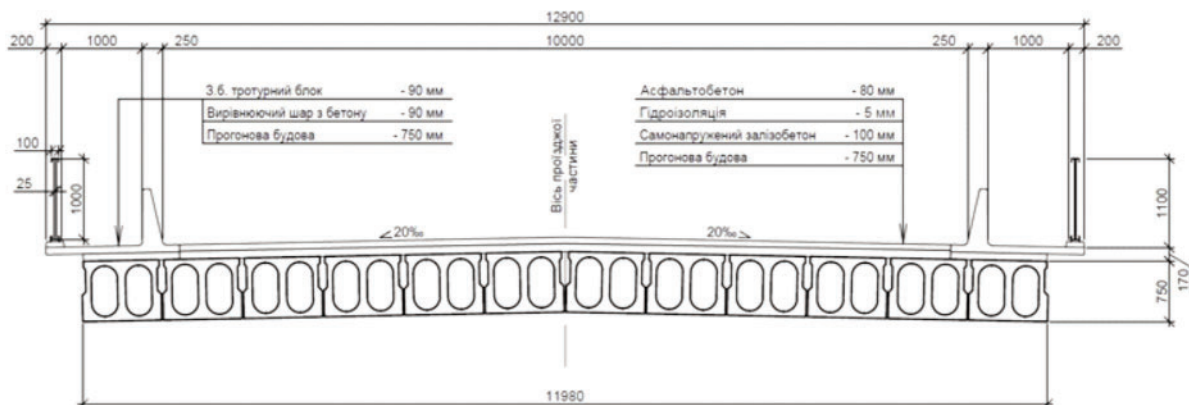


Рис. 4. Поперечний переріз прогонів між опорами 1 ÷ 7 до руйнування

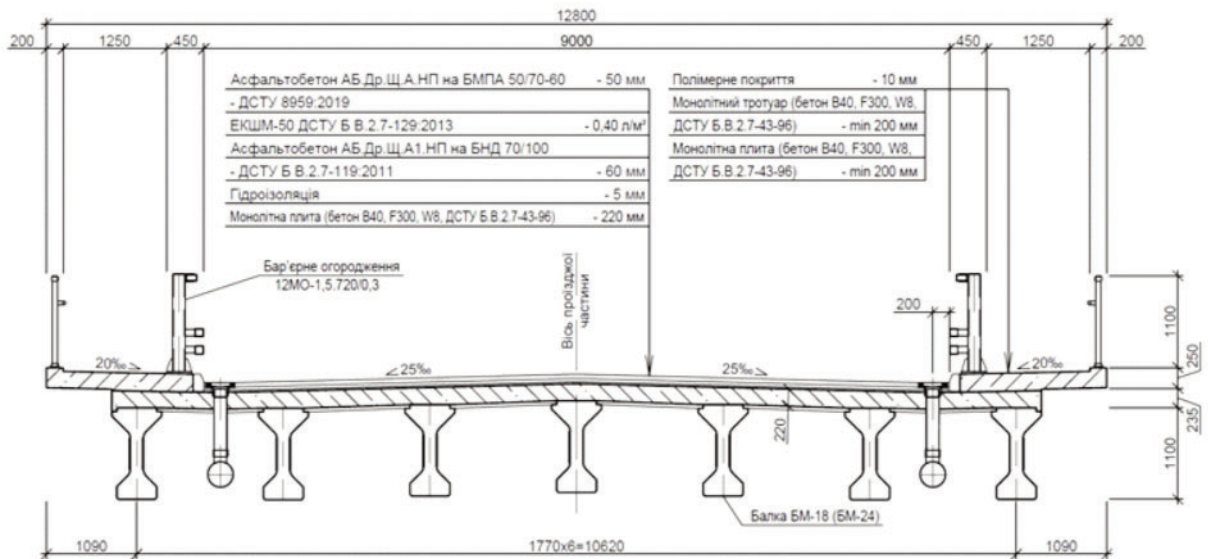


Рис. 5. Поперечний переріз прогонів між опорами 1÷7 після відновлення

тому числі 2,0 міс. підготовчого періоду, при цьому розрахунковий термін виконання відновлювальних робіт має рекомендаційний характер, остаточний термін уточнюється замовником і підрядником після розробки і погодження проекту виконання робіт.

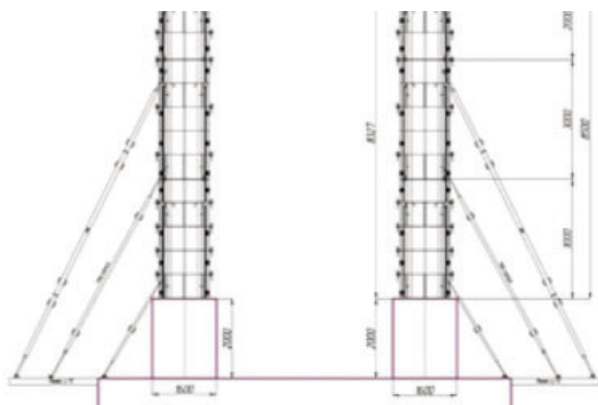
У складі проектних рішень були проведені розрахунки основних конструктивних елементів мосту: перевірка несучої здатності по ґрунту забивних паль опор 7÷11; розрахунок конструкцій тіл даних опор; розрахунок конструкцій прогонової будови прогонів між згаданими опорами. По результатах прийняті рішення відновити зруйновану частину моста між опорами 7÷11 та виконати ремонт вцілілої частини між опорами 1÷7. Для цього заплановано замінити зруйновану плитну нерозрізну прогонову будову на температурно-нерозрізну збірно-монолітну плитно-балочну прогонову будову за існуючою схемою 3÷24 м+18 м, повною довжиною 90,15 м. Таке рішення дозволяє витримати постійні навантаження від прогонової будови в межах первісного проекту.

В поперечному перерізі прогонової будови між опорами 7÷11 було запроєктовано розміщення 7 збірних залізобетонних бездіафрагмових попередньо напружених балок кроком 1,77 м висотою 1,1 м

(балки двотаврового перерізу виготовлення ПБГ «Ковальська»). Балки об'єднуються по верху монолітною залізобетонною плитою проїзної частини мінімальною товщиною 200 мм за рахунок П-подібних арматурних випусків з верхньої полиць балок. Винятком є проміжні опори, над якими влаштовується температурно-нерозрізна плита та вкладається розділюючий шар бітумної рулонної гідроізоляції.

Обпирання балок прогонових будов передбачено на гумово-армовані опорні частини типу ГАОЧ 30×40×9,2. По результатах дослідження зруйнованих опор було встановлено, що фундаменти зберегли свою конструктивну цілісність та не зазнали деформацій, в результаті чого було прийняте рішення по їх повноцінному використанню. Конструкція надфундаментної частини проміжних опор прийнята по аналогії з первісним проектом, що дозволило оминати рішення з підсилення фундаментів. Проміжні опори 8÷10 – монолітні залізобетонні стовпчасті, однорядні; фундаменти опор – існуючі ростверки по забивних палях.

Разом з новими конструктивними на даному об'єкті було удосконалено і організаційно-технологічні рішення. Висота нових опор, що бетонувалися, складала 8,5 м і для забезпечення стійкості зібраної опа-



а)

б)

Рис. 6. Зведення тіл опор: а) стандартне рішення для забезпечення стійкості опалубки; б) ефективне рішення зі зміною місць кріплення підкосів опалубки



лубки було передбачено її кріплення підкосами в трьох рівнях з кроком 3 м по висоті, а також у двох взаємно перпендикулярних напрямках. У стандартному рішенні передбачалося нижнє кріплення підкосів до залізобетонної плити типу ПДС 3,5×2×0,16 у напрямку перпендикулярно та від поздовжньої осі споруди. У цьому випадку кожен з двох блоків опалубки був би забезпечений стійкістю окремо. При цьому додаткова трудомісткість робіт з'явилася б при підготовці місць встановлення з/б плит на денну поверхню ґрунту. Було запропоновано замість двох плит в поперечному напрямку по обох сторонах від опор на ґрунті встановити одну плиту між опорами на жорстку металеву каркасну конструкцію висотою 3,5 м з можливістю кріплення до неї підкосів, що працюють у різних площинах. Положення двох плит, що передбачалися для підкосів вздовж осі мосту, не змінилося, але ж вони також були розміщені на аналогічних металевих каркасах. Підняття плит для кріплення підкосів на згадану висоту дозволило зменшити довжину підкосів та забезпечити їхні робочі кути у межах 45÷65°.

Крім того було прийнято рішення виконати капітальний ремонт вцілілої частини моста між опорами 1÷7 з виконанням комплексу робіт:

- демонтаж існуючих конструкцій мостового полотна;
- заміна опорних частин на рухомі на деяких опорах;

- конструкційний ремонт всіх елементів прогонових будов та опор;
- улаштування нового мостового полотна;
- улаштування антикорозійного захисту бетонних та сталевих конструкцій моста;
- улаштування організованого збору, відводу та очистки води з мостового полотна;
- відновлення укріплення конусів;
- відновлення конструкцій сходів з насипу.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено ефективність рішення замінити зруйновану плитну нерозрізну прогонову будову на температурно нерозрізну збірно-монолітну плитно-балочну прогонову будову зі збереженням постійних навантажень від прогонової будови в межах первісного проекту. Використовуючи результати дослідження, були прийняті конструктивні рішення, які дозволили зберегти вцілілі фундаменти опор, що дало значний економічний ефект. При бетонуванні тіл опор підтверджено раціональність нового кріплення підкосів опалубочних блоків одночасно до однієї плити, чим забезпечено підвищену жорсткість та стійкість змонтованої опалубки. По результатах виконаних досліджень встановлено, що міст здатен витримувати тимчасові рухомі навантаження відповідних класів.

Література

1. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. Київ: Мін. буд-ва, архітект. та житл.-кому. госп-ва. 2006. 359 с.
2. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ: Мінрегіонбуд України. 2009. 73 с.
3. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 83 с.
4. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ: Мінрегіон України. 2013. 38 с.
5. ДСТУ Б А.3.1-22:2013. Визначення тривалості будівництва об'єктів. Київ: Мінрегіон України. 2014. 34 с.
6. Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges. Report № FHWA-PD-96-001. US Department of Transportation. 1995. 124 P. <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/mtguide.pdf>
7. Bridge Repair Manual. Road Development Authority Japan International Cooperation Agency. 2017. 140 P. <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12307716.pdf>
8. Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation, and Maintenance. Second Edition. Elsevier. 2021. 280 P.
9. Bridge Construction Manual. Minnesota Department of Transportation. 2005. 366 P. <https://www.dot.state.mn.us/bridge/pdf/constrmanual/bridgeconstructionmanual.pdf>
10. Методика обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України. 2022. 38 с.
11. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций. Н.-и., проект.-конструкт. и технолог. ин-т бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1991. 63 с.

References

1. DBN V.2.3-14:2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannia. Kyiv: Min. bud-va, arkhitekt. ta zhytl.-komun. hosp-va. 2006. 359 s.
2. DBN V.2.3-22:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. 2009. 73 s.
3. DBN V.1.2-15:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2009. 83 s.
4. DSTU-N B V.2.3-23:2012. Nastanova z otsiniuvannia i prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 2013. 38 s.
5. DSTU B A.3.1-22:2013. Vyznachennia tryvalosti budivnytstva obiektiv. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 2014. 34 s.
6. Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges. Report № FHWA-PD-96-001. US Department of Transportation. 1995. 124 P. <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/mtguide.pdf>
7. Bridge Repair Manual. Road Development Authority Japan International Cooperation Agency. 2017. 140 R. <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12307716.pdf>
8. Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation, and Maintenance. Second Edition. Elsevier. 2021. 280 P.

9. *Bridge Construction Manual*. Minnesota Department of Transportation. 2005. 366 P.

<https://www.dot.state.mn.us/bridge/pdf/constrmanual/bridgeconstructionmanual.pdf>

10. *Metodyka obstezhennia budivel ta sporud, poshkodzhennykh vnaslidok nadzvychainykh sytuatsii, boiovykh dii ta terorystychnykh aktiv*. Kyiv: Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy. 2022. 38 s.

11. *Proektyrovanye zhelezobetonnykh sborno-monolytnykh konstruksyi*. N.-y., proekt.-konstrukt. y tekhnoloh. yn-t betona y zhelezobetona. M.: Stroiyzdat, 1991. 63 s.

¹ **I. Shumakov**, Head of the Department of Technology, Organization of Construction Production and Geodesy, <https://orcid.org/0000-0002-1502-051X>;

² **S. Butnik**, Cand. Sc. (Technology), Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-9737-9421>;

³ **S. Buhaievskiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0003-2861-0268>;

⁴ **V. Buhaievskiy**, postgraduate student, designer, expert, <https://orcid.org/0009-0003-3177-7998>

^{1, 2, 4} Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv

³ Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

FEATURES OF CONSTRUCTIVE, ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE RESTORATION OF REINFORCED CONCRETE BRIDGE STRUCTURES

Abstract. *The article provides information on effective structural and organizational-technological solutions for surveying, designing and restoring the bridge structure, which was partially destroyed as a result of the armed aggression of the Russian Federation. It was established that information from scientific and regulatory sources does not sufficiently reflect the situation with bridges, where a part of the load-bearing structures has been completely lost and it is necessary to carry out work on the construction of new structures with the possible use of a part of the old (undamaged) ones. The current operating condition of the main elements of the structure (bridge web, span structure, supports and support parts, foundations, approaches) is determined. When predicting the term of accident-free operation, it was established that the remaining resource of the bridge, taking into account the actual technical condition of the main elements at the time of the inspection (destruction), which is determined from the equation of element degradation, is completely exhausted. The obtained data made it possible to predict the technical condition of the bridge in accordance with regulatory requirements and to prescribe operational and restoration measures. The use of undamaged underground structures for the construction of new reinforced concrete supports is substantiated, where preparatory work is provided with the use of complex mechanization tools. When concreting the bodies of the supports, the rationality of the new fastening of the braces of the formwork blocks was confirmed, which ensured increased rigidity and stability of the assembled formwork, for which it was proposed to install one plate between the supports on a rigid metal frame structure with a height of corresponds to the lower limit of the concreting massif, with the possibility of attaching braces working in different planes to it. It is proposed not to change the position of the two slabs intended for braces along the axis of the bridge, while they were also placed on similar metal frames. Placing the plates for fastening the braces at the mentioned height made it possible to reduce the length of the braces and ensure their working angles within the most effective limits.*

Keywords: *bridge, operational condition, inspection, restoration, concreting, organizational and technological solutions.*