

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ОСТАПЕНКО ІГОР СЕРГІЙОВИЧ

УДК 624.191:624.139.62-026.656

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПІДСИЛЕННЯ
ФУНДАМЕНТІВ МОСТІВ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ
ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНВЕНТАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

192 – Будівництво та цивільна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Остапенко І. С.

Науковий керівник: Тютюкін Олексій Леонідович,
доктор технічних наук, професор

Дніпро – 2024

АНОТАЦІЯ

Остапенко І. С. Удосконалення методів підсилення фундаментів мостів в умовах ведення бойових дій із використанням інвентарних конструкцій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. – Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2024.

Дисертація присвячена удосконаленню методів підсилення фундаментів залізничних та автомобільних мостів, зруйнованих внаслідок ведення бойових дій при їх відновленні, тимчасовому та капітальному ремонті. Порівняльний аналіз методів підсилення фундаментів концептуально базується на систематизації сучасного світового та вітчизняного досвіду будівництва та реконструкції мостів, аналізі впливу наслідків ведення бойових дій та сучасних воєнних конфліктів на стан транспортної інфраструктури та визначення оптимальних методів підсилення фундаментів мостів при їх відновленні. Авторський аналіз сприяв розробленню обґрунтованих рекомендацій впровадження технології виконання будівельних робіт з підсилення фундаментів мостів під час їх капітального та тимчасового відновлення в умовах ведення бойових дій.

Актуальність дослідження визначення оптимальних методів підсилення фундаментів мостів в умовах ведення бойових дій обумовлена наявністю проблем під час відновлення мостів, зруйнованих внаслідок повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України. Вплив постійної загрози ведення активних бойових дій, нанесення ракетних та бомбових ударів, діяльність диверсійних груп, унеможливлення внаслідок наявності постійних ризиків і загроз виконання відновлення об'єктів транспортної інфраструктури традиційними методами обумовлює необхідність адаптації методів підсилення фундаментів до нових економічних умов країни у стані війни.

Основою порівняльного аналізу є унікальний для масового відновлення і забезпечення функціонування транспортної критичної інфраструктури в умовах

постійного ведення бойових дій український досвід, який потребує систематизації, синтезу впливу факторів ураження на стан конструкцій мостів та порівняння отриманих результатів для визначення оптимальних проектних рішень. Удосконалення методів підсилення фундаментів мостів в умовах ведення бойових дій із використанням інвентарних конструкцій є метою дисертаційної роботи.

Для досягнення мети проведено аналіз стану об'єктів критичної інфраструктури транспортно-дорожнього комплексу України, зруйнованих внаслідок ведення бойових дій на території України при проведенні Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей та відбиття повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України (російсько-української війни), а також методологічних підходів до визначення оптимальних технічних та економічних рішень відновлення мостів.

Висновки аналізу демонструють, що проведені дослідження стану транспортно-дорожнього комплексу України та забезпечення його сталого функціонування в умовах ведення на території держави бойових дій з виробленням оптимальних методів відновлення дозволяють виконати всі завдання дисертації. Створено науково обґрунтовані підходи до вибору проектних рішень відновлення зруйнованих транспортних об'єктів та визначено оптимальні методи підсилення фундаментів мостів під час їх масового відновлення в умовах ускладнення виконання робіт веденням бойових дій.

Наукова новизна полягає у тому, що вперше набули обґрунтування схеми тимчасових мостів із застосуванням комбінації конструкцій з інвентарного мостового майна з врахуванням ступеню впливу бойових дій різного рівню, що дозволило зменшити термін виконання робіт до 2,3...2,5 разів. Доведено, що новий спосіб відновлення мостів, який, на відміну від існуючих, оснований на максимальному використанні вцілілих конструкцій на старій осі з залученням удосконалених методів підсилення фундаментів і використанням інвентарних конструкцій, дозволяє збільшити допустиме статичне навантаження на 20 % від проектного.

Результати порівняльного аналізу застосування методів підсилення фундаментів мостів, зруйнованих внаслідок ведення бойових дій під час їх масового відновлення із визначенням оптимальних інженерно-технічних рішень і економічних показників, доводять високий ступінь відповідності розроблених дисертантом теоретико-практичних положень методів підсилення фундаментів для подальшого унормування та системного застосування для вирішення задачі технічного прикриття та відновлення транспортних об'єктів критичної інфраструктури.

Рекомендації роботи використовуються структурними підрозділами Державної спеціальної служби транспорту Міністерства оборони України у процесі проведення проєктно-вишукувальних, відновлювальних робіт на зруйнованих об'єктах національної транспортної інфраструктури з метою забезпечення відповідного рівня безпеки руху та їх тривалої експлуатації.

Ключові слова: фундамент мосту, методи підсилення, масове відновлення, бойові дії, інвентарні конструкції, транспортна інфраструктура.

Список публікацій здобувача.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати:

1. Тютюкін, О. Л. Підсилення фундаментів автомобільних мостів в контексті проблемного стану транспортно-дорожнього комплексу / Тютюкін О. Л., Остапенко І. С. // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2020. – № 18. – С. 106-112. <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217874> (фахове видання)

2. Остапенко, І. С. Аналіз методик реконструкції та капітального ремонту фундаментів автомобільних мостів з врахуванням досвіду воєнних конфліктів / Остапенко І. С. // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2021. – № 19. – С. 62-68. <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/233876> (фахове видання)

3. Остапенко, І. С. Конструктивно-технологічні рішення інвентарного мостового майна під час будівництва тимчасових мостових переходів / Остапенко І. С. // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2022. – № 22. – Дніпро. – С. 65-70. <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/268293> (фахове видання)

4. Остапенко, І. С. Особливості реалізації технологічних рішень проєкту будівництва мостового переходу з тимчасовим мостом / Остапенко І. С. //

Наука та прогрес транспорту, 2022. – № 3-4 (99-100). – С. 87-94.

<https://doi.org/10.15802/stp2022/275713> (фахове видання)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Остапенко, І. С. Проблемні питання відновлення об'єктів транспортної інфраструктури з врахуванням сучасних викликів та загроз національної безпеки / Остапенко І. С., Тютюкін О. Л. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» 17.09-18.09.2020 р. / Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпро, 2020. – С. 178-180. **(тези конференції)**

6. Остапенко, І. С. Аналіз проблематики та сучасного вітчизняного досвіду будівництва та капітального ремонту мостів. / Остапенко І. С. // Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 81 Міжнар. наук.-практ. конф., 22.04-23.04.2021 р. / ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна. – Дніпро, 2021. – С. 189-191. **(тези конференції)**

7. Остапенко, І. С. Використання інвентарних конструкцій залізничних мостів для відновлення зруйнованих об'єктів національної транспортної інфраструктури / Остапенко І. С. // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», 19-20 жовтня 2022 р. Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро, 2022. – С. 33-35. http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/16115/1/Conf._%20Paper_%20Bridges_Tunnels_2022.pdf **(тези конференції)**

8. Остапенко, І. С. Основні наукові аспекти військової логістики / Остапенко І. С. // Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської наукової конференції «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів, загроз» Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро, 2022. – С. 148-154. <http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/16147/3/LogisticsAndTransportSafety.pdf> **(тези конференції)**

9. Остапенко, І. С. Військова логістика в Індустрії 4.0 / Остапенко І.С. // Матеріали доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Логістика і транспортна безпека: Проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз», 09 листопада 2023 р. – С. 54-58.
<https://crust.ust.edu.ua/bitstreams/b04fa203-9129-4840-bbc6-2a86f9799ea9/download> (тези конференції)

Внесок автора в наукові публікації, що написані у співавторстві: у фахових статтях [1] і [2] аналізував матеріали та визначав мету і постановку завдань.

ABSTRACT

Ihor Ostapenko. Improvement of the methods for strengthening bridge foundations using inventory structures under hostilities. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 192 – Building Industry and Civil Engineering. – Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, 2024.

The dissertation is dedicated to the improvement of methods of strengthening the foundations of railway and road bridges, destroyed as a result of hostilities, during their restoration, temporary and major repairs. The comparative analysis of foundation strengthening methods is conceptually based on the systematization of modern global and domestic experience in bridge construction and reconstruction, the impact analysis of the consequences of hostilities and modern military conflicts on the state of transport infrastructure, and the determination of optimal methods of strengthening bridge foundations during their restoration. The author's analysis contributed to the development of well-founded recommendations for the implementation of construction work technology for strengthening the foundations of bridges during their capital and temporary restoration in the conditions of hostilities.

The relevance of the study of determining the optimal methods of strengthening the bridges foundations in the conditions of hostilities is due to the presence of problems during the restoration of bridges destroyed as a result of the full-scale armed aggression of the Russian Federation against Ukraine. The influence of the constant threat of active hostilities, missile and bomb attacks, the activities of sabotage groups, the impossibility due to the presence of constant risks and threats of the restoration of transport infrastructure facilities by traditional methods determines the need to adapt the methods of strengthening the foundations to the new economic conditions of the country at war.

The basis of the comparative analysis is the unique Ukrainian experience for mass restoration and ensuring the functioning of critical transport infrastructure in conditions of constant hostilities, which requires systematization, synthesis of

damage factors influence on the state of bridge structures and comparison of the obtained results to determine optimal design solutions. The aim of the dissertation is to improve the methods of strengthening bridge foundations in the conditions of hostilities with the use of inventory structures.

In order to achieve the goal, an analysis of the condition of the critical infrastructure of the road transport complex of Ukraine, destroyed as a result of hostilities on the territory of Ukraine during the Anti-terrorist operation in the territory of Donetsk and Luhansk regions and repelling the full-scale armed aggression of the Russian Federation against Ukraine (the Russian-Ukrainian war), as well as methodological approaches to determining optimal technical and economic solutions for bridge restoration was conducted.

The conclusions of the analysis demonstrate that the conducted studies of the state of the road transport complex of Ukraine and ensuring its stable functioning in the conditions of hostilities on the territory of the state with the development of optimal recovery methods allow fulfilling all the tasks of the dissertation. Scientifically based approaches to the selection of design solutions for the restoration of destroyed transport objects have been created, and optimal methods of strengthening the foundations of bridges during their mass restoration in the conditions of work complications work due to hostilities have been determined.

The originality lies in the fact that for the first time the justification of the schemes of temporary bridges were obtained using a combination of structures from the inventory bridge assets, considering the degree of influence of hostilities of various levels, which allowed to reduce the work completion time by 2.3 ... 2.5 times. It has been proven that a new method of restoring bridges, which, unlike the existing ones, is based on the maximum use of surviving structures on the old axis with the implementation of improved methods of foundations strengthening and the use of inventory structures, allows to increase the static load capacity by 20 % from the design one.

The results of a comparative analysis of the application of methods of strengthening the bridges foundations destroyed as a result of hostilities during their mass restoration with the determination of optimal engineering and technical

solutions and economic indicators prove a high degree of compliance with the theoretical and practical provisions of the methods of strengthening foundations developed by the doctoral student for further normalization and systematic application for solving the problem of technical coverage and restoration of transport objects of critical infrastructure.

The work's recommendations are used by the structural units of the State Special Service of Transport of the Ministry of Defense of Ukraine in the process of conducting design and research as well as restoration works on destroyed objects of the national transport infrastructure in order to ensure the appropriate level of traffic safety and their long-term operation.

Keywords: bridge foundation, reinforcement methods, mass recovery, hostilities, inventory structures, transport infrastructure.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 АНАЛІЗ СТАНУ КРИТИЧНИХ ОБ’ЄКТІВ ДОРОЖНЬОГО КОМПЛЕКСУ ЄДИНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	19
1.1 Аналіз науково-технічної задачі забезпечення безперебійного функціонування транспортно-дорожнього комплексу як складової національної безпеки України	19
1.2 Аналіз методологічних підходів до визначення стійкості критичних об’єктів транспортної інфраструктури	22
1.3 Обґрунтування постановки наукової проблематики дослідження методів підсилення фундаментів мостів.....	25
2 МЕТОДИКИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ФУНДАМЕНТІВ МОСТІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ СУЧАСНОГО СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВОЄННИХ КОНФЛІКТІВ	31
2.1 Узагальнення та проблемні питання транспортно-дорожнього комплексу України за період 2014-2021 років	31
2.2 Моніторинг руйнувань мостів внаслідок ведення бойових дій при проведенні Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей.....	34
2.3 Застосування методів підсилення фундаментів мостів при відновленні транспортної інфраструктури Донецької та Луганської областей, зруйнованої внаслідок бойових дій.....	39
3 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИК МАСОВОГО ВІДНОВЛЕННЯ МОСТІВ В УМОВАХ ПОВНОМАСШТАБНИХ БОЙОВИХ ДІЙ.....	47
3.1 Визначення розрахункових параметрів тимчасового відновлення мостів в умовах ведення бойових дій	47
3.2 Аналіз методів підсилення фундаментів мостів при виконанні задачі масового відновлення із застосуванням інвентарних конструкцій	62
3.3 Закономірності взаємодії конструктивних елементів фундаментів мостів із елементами підсилення в їх спільній роботі	72

	11
4 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ	
МОСТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНВЕНТАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	80
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	98

ВСТУП

Найбільш актуальним питанням для України протягом останнього десятиріччя є захист своєї незалежності та територіальної цілісності. У 2014 році народ України під час Революції Гідності визнав своє право на самовизначення та вступ до Європейського союзу, що спричинило початок російською федерацією гібридної війни проти України, анексію Автономної республіки Крим та утворення сепаратистських угруповань в Донецькій та Луганській областях. 24 лютого 2022 року російська федерація розпочала повномасштабне військове вторгнення на територію України з метою зміни політичної влади та повернення України під свій політичний та економічний контроль. Ведення бойових дій на території України та нанесення збройними силами російської федерації комбінованих ударів засобами ураження дальньої дії спричинило масові руйнування об'єктів критичної транспортної інфраструктури, в тому числі автомобільних і залізничних мостів, що поставило перед державою проблему їх відновлення в стислі терміни та з найменшим залученням ресурсів.

Необхідність відновлення штучних споруд, до яких відносяться мости, тунелі, труби виникає у зв'язку з їх руйнуванням, спричиненим багатьма факторами у ході ведення бойових дій, в разі катастроф природного, техногенного характеру, грубих порушень експлуатації і будівництва а також аварій і катастроф на вказаних об'єктах внаслідок терористичних та диверсійних дій.

Значний обсяг робіт, великі матеріальні і працевзатрати щодо відновлення штучних споруд, зробили їх основними об'єктами загородження на автомобільних та залізничних транспортних напрямках при веденні бойових дій. Так, в ході ведення бойових дій по відсічі збройної агресії російської федерації проти України, зруйновано більш 300 штучних споруд, що найбільші руйнування зафіксовані на сході, півдні й частині півночі України.

В ході ведення бойових дій руйнування штучних споруд здійснювалось противником із застосуванням інженерних боєприпасів, керованих авіаційних і

артилерійських боєприпасів, авіаційних ударів, навмисним механічним руйнуваннями а також діями підрозділів Збройних сил України і іншими законними військовими формуваннями шляхом навмисного руйнування з метою створення військам противника бар'єрів на відповідних напрямках наступу.

Під час проведення досліджень обсягу та характеру руйнувань об'єктів транспортної інфраструктури які мали місце під час веденні бойових дій було встановлено що близько 30 % руйнувань здійснювалося частинами і підрозділами Збройних Сил України і іншими військовими формуваннями Сил оборони при проведенні заходів загородження об'єктів транспортної інфраструктури, при цьому руйнування носили очагово-бар'єрний характер. В той же час встановлено що основні зусилля противника в ході ведення бойових дій спрямовувались на руйнування найбільш важливих штучних споруд (великих і окремих середніх мостів, тунелів, труб під високими насипами) шляхом застосування інженерних боєприпасів, ракетних, авіаційних і артилерійських ударів.

При цьому необхідно відмітити що руйнування цих споруд створювало для військ, що наступають і обороняються великі проблеми в запланованому проведенні операцій на певних рубежах та напрямках, а для цивільного населення унеможливлювало проведення евакуації і постачання гуманітарної допомоги, що в ряді районів і населених пунктів спричинило ряд гуманітарних катастроф. Саме ці фактори визначили пошуки оптимальних рішень для швидкого відновлення бар'єрних об'єктів на транспортних напрямках, якими є мости, із найменшими фінансовими та людськими затратами і за умов можливого впливу противника різними засобами ураження.

Аналізуючи сучасний світовий та вітчизняний досвід експлуатації штучних споруд на транспортних напрямках в умовах ведення війн та збройних конфліктів та їх руйнування внаслідок вогневого ураження, диверсійних дій або виконання завдань загородження та недопущення просування руху противника, було систематизовано характери та обсяги руйнувань конструкцій та визначено, що в більшості випадків (приблизно 95 % від загального обсягу

руйнувань) опори мостів, а особливо їх фундаменти залишаються неущкодженими. Поряд з цим слід зазначити, що будівництво фундаментів є достатньо трудомістким процесом та суттєво впливає на термін виконання будівельних робіт. Таким чином, використання вже існуючих фундаментів опор мостів, навіть за умови часткової руйнації тіла опори є оптимальним інженерним рішенням при відновленні мостів.

Також одночасно перед нами постає питання підсилення існуючих фундаментів, що обумовлено різницею проєктних та реальних навантажень, відсутністю або втратою проєктної документації на зазначені об'єкти, виконанням інженерного завдання підвищення несучої та пропускну здатності мостів для забезпечення потреб оборони та застосуванням інвентарних мостових конструкцій, які є в наявності в мобілізаційних запасах на підприємствах, підпорядкованих органам центральної виконавчої влади, відповідальним за формування державної політики в сфері інфраструктури.

Науковою ідеєю дисертаційної роботи є проведення порівняльного аналізу сучасного досвіду відновлення мостів із пошуком оптимальних методів підсилення існуючих фундаментів та використанням інвентарного мостового майна для зменшення економічної вартості та термінів виконання відновлювальних робіт.

Дисертаційна робота виконана відповідно до тематики науково-дослідних робіт Українського державного університету науки і технологій (УДУНТ) (до грудня 2021 року – Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ)), а саме держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР) «Наукове обґрунтування інноваційних технологій відновлення об'єктів транспортної інфраструктури України» (номер державної реєстрації 0119U001139) та «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку "Технічні науки" Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на 2021 рік» (номер державної реєстрації 0122U000381). Автор був виконавцем робіт у вказаних НДР, результати дисертаційної роботи у вигляді використання конструкцій для відновлення зруйнованих об'єктів

застосовувалися під час роботи над ними.

Метою дисертаційної роботи є удосконалення методів підсилення фундаментів мостів в умовах ведення бойових дій із використанням інвентарних конструкцій в контексті проблемного стану транспортно-дорожнього комплексу та руйнувань інфраструктури внаслідок бойових дій.

В дисертаційній роботі висвітлено проблемні питання забезпечення безперебійного функціонування транспортних напрямків в сучасних умовах ведення бойових дій на території України внаслідок відбиття повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України. Визначені комплексні заходи, спрямовані на відновлення та забезпечення сталої експлуатації критичних об'єктів дорожньої інфраструктури єдиної транспортної системи України шляхом оперативного реагування на наявні та виникаючі загрози виведення з ладу транспортних напрямків внаслідок воєнних дій, диверсій, стихійних лих, техногенних аварій. На підставі проведеного аналізу зроблено висновки про необхідність удосконалення методів підсилення фундаментів мостів. На основі отриманих результатів вироблено рекомендації найбільш економічно обґрунтованих та швидко реалізованих методів підсилення фундаментів мостів для прийняття проєктних рішень при реалізації державних програм відновлення транспортно-дорожнього комплексу України.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовані та вирішені такі **завдання дослідження:**

1. Проведення аналізу науково-технічної задачі забезпечення безперебійного функціонування транспортно-дорожнього комплексу, як складової національної безпеки держави.

2. Порівняння сучасного світового та вітчизняного досвіду експлуатації, реконструкції та ремонту мостів як критичних об'єктів та споруд та визначення методологічних підходів до підвищення їх стійкості та несучої спроможності.

3. Визначення впливу ведення бойових дій та воєнних конфліктів на стан критичних об'єктів транспортної інфраструктури та їх сталу роботу в умовах підвищення навантажень та деструктивного впливу засобів вогневого ураження.

4. Визначення методів підсилення фундаментів мостів при відновленні за різними варіантами (тимчасові, капітальні) мостових переходів в умовах ведення бойових дій.

5. Дослідження можливості застосування інвентарних мостових конструкцій штатного та табельного майна підприємств та установ Державної спеціальної служби транспорту Міністерства оборони України та Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України.

6. Проведення порівняння результатів застосування методів підсилення фундаментів мостів в умовах ведення бойових дій і визначення оптимальної ефективності їх вибору при відновленні об'єктів в терміновому та повоєнному відновленні транспортної інфраструктури.

Об'єктом дослідження є конструкції об'єктів критичної інфраструктури транспортно-дорожнього комплексу та їх руйнації внаслідок впливу сторонніх факторів, спричинених веденням бойових дій.

Предметом дослідження є методи підсилення фундаментів опор мостів при їх відновленні внаслідок завданих руйнувань критичних об'єктів транспортної інфраструктури при веденні бойових дій та воєнних конфліктів.

Методом дослідження є порівняльний аналіз сучасних методів підсилення фундаментів автомобільних та залізничних мостів, їх реалізація в сучасному будівництві та наукове обґрунтування вибору та застосування найефективніших методик підсилення фундаментів та підвищення несучої спроможності існуючих опор при виконанні завдань з будівництва тимчасових мостів при терміновому відновленні транспортної інфраструктури, зруйнованої внаслідок ведення бойових дій при відбитті збройної агресії російської федерації проти України та капітальному ремонті мостів при пост воєнному відновленні критичної інфраструктури транспортно-дорожнього комплексу України заснований на узагальненні сучасного досвіду кризового планування та реалізації завдань забезпечення оборони держави та досвіду реалізації завдань в умовах ведення бойових дій та постійного впливу засобів вогневого ураження противника. Експериментальні дані, опрацьовані автором, являли собою результати реалізації проєктних рішень та технологічних процесів,

застосованих при відновленні мостів, зруйнованих при бойових діях в ході ведення Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей у 2014-2016 роках та Операції об'єднаних сил по відбиттю збройної агресії російської федерації у 2017-2022 роках, відбиття повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України починаючи з 24 лютого 2022 року по 2024 рік.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше набули обґрунтування схеми тимчасових мостів із застосуванням комбінації конструкцій з інвентарного мостового майна з врахуванням ступеню впливу бойових дій різного рівню на стан об'єктів критичної інфраструктури єдиної транспортної системи України, що дозволило зменшити термін виконання робіт до 2,3...2,5 разів.

2. Вперше запропоновано новий спосіб відновлення мостів, який, на відміну від існуючих, оснований на максимальному використанні вцілілих конструкцій на старій осі з залученням удосконалених методів підсилення фундаментів і використанням інвентарних конструкцій, що дозволяє збільшити допустиме статичне навантаження на 20 % від проєктного.

Практичне значення отриманих результатів полягає в узагальненні сучасних світових та вітчизняних методів підсилення фундаментів мостів та дослідженні найбільш ефективних, економічно вигідних та простих у технологічному виконанні конструкцій. За сучасним досвідом світових збройних конфліктів локального та міждержавного розміру та унікальним досвідом відбиття Україною повномасштабної збройної агресії суміжної держави впроваджено методику забезпечення відновлення мостових переправ із використанням наявних мостових конструкцій та інвентарного мостового майна. Запропоновано методику тимчасового відновлення мостових переправ із забезпеченням максимальної пропускної спроможності в найкоротші часові показники із максимальним використанням вже існуючих мостових конструкцій і фундаментів.

Особистий внесок здобувача. Ряд наукових робіт був опублікований у співавторстві з іншими вченими. Слід відмітити, що в цих працях автором

визначені мета і постановка наукових завдань та виконана їхня практична реалізація з допомогою авторської методики порівняльного аналізу.

Апробація матеріалів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи викладалися на таких наукових заходах: 80 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», 17-18 вересня 2020 р., ДНУЗТ, м. Дніпро; VII Міжнародна науково-практична конференція «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», 01-02 жовтня 2020 р., ДНУЗТ, м. Дніпро; 81 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», 22-23 квітня 2021 р., ДНУЗТ, м. Дніпро; VIII Міжнародна науково-практичної конференція «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», 19-20 жовтня 2022 р. УДУНТ, м. Дніпро; I Всеукраїнська наукова конференція «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів, загроз» 28 листопада 2022 р. УДУНТ, м. Дніпро; II Міжнародної науково-практичної конференції «Логістика і транспортна безпека: Проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз», 09 листопада 2023 р. УДУНТ, м. Дніпро.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг – 107 сторінок, з них 76 сторінки основного тексту, 25 рисунків на 14 сторінках, 1 таблиця на 1 сторінці, список використаних джерел з 99 назв на 11 сторінках.

1 АНАЛІЗ СТАНУ КРИТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ДОРОЖНЬОГО КОМПЛЕКСУ ЄДИНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

1.1 Аналіз науково-технічної задачі забезпечення безперервного функціонування транспортно-дорожнього комплексу як складової національної безпеки України

Військова агресія на сході України та проведення антитерористичної операції в Донецькій та Луганській областях виявили низку проблемних питань в системі захисту національних інтересів в цілому в державі, територіальної оборони та застосування сил оборони в контексті готовності, захищеності та спроможності об'єктів транспортної інфраструктури до забезпечення виконання покладених на них функцій та завдань. При цьому слід зазначити, що ця проблема є актуальною для всієї транспортної інфраструктури держави. Так, за статистикою Державної служби автомобільних доріг, з 17 тисяч існуючих автомобільних мостів станом на 2020 рік майже 9 тисяч (тобто 50 %) знаходилися в незадовільному або аварійному стані та потребували термінового капітального ремонту або реконструкції.

Аналогічна ситуація склалася в залізничній компоненті транспортної галузі. Так, за даними Укрзалізниці, станом на 2020 рік з 17 тисяч штучних споруд (7 тис. мостів, 90 шляхопроводів, 251 пішохідний міст), що експлуатуються, різні дефекти мали 2,5 тис. споруд (14,3 %). При цьому найбільш складна ситуація саме з мостами: у 1431 з них були несправності, що складало 20,5 % загальної кількості. Дефекти штучних споруд, як і незадовільний стан колій та автомобільних шляхів, призводили до обмеження швидкості руху транспорту, зменшення вантажопідйомності та негативно впливали на пропускну спроможність транспортних напрямків та розвиток національної економіки в цілому.

Проведення активної фази АТО в Донецькій та Луганській областях у 2014 та 2015 роках призвело до значних руйнувань. У приведеному аналізі в роботах (Горбулін, Власюк, Лібанова, & Ляшенко, (Ред.), 2015; Горбулін, (Ред.) 2017; Бойченко, 2024) відмічається, що при проведенні активної фази

антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей значна частина критичних об'єктів транспортної інфраструктури зазнала пошкоджень або часткових чи повних руйнувань. За наведеними довідковими даними Укрзалізниці, станом на 2020 рік в районах проведення операції об'єднаних сил залишилося пошкодженими понад 1610 об'єктів залізничної інфраструктури, на відновлення яких, за попередніми підрахунками, необхідно витратити близько 860 млн. грн. У районі проведення бойових дій на сході країни зазнали руйнувань понад 1700 км автодоріг загального користування, зруйновано 33 мости і шляхопроводи загальною довжиною понад 2800 погонних метрів (Лист заступника начальника, 2016). Орієнтовна сума збитків, завданих дорожньому господарству, оцінювалася в 4,8 млрд. грн. При цьому слід зазначити, що наведені показники лише надають нам уяву про актуальність проблематики лише в період до 2022 року, тобто до початку повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України. З початком повномасштабного ведення бойових дій на територіях Чернігівської, Сумської, Київської, Харківської, Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей та суттєвого збільшення їх інтенсивності та обсягів на територіях Донецької та Луганської областей, застосування обома сторонами зброї дальнього радіусу ураження, такої як балістичні та крилаті ракети, безпілотні літальні системи, ця проблема збільшилася в рази, адже повністю оцінити вартість зруйнованих об'єктів транспортної інфраструктури можна буде після завершення ведення бойових дій та доступу до всіх зруйнованих об'єктів, значна частина яких перебуває на окупованих територіях, не підконтрольних уряду України, а значна частина (практично всі об'єкти критичної транспортної інфраструктури) є в зоні ризику ураження, що безпосередньо позначається на показниках роботи транспортної галузі.

Більша частина штучних споруд продовжують експлуатуватися, знаходячись в незадовільному стані внаслідок експлуатації в умовах ненормованих навантажень, фізичного зносу, впливу кліматичних факторів та пошкоджень внаслідок ведення бойових дій та диверсійної діяльності.

Сучасний досвід проектування та відновлення мостів, зруйнованих

внаслідок ведення бойових дій на сході України, надає нам можливість висвітлити наступні проблемні питання забезпечення безперебійного функціонування транспортних напрямків в сучасних умовах:

- недосконалість нормативного законодавства стосовно визначення критеріїв короткотермінового, тимчасового та капітального відновлення штучних споруд з врахуванням сучасних вимог до умов експлуатації та навантажень (відсутність національних нормативних актів, визначаючих порядок та способи виконання відновлення об'єктів транспортної інфраструктури за тимчасовими та короткотерміновими способами, що в свою чергу унеможливорює проєктування та швидке виконання відновлення об'єктів зазначеними способами);

- необхідність типових методів відновлення мостів та шляхопроводів з урахуванням сучасних норм постійних та тимчасових навантажень, з використанням існуючих конструкцій та фундаментів з метою зменшення вартості відновлювальних робіт та термінів їх виконання;

- потреба в обстеженні стратегічних технічного стану транспортної інфраструктури із визначенням завчасних обсягів робіт технічного прикриття, а саме завчасне підсилення фундаментів опор, підсилення несучих конструкцій з метою збільшення несучої спроможності об'єктів та зниження ступеню їх вразливості (Лантух-Лященко, Кир'ян, Коваль, 2002; Лантух-Лященко, 2004; Лантух-Лященко, 2008).

В розділі розглядається вирішення наукової задачі забезпечення підвищення ефективності експлуатації та підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури транспортно-дорожнього комплексу України шляхом вибору оптимальних методів підсилення фундаментів мостів та їх сталої інтенсивної експлуатації в умовах ведення бойових дій по відбиттю повномасштабної збройної агресії та спроможностей економіки держави воєнного часу. Враховано досвід ведення збройних конфліктів у сучасному світі, порівняно методологічні підходи до вирішення поставлених завдань та узагальнено отримані результати.

1.2 Аналіз методологічних підходів до визначення стійкості критичних об'єктів транспортної інфраструктури

Результати аналізу, викладеного в цьому пункті, опубліковані в роботі (Тютюкін, & Остапенко, 2020). Виконуючи аналіз викликів і загроз національній безпеці, які виникають на даний час, слід зазначити, що на пріоритетних позиціях виступають виклики і загрози воєнної агресії, поряд з якими невід'ємно виникають виклики економічної безпеки держави, які проявляються в виникненні наступних ризиків (Pereira, Bašić, Bogunovic, & Barcelo, 2022; Borodina, & Lyashenko, 2022):

- масова міграція населення із зони бойових дій та супутні їй соціальні та гуманітарні кризові явища;
- припинення роботи підприємств, як похідна зниження ВВП та зростання безробіття;
- ускладнення зовнішніх економічних відносин, втрата ринків збуту експортної продукції та джерел наповнення бюджету держави зовнішніми валютними надходженнями.

Як бачимо, зазначені ризики дуже суттєво впливають не лише на розвиток, вони ставлять під загрозу існування держави в цілому. Одним із шляхів їх усунення є вирішення державою питання забезпечення сталого функціонування транспортно-дорожнього комплексу, його захищеності від зовнішнього впливу вражаючих факторів, підтримання його спроможності забезпечувати транспортні перевезення для потреб оборони та економіки.

Враховуючи зазначене, для вирішення цього питання необхідно зосередитись на ризиках в контексті проблемного стану транспортно-дорожнього комплексу. До них відносяться (Страхова, Голубєв, Ковальов, & Тодирика, 2002; Лучко, Сулим, & Кир'ян, 2004; Яо Сінь, Шуляр, Салійчук, & Кваша, 2022):

- незадовільний стан будівельних конструкцій;
- моральна застарілість та фізичний знос об'єктів транспортно-дорожнього комплексу;
- необхідність розвитку інфраструктури для забезпечення

функціонування транспортних напрямків відповідно потреб національної економіки та забезпечення захисту її територіальної цілісності та незалежності.

Ця проблематика вже висвітлювалася в наукових колах, але з часом, враховуючи останні глобальні процеси в світі та тенденції переходу локальних збройних конфліктів в повномасштабні війни між суміжними державами, її актуальність лише загострюється. В цьому контексті ми вимушені визнати, що на часі дуже актуальна проблематика глобалізації світових ринків та постійної боротьби провідних держав світу за ресурси, ринки виробництва та збуту, постійний пошук нових ринків збуту та посилення присутності на існуючих. Похідною вирішення цієї задачі є забезпечення контролю з боку провідних держав основних напрямів руху ресурсів та товарів для забезпечення потреб економіки.

При дослідженні цієї задачі на перший погляд основною метою держав є вирішення завдань захисту своєї економіки та боротьба з конкуренцією на ринках збуту з урахуванням глобалізації світових економічних процесів. Але при більш детальному розгляді на перший план виходить політичне домінування з боку провідних держав світу на визначених територіях, яке впроваджується через забезпечення контролю над транспортними коридорами та логістичним забезпеченням. Виходячи з цього, реалізація політики провідних держав в транспортній сфері спрямована на забезпечення стійкого функціонування їхніх транспортно-логістичних систем із завданнями пріоритетного забезпечення потреб національних економік. Відповідно при розгляді заданої проблематики на фоні пріоритетних завдань розвитку національної транспортної системи України ми впевнено можемо визначити стратегічними пріоритетами держави забезпечення сталого розвитку національної транспортної системи не лише як запоруки економічного зростання держави та забезпечення зайнятості населення, але й як спосіб посилення міжнародного впливу і позицій України в світі. Окремо слід визначити проблему впливу на стан та умови сталого функціонування транспортно-дорожнього комплексу цілеспрямованого знищення транспортної інфраструктури у проведенні гібридної війни проти України протягом 2014-

2021 років та повномасштабного вторгнення з 2022 року по теперішній час.

Розгляд зазначених проблемних питань стійкості залізничних та автомобільних мостів, як об'єктів критичної інфраструктури, які є найменше захищеними критичними об'єктами в транспортно-дорожньому комплексі та відповідно є об'єктами найбільшої імовірності ураження, забезпечує створення в державі комплексних заходів, спрямованих на безперебійне функціонування транспортної інфраструктури шляхом оперативного реагування на наявні та виникаючі загрози виведення з ладу транспортних напрямків внаслідок воєнних дій, диверсій, стихійних лих, техногенних аварій.

Виходячи із зазначених факторів впливу транспортно-дорожнього комплексу на економічну складову національної безпеки необхідно виділити та розглянути окремо мости як споруди критичної інфраструктури, будівництво, відновлення та реконструкція яких є достатньо складний, економічно затратний та тривалий в часі процес. Окремо слід зазначити що цільове знищення або виведення з ладу (приведення у непридатний стан для подальшої експлуатації) одного або декількох зазначених об'єктів фактично завжди призводить до значного зменшення функціональності всього транспортного напрямку.

Директива ЄС 114/08/ЕС (Директива ЄС, 2008) визначає поняття європейської критичної інфраструктури як «об'єкт, систему або її частину <...>, яка має важливе значення для підтримки життєво важливих суспільних функцій, здоров'я, безпеки, економічного або соціального добробуту людей, і порушення якої матиме значний вплив <...> в результаті нездатності підтримувати ці функції». Критична інфраструктура поступово стала найбільш важливими технічними системами, що впливають на соціальне та економічне життя в усіх країнах ЄС. Методології оцінки ризиків, що застосовуються балансоутримувачами та операторами, є чітко галузевими або навіть орієнтованими на конкретні об'єкти. Крім того, методології, що застосовуються операторами, не зазнали особливого впливу Директиви. Більшість операторів вже мають певні методології для підтримки своєї повсякденної діяльності. Однак не зрозуміло, чи можуть ці методології слугувати меті Директиви, а саме підвищенню рівня захисту критичної інфраструктури для зменшення впливу на

економіку та суспільство. Проведений аналіз наявних методологічних підходів до оцінки ризиків критичної інфраструктури визначає критичну транспортну інфраструктуру як складну систему, порушення одних складових якої призводить до збою та порушення роботи всієї системи.

Стратегією національної безпеки України визначені пріоритетні завдання національної політики безпеки, одним із яких є забезпечення безпеки критичної інфраструктури. Світовий досвід чітко демонструє тенденцію до об'єднання питань забезпечення захисту (*protection*) та безпеки критичної інфраструктури (*security*) з питаннями забезпечення її стійкості (*resilience*). Це уможливорює чітко визначити зміст діяльності суб'єктів системи забезпечення безпеки складових елементів критичної інфраструктури транспорту, якими в галузі транспорту є Міністерство інфраструктури, Державна агенція відновлення інфраструктури, Укрзалізниця, Обласні державні адміністрації (обласні військові адміністрації), Державна спеціальна служба транспорту Міністерства оборони України. Відповідно до зазначеного для всіх суб'єктів системи забезпечення безпеки критичної інфраструктури об'єктами забезпечення першочергово являються мости та гідротехнічні споруди та завдання формалізувати вимоги щодо такої діяльності на окремих етапах для вироблення єдиних методів забезпечення стійкості об'єктів.

1.3 Обґрунтування постановки наукової проблематики дослідження методів підсилення фундаментів мостів

Проблематика моніторингу мостів, як об'єктів критичної інфраструктури актуальна протягом всього періоду незалежності нашої держави (Тютюкін, & Остапенко, 2020). Так, за дослідженнями Безбабічева, Кірієнко, Черепньов, & Топчій, (2016) в Україні експлуатуються понад 28000 мостів загальною протяжністю більше 805,8 км. Більшість мостів побудовані зі збірних залізобетонних конструкцій. 63 % таких мостів будувалися ще за нормами 1962 року, або попередніх та в більшості не задовольняють вимогам діючих норм за вантажопідйомністю та габаритами (Кваша, & Салійчук, 2013). До того ж протягом у 2006 та 2009 р. були введені в дію нові нормативи з проектування,

що передбачають більші проєктні навантаження (A15 та НК-80) (Коваль, & Балабух, 2007; Кваша, Салійчук, & Тузяк, 2013; Каршень, et al., 2020). У рішенні Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України від 13 жовтня 2009 зверталась увага на критичний стан автодорожніх мостів та транспортних споруд як складових систем життєзабезпечення на території України.

Відновленню та реконструкції мостів приділялося достатньо уваги як в вітчизняних наукових колах, так і в світовому науковому товаристві (Khan, 2015; Marochka, & Boboshko, 2018; Kovalchuk, Sysyn, Hnativ, et al., 2021; Шаповал, Пономаренко, Іванова, Терещук, & Шашенко, 2021). Так, авторами досліджень (Кваша, 2006; Кваша, Салійчук, Котенко, & Нечипоренко, 2013) реконструкції автомобільних мостів, пошкоджених внаслідок повеней в Львівській та Закарпатській областях зазначено, що при відновленні об'єктів інфраструктури, які зазнали пошкодження внаслідок впливу природних або техногенних факторів доцільно приймати проєктні рішення підсилення існуючих фундаментів та конструкцій мосту, що дозволяє значно зменшити вартість відновлювальних робіт в порівнянні з новим будівництвом або капітальним ремонтом із заміною старих конструкцій на нові.

Основними видами реконструкції мостів є збільшення габаритних розмірів мостового полотна, підсилення несучої спроможності мостового полотна шляхом влаштування монолітної залізобетонної плити, підсилення конструктивних елементів прогонових споруд та опор, підсилення фундаментів опор. В дослідженні Ключник, & Горбатюк, (2022) авторами проведено аналіз прийнятих проєктних рішень при відновленні пошкоджених мостів. Виходячи з наведеного, визначено, що питання утримання в справному стані автомобільних та залізничних мостів, як об'єктів критичної транспортної інфраструктури є надзвичайно актуальними на теперішній час. Враховуючи достатній розвиток транспортної мережі, найбільш економічно доцільним є проведення капітального ремонту або реконструкції існуючих аварійних або зруйнованих мостів в протиположності будівництву нових (Козак, & Федорук, 2020).

В дисертаційній роботі розглядається питання підсилення фундаментів

мостів як однієї з найбільш складних конструкційних складових при реконструкції (відновленні) мостів (Гернич, Ключник, & Співак, 2021; Дубінчик, & Недужа, 2021; Бугаєвський, & Назаренко, 2023). Проблематика цього питання обумовлена наступними факторами:

- фундаменти опор мостів, як правило, розміщені в важкодоступних та складних для виконання робіт умовах місцевості з сильно пересіченими рельєфами місцевості;

- виконання робіт з підсилення конструкційних елементів фундаментів проводяться з врахуванням впливу на конструкції постійних навантажень та неможливості їх розвантаження;

- виконання робіт по підсиленню фундаментів мостів обумовлено технологічною складністю робіт, що виконуються, внаслідок обмеженого простору обумовленого наявними конструкціями прольотів мосту;

- виконання робіт з підсилення фундаментів мостів потребує завчасних вишукувальних та підготовчих робіт, що в свою чергу збільшує часові показники виконання робіт.

Враховуючи наведені фактори, логічно прийти до висновку, що підсилення фундаментів мостів є достатньо складним технологічним процесом, виконання якого потребує значної витрати часу та інших ресурсів.

Сучасні вітчизняні та світові наукові школи мостобудування визначають наступні способи підсилення фундаментів мостів:

- збільшення площі обпирання фундаментів мілкового закладання на природних основах;

- влаштування додаткових пальових фундаментів з буро набивних, гвинтових та інших типів паль з об'єднанням їх в загальну конструкційну систему з існуючими фундаментами та спорудженням додаткових опор;

- підсилення існуючих пальових фундаментів шляхом зміни несучої спроможності основ за рахунок влаштування додаткових пальових фундаментів або окремих паль;

- влаштування інших конструктивних елементів для забезпечення підсилення існуючих фундаментів мостів.

Перелічені способи не є остаточними та допускають різні варіанти поєднання конструкційних рішень. Об'єктами окремих досліджень є взаємодія існуючих конструкцій з новими, взаємодія фундаментів з основами під впливом різних груп навантажень.

Особливої актуальності розгляд питань підсилення конструктивних елементів та фундаментів мостів набув при вирішенні завдань із забезпечення розгортання і проведення антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей. Так, при забезпеченні розгортання сил антитерористичної операції, першочерговим питанням стало збільшення вантажопідйомності автомобільних мостів для пропуску важкої техніки, що було вирішено шляхом влаштування додаткових тимчасових опор на лежневих фундаментах із застосуванням інвентарних металевих конструкцій та типових елементів із збірного залізобетону (блоки, плити, балки та інше). Але слід зазначити, що в більшості випадків всі ці заходи виконувалися ситуаційно та не мали системного підходу, потребували додаткового часу для їх виконання та додаткових витрат. Мали місце випадки влаштування додаткових мостових переправ на ближньому обході з застосуванням парків важких механізованих мостів та інвентарних низько водних мостів внаслідок незадовільного стану капітальних мостів та їх неспроможності забезпечити пропуск важкої техніки.

Але влаштування ближніх обходів є достатньо витратним заходом та наявний ресурс інвентарних тимчасових мостів досить обмежений. Поряд з цим застосування інвентарних та важких механізованих мостів є короткотермінове, використовувати їх протягом тривалого часу без постійного обслуговування неможливе.

Виходячи з наведеного, визначено, що основними об'єктами забезпечення переправ через водні перешкоди та суходоли при переміщенні військ у 2014-2015 роках були автомобільні мости на дорогах загального та місцевого значення у Донецькій та Луганській областях. Внаслідок активних бойових дій значна частина об'єктів на напрямках просування сил АТО зазнали значних пошкоджень або були знищені.

Питання тимчасового відновлення цих об'єктів та забезпечення пропуску

транспорту оперативно вирішувалися експлуатаційними підрозділами Укравтодору, підрозділами ДСНС та Держспецтрансслужби. Виконання робіт ускладнювалося загрозою вогневого впливу з боку незаконних збройних формувань та необхідністю постійної перевірки місцевості та об'єктів на наявність вибухових речовин. Також ускладнювало виконання робіт відсутність технічної документації майже на всі об'єкти та брак часу на проведення камеральних досліджень. Але основним недоліком постала відсутність обґрунтованих та простих в реалізації рішень підсилення фундаментів мостів при їх відновленні, ремонті та реконструкції в у регіонах, де ведуться бойові або стабілізаційні дії. Питання відновлення, реконструкції та капітальних ремонтів мостів вийшло на пріоритетні засади в транспортному будівництві в Україні за останні 10 років. Десятки мостів було відремонтовано та реконструйовано за програмою Президента України «Велике будівництво». В ході виконання цієї програми постійно поставало питання підсилення фундаментів опор та самих конструкцій опор мостів (Borodina, & Lyashenko, 2022).

З початком 24 лютого 2022 року повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України відбулося масове руйнування мостів різних типів в багатьох регіонах України. Значний обсяг робіт, великі матеріальні і працевзатрати що до відновлення штучних споруд, зробили їх основними об'єктами загородження, в тому числі на залізницях, при веденні бойових дій. Так, в ході ведення бойових дій по відсічі збройної агресії російської федерації проти України, зруйновано більш 300 штучних споруд, при цьому найбільші руйнування зафіксовані на сході, півдні й частині півночі України.

На першому етапі російсько-української війни ці руйнування були обумовлені проведенням Силами оборони України бойових оборонних дій з метою зупинки просування ворога територією України. З досягненням цієї мети та проведенням контр наступальних операцій з деокупації території України першочергово постало питання відновлення зруйнованих мостів для забезпечення руху військ та відновлення функцій держави на де окупованих територіях. Державною спеціальною службою транспорту у взаємодії з

службами автомобільних доріг Київської, Сумської, Харківської, Чернігівської, Херсонської та Миколаївської областей та Укрзалізницею було здійснено відновлення більше 90 мостів різних типів, ця робота продовжується і зараз. Саме при потребі масового відновлення зруйнованих мостів гостро виникла проблема збереження вцілілих конструкцій опор та підсилення їх фундаментів для забезпечення стійкості та збільшення вантажопідйомності мостів. Ця проблема посилилася з підвищенням інтенсивності ведення бойових дій на всій території України, намаганнями ворога знищити транспортну інфраструктуру та порушити ланцюги логістичного постачання Сил оборони України. Засоби дальнього радіусу ураження дозволяють вражати об'єкти інфраструктури на відстанях 2000 км. і більше, тобто на всій території України. За характером руйнувань конструктивних елементів мостів можна визначити три основні: 1) прогонові споруди мостів; 2) проміжні та берегові опори мостів; 3) опорні частини. Руйнування всіх цих складових за сучасним досвідом ведення бойових дій та відновлювальних робіт потребувало часткової або повної заміни конструктивного елементу та підсилення інших конструкцій мосту, на які відбувся вплив детонації вибухових речовин з метою нейтралізації їх руйнівної дії та підвищення стійкості конструкцій. Практично у всіх випадках вирішувалося питання підсилення фундаментів опор мостів для забезпечення відновлення їх стійкості та підвищення несучої здатності.

2 МЕТОДИКИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ФУНДАМЕНТІВ МОСТІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ СУЧАСНОГО СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВОЄННИХ КОНФЛІКІВ

2.1 Узагальнення та проблемні питання транспортно-дорожнього комплексу України за період 2014-2021 років

Результати узагальнення, викладеного в цьому пункті, опубліковані в роботах (Остапенко, 2021a; 2021b). Проблемний стан національного транспортно-дорожнього комплексу є одним із ключових питань, вирішення яких потребує негайного реагування керівництва держави та прийняття політичних та економічних рішень, спрямованих на приведення його до міжнародних стандартів, що забезпечить інтеграцію держави до Європейського союзу (Логутова, & Полторацький, 2015; Lemishko, Davydenko, & Shevchenko, 2022; Ляшенко, & Чеботарьов, 2024).

Президент України Володимир Зеленський на Загальноукраїнському форумі «Україна 30. Інфраструктура» визначив основні напрямки розвитку інфраструктури. Другим пріоритетним після розвитку доріг є національна програма відновлення мостів, в рамках якої у 2020 році побудовано, відремонтовано та оновлено 216 мостів.

Поряд із цими позитивними досягненнями реалізації національної програми «Велике будівництво» щодо покращення стану інфраструктурних об'єктів транспортно-дорожнього комплексу в Україні на теперішній час гостро постає загальнодержавна проблема моніторингу, утримання, капітальних та поточних ремонтів, реконструкції та будівництва мостів (Кваша, 2006; Шемаєв, 2018; Тютюкін, & Остапенко, 2020; Ключник, & Гернич, 2023).

Протягом майже всього часу незалежності України цьому питанню не приділялося достатньої уваги, фінансування відповідних бюджетних програм здійснювалося не в повному обсягу та призвело до критичного стану автомобільних мостів та шляхопроводів на автомобільних дорогах державного та місцевого значення. До основних проблемних питань критичного стану зазначених споруд відносяться (Кваша, 2006; Казарян, & Сахарова, 2018;

Тютюкін, & Остапенко, 2020; Шумаков, Бутнік, Бугаєвський, С. О., & Бугаєвський, В. О. (2023):

- незадовільний стан будівельних конструкцій прогонових споруд та опор внаслідок тривалого впливу атмосферних факторів та перевантаження конструкцій транспортними потоками;

- моральна застарілість та фізичний знос автомобільних мостів, збудованих протягом 50-х – 80-х років ХХ сторіччя;

- обумовлена сучасними загрозами нагальна потреба моніторингу, забезпечення та розвитку інфраструктури для сталого функціонування транспортних напрямків відповідно потреб національної економіки.

Проблематика моніторингу мостів, як об'єктів критичної інфраструктури актуальна протягом всього періоду незалежності нашої держави. Так, за даними досліджень, проведених протягом 2010-2020 років, в Україні експлуатуються понад 28000 мостів загальною протяжністю більше 805,8 км (Єрмакова, & Нечипоренко, 2021). Більшість мостів побудовані зі збірних залізобетонних конструкцій. 63 % таких мостів будувалися ще за нормами 1962 року, або попередніх та в більшості не задовольняють вимогам діючих норм за вантажопідйомністю та габаритами (Івасюк, М. О., et al., 2016; 2017). До того ж протягом у 2006 та 2009 р. були введені в дію нові нормативи з проектування, що передбачають більші навантаження (А15 та НК-80).

У рішенні Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України від 13 жовтня 2009 року зверталась увага на те, що «...критичний стан автодорожніх мостів та транспортних споруд як складових систем життєзабезпечення на території України підвищує ризик виникнення Надзвичайних ситуацій техногенного та природнього характерів и становить Відповідно до статті 7 Закону України «Про основи національної безпеки України» загрозу національній безпеці в економічній та екологічній сферах...».

Відновленню та реконструкції мостів приділялося достатньо уваги як в вітчизняних наукових колах, так і в світовому науковому товаристві (Forde, 2016; Gega, & Bozo, 2017; Казарян, & Сахарова, 2018; Hadžić, & Molnár, 2019;

Azizininini, 2020). За вітчизняним досвідом мостобудування при реконструкції автомобільних мостів, пошкоджених внаслідок повеней в Львівській та Закарпатській областях було економічно доведено, що при відновленні об'єктів інфраструктури, які зазнали пошкодження внаслідок впливу природних або техногенних факторів доцільно приймати проєктні рішення підсилення існуючих фундаментів та конструкцій мосту в протигагу будівництву нових, що дозволяє значно зменшити вартість робіт в порівнянні з новим будівництвом або капітальним ремонтом із заміною старих конструкцій.

Розгляду цієї проблематики було приділено багато уваги як в цілому в світовому науковому співтоваристві, так і в вітчизняних наукових школах. Слід зазначити, що із розвитком глобальних світових економічних процесів її актуальність лише загострюється. Аналізуючи стан штучних споруд на автомобільних дорогах України, слід зазначити на значне перевантаження автомобільних доріг транспортом, особливо вантажним взагалі, і негативний руйнівний вплив цього перевантаження на мости на цих дорогах (Кваша, & Салійчук, 2013; Кваша, Салійчук, Котенко, & Нечипоренко, 2013; Кожушко, Бильченко, & Кислов, 2016).

На превеликий жаль в державі на теперішній час відсутній дієвий механізм моніторингу та контролю вагового навантаження вантажного автомобільного транспорту. Поряд із цим останні десятиріччя ми спостерігаємо перерозподіл вантажних потоків, особливо в аграрному секторі економіки між залізничними та автомобільними перевезеннями в бік збільшення останніх. Відсутність дієвого вагового контролю разом із збільшенням інтенсивності перевезень вантажів автомобільним транспортом призводить до прискорення процесів руйнування несучих конструкцій мостів та дорожнього покриття. Як приклад приведемо руйнування одного прогону автомобільного мосту через Олексіївську затоку Каховського водосховище на 206 км. траси Н-23 Кропивницькій – Запоріжжя поблизу с. Олексіївка, яке сталося внаслідок руху по ньому вантажного автомобіля, завантаженого металевим прокатом. Враховуючи на стратегічну важливість даного транспортного напрямку, в найкоротші терміни було забезпечено дублювання мостового переходу

понтонною мостовою переправою (ПМП) інженерним підрозділом Збройних Сил України та капітальний ремонт існуючого пошкодженого мосту.

2.2 Моніторинг руйнувань мостів внаслідок ведення бойових дій при проведенні Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей

Особливої актуальності для нашої держави розгляд питань відновлення (капітального ремонту, реконструкції) мостів набув при вирішенні завдань із відновлення транспортної інфраструктури, зруйнованої внаслідок бойових дій при проведенні Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей. Проведення активної фази АТО в Донецькій та Луганській областях у 2014 та 2015 роках призвело до значних руйнувань (54 % штучних споруд на автомобільних напрямках та 23 % на залізничних ділянках) транспортної інфраструктури в цих регіонах.

Поряд із цим першочерговою до вирішення постає проблема часткового або повного руйнування значної кількості автомобільних мостів внаслідок ведення бойових дій при проведенні активної фази антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей у 2014 році. Під час поновлення контролю за територіями зазначеного регіону підрозділами Збройних Сил України, Міністерства внутрішніх справ та добровольчими формуваннями внаслідок активного супротиву незаконно утворених збройних формувань під керівництвом іноземних інструкторів було здійснено руйнування вибуховим способом автомобільних мостів через річку Сіверський Донець поблизу міст Слов'янськ, Рубіжне, Лисичанськ, Сєверодонецьк, шляхопроводів на трасі Бахмут – Попасна. Також у 2015 році диверсійно-розвідувальною групою було підірвано дві секції мосту через р. Лугань поблизу с. Троїцьке Попаснянського району. Для Служби автомобільних доріг України (Укравтодор) та вітчизняних проектних організацій та містобудівельних підприємств відновлення зазначених об'єктів стало пріоритетним завданням, успішно виконаним протягом 2016-2018 років.

Зазначена проблематика в сучасних важких для вітчизняної економіки

умовах вимагає консолідації сучасних наукових підходів та практичної реалізації найефективніших світових та вітчизняних технологій будівництва мостів в реалізації державних програм розвитку транспортної інфраструктури. Дослідивши характер руйнувань об'єктів транспортної інфраструктури, в тому числі залізничних та автомобільних мостів в ході проведення активної фази Антитерористичної операції в Донецькій та Луганській областях у 2014-2015 роках, можна виділити основні характеристики руйнувань та пошкоджень мостів:

- руйнування прогонових споруд (рис. 2.1);
- часткове руйнування конструктивних елементів мосту із порушенням;
- несучої спроможності всієї конструкції (рис. 2.2);
- руйнування опор та фундаментів внаслідок підриву (рис. 2.3);
- руйнування фундаментів пальових опор естакадного типу (рис. 2.4).



Рисунок 2.1 – Руйнування прогонових споруд та опор внаслідок підриву



Рисунок 2.2 – Часткове пошкодження прогонових споруд та опор



Рисунок 2.3 – Руйнування пальового фундаменту на високому ростверку внаслідок підриву боеприпасом великої потужності



Рисунок 2.4 – Руйнування пальового фундаменту опори естакадного типу

Слід зазначити, що ці руйнування здійснювалися в основному із застосуванням ручного закладання вибухівки, в деяких випадках мали місце пошкодження конструкцій від попадання артилерійських боєприпасів.

Зруйновані мости або їх окремі конструкційні елементи створили суттєве перешкоди для органів державної влади та Збройних Сил України в проведенні комплексних заходів Антитерористичної операції в Донецькій та Луганській областях та поверненні функцій держави в цих регіонах.

Основними характеристиками руйнувань внаслідок бойових дій в цей період були руйнування окремих конструкцій мостів – прогонових споруд та опор. Для дослідження впливу їх руйнування на стан фундаментів мостів розглянемо кожен спосіб руйнувань окремо. Основними наслідками руйнувань прогонових споруд мосту є обрушення прогонових споруд окремо або сумісною монолітною конструкцією з залізобетонною плитою, що спричиняло вторинні руйнування опор та їх фундаментів.

Руйнівним фактором для фундаментів опор в цьому випадку є негативний вплив енергії вибуху на фундаменти опор, який імпульсно передається через

тіло опори під час підриву та руйнівна дія якого призводить до втрати несучої спроможності фундаменту об'єкту частково або повністю. Визначення ступеня пошкодження фундаменту опори мосту в цьому випадку ускладнюється відсутністю можливості візуального огляду та інструментального дослідження стану фундаменту та несучої спроможності основ наявним великим обсягом обрушених конструктивних елементів мосту та потребує проведення робіт по їх розчищенню.

Другим способом руйнування мосту є підриг тіла опори. Даний спосіб має більш руйнівні наслідки для фундаменту опори, оскільки енергія вибуху в даному випадку є більш спрямованою та з високою ймовірністю безпосередньо призводить до механічного руйнування самого фундаменту опори.

В більшості випадків руйнувань мостів при веденні бойових дій під час Антитерористичної операції було поєднання обох способів, що значно збільшує обсяги руйнувань та ускладнює процес відновлення мосту.

Таким чином, досліджуючи наукову проблематику відновлення мостів, зруйнованих внаслідок ведення бойових дій при проведенні Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей, автором спільно з виконавцями було визначено проблему дослідження стану конструкцій мосту після руйнування, визначення руйнівного впливу енергії вибуху на фундаменти опор та визначення оптимального методу підсилення фундаменту опори, що реалізується при відновленні мосту. Планування відновлення зруйнованих мостів відбувалося шляхом проведення капітального ремонту в цілому з виконанням комплексу заходів по підвищенню несучої спроможності всіх конструктивних елементів. У всіх випадках здійснювався ремонт конструкцій опор та підсилення їх фундаментів. Особливу увагу приділялося дослідженню впливу на фундаменти опор наслідків руйнування та ведення бойових дій в районах розміщення об'єктів, ліквідація їх наслідків та дослідження несучої спроможності фундаментів мостів з метою їх підсилення та подальшої експлуатації з врахуванням сучасних навантажень.

2.3 Застосування методів підсилення фундаментів мостів при відновленні транспортної інфраструктури Донецької та Луганської областей, зруйнованої внаслідок бойових дій

Часткове відновлення найбільш важливих мостів було виконано одразу протягом 2014-2015 років. Ці завдання терміново вирішувалися інженерними підрозділами ЗСУ встановленням елементів інвентарних важких механізованих мостів (ТММ) замість зруйнованих елементів, влаштуванням підрозділами Державної спеціальної служби транспорту дублюючих понтонних переправ з майна комплекту наплавного залізничного мосту НЗМ-56, відновлення зруйнованих берегових секцій мостів влаштуванням земляних насипів підрозділами Державної служби з надзвичайних ситуацій та Служби автомобільних доріг України (Укравтодор). Всі ці заходи мали за мету термінове та тимчасове вирішення проблем сталого транспортного забезпечення сил АТО/ООС, мали тимчасовий характер відновлення експлуатації мостів та потребували термінового вирішення. На даному етапі були застосовані методи підсилення фундаментів і опор існуючих мостів додатковими інвентарними конструкціями (інвентарне мостове майно ІМІ та аналоги) що дозволило зменшити термін виконання робіт до 2,3...2,5 разів. Враховуючи достатньо складні гідрогеологічні умови регіону, виконання робіт з підсилення фундаментів автомобільних мостів на річці Сіверський Донець було ускладнено значними (до 50 см за добу) перепадами рівня межових вод.

Для запобігання розвитку кризи функціонування транспортної інфраструктури в зазначених регіонах Урядом України прийнято програму розвитку транспортних коридорів на 2017-2018 роки, забезпечуючи транспортне сполучення за маршрутами Маріуполь – Покровськ – Краматорськ – Харків, Київ – Харків – Сєверодонецьк – Станиця Луганська, Запоріжжя – Курахове – Волноваха – Маріуполь. В рамках цієї програми було профінансовано капітальний ремонт понад 20 мостів та шляхопроводів на автомобільних дорогах державного та місцевого значення Донецької та Луганської областей.

Вітчизняний досвід капітальних ремонтів зазначених об'єктів виявив

низку проблемних питань практичної реалізації проєктних рішень в умовах сьогодення. Основними такими питаннями слід визначити недостатні виробничі та технологічні спроможності містобудівельних підприємств по виконанню будівельних робіт в визначені терміни та недостатні ресурсні та логістичні можливості економіки регіону по забезпеченню будівництва або капітального ремонту інфраструктурних об'єктів. Основними причинами недостатніх виробничих спроможностей містобудівельних підприємств є наявний дефіцит кадрового забезпечення, обумовлений трудовою міграцією вітчизняних фахівців, як робітничих спеціальностей так і інженерно-технічних кадрів за кордон, застарілість виробничого обладнання та техніки, недостатня впровадження сучасних та інноваційних технологій будівельного виробництва.

Також слід зазначити, що суттєвий відсоток приватних комерційних будівельних підприємств, які були визнані переможцями конкурсу на виконання робіт, після виконання незначного відсотку (10...40 %) робіт розірвали договірні зобов'язання із замовником внаслідок відсутності у підприємства спроможностей (відсутність фахівців, оборотного фінансового ресурсу, техніки та виробничого обладнання) виконати взяті зобов'язання. Також одним із основних проблемних питань стало обмеженість виробничих можливостей наявних вітчизняних підприємств по виготовленню мостових залізобетонних конструкцій (прогонових споруд), особливо нетипових та великих розмірів, що в свою чергу суттєво збільшило терміни виконання робіт.

Всі зазначені об'єкти відновлювалися шляхом проведення капітального ремонту, однак слід зазначити, що у більшості випадків внаслідок руйнування та обрушення несучих конструкцій мостів виконання регламентних робіт при капітальних ремонтах ускладнювало наявність великих обсягів додаткових робіт по дослідженню несучої спроможності вцілілих конструкцій фундаментів та опор мостів, виконання робіт по підсиленню фундаментів та опор. Неможливість проведення повноцінних досліджень цих питань на етапах перед проєктних вишукувальних робіт обумовлена відсутністю доступу до всіх конструктивних елементів мосту внаслідок завалів зруйнованих конструкцій, наявних наливів ґрунту та донних осадів та іншими супроводжуваними

факторами. Основними проєктними рішеннями підсилення та ремонту фундаментів опор були прийняті збільшення площі обпирання фундаментів на основи та влаштування додаткових пальових фундаментів (автомобільний міст на автодорозі загального користування місцевого значення О131201 КПП «Танюшівка» – Старобільськ – Бахмут (Комишуваха – Попасна – Миронівське ГРЕС)). На інших об'єктах підсилення фундаментів виконувалося частково влаштуванням додаткових пальових фундаментів та включенням їх у загальну із існуючими роботу. На всіх об'єктах проводився ремонт поверхонь залізобетонних конструкцій фундаментів і опор ремонтними сумішами «SIKA» або еквівалентами та відновлення гідроізоляції та захисту поверхонь.

При проведенні капітальних ремонтів автомобільних мостів в Луганській області значною проблемою стала необхідність підсилення існуючих фундаментів опор мостів. В даному регіоні залягають достатньо специфічні ґрунти – сланці на верхніх шарах (глибиною до 3 метрів), суглинки на глибинах від 3 до 20 метрів, тверді породи (глини, граніти) на глибинах понад 20 метрів. Верхні шари ґрунтів не забезпечували несучої проєктної здатності та потребували зміни несучої спроможності основ, але незначні обсяги цих робіт та велика розосередженість об'єктів та велика вартість підготовчих робіт призводили до економічної недоцільності застосування класичних сучасних методів підсилення фундаментів, таких, як метод підсилення несучої спроможності основ ін'єкційним цементуванням ґрунтів основ фундаментів.

Дослідженням виконаних проєктних рішень капітального ремонту та реконструкції автомобільних мостів, виконаних протягом 2015-2021 років в районах проведення Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей та Операції Об'єднаних сил по відбиттю збройної агресії російської федерації на території України можна визначити основні чотири основних методи підсилення фундаментів, які були реалізовані:

- 1) збільшення площі обпирання фундаментів мілкого закладання на природних основах;
- 2) влаштування додаткових пальових фундаментів з об'єднанням їх в загальну конструкційну систему з існуючими фундаментами;

3) підсилення існуючих пальових фундаментів шляхом зміни несучої спроможності основ;

4) влаштування інших конструктивних елементів для забезпечення підсилення існуючих фундаментів мостів.

Дослідження наведених та застосованих на практиці методів підсилення фундаментів мостів дає нам змогу проаналізувати їх позитивні та негативні сторони.

Методика збільшення площі обпирання на природну основу має достатньо прості технологічні рішення, але потребує значних обсягів земляних робіт по відкриттю існуючих фундаментів та зворотному переміщенню ґрунту, що не завжди технологічно доцільно та можливо, враховуючи геологічні та географічні умови розміщення мосту та можливість виконання робіт в різних кліматичних умовах, тобто потребує сприятливих для застосування умов. Позитивними аспектами її застосування є достатньо прості технології виконання робіт. Негативною стороною є залежність умов виконання робіт з підсилення фундаментів опор від кліматичних факторів, географічних умов розміщення об'єкту та велика економічна затратна складова комплексу земляних робіт по відкриттю існуючих фундаментів та зворотному переміщенню земляних мас.

Достатньо ефективно показали себе проєктні рішення влаштування додаткових пальових фундаментів з об'єднанням їх в загальну конструкційну систему з існуючими фундаментами та спорудженням додаткових опор. Ці методи було реалізовано при реконструкції мостів із зміною конструкційної схеми мосту та збереженням існуючих опор та фундаментів та капітальному ремонті мосту за існуючою конструкційною схемою.

Застосування вказаних конструкційних рішень було реалізовано при проєктуванні капітального ремонту автомобільних мостів через р. Лугань на автомобільній дорозі загального користування (пункт пропуску «Танюшівка» – Старобільськ – Артемівськ) Комишуваха – Попасна у Луганській області. та через р. Сіверський Донець на автомобільній дорозі на ділянці Т-13-02 «Танюшівка» – Старобільськ – Бахмут, у Луганській області (рис. 5) та

практично виконано підрозділами Державної спеціальної служби транспорту. Цей метод було оптимізовано до умов виконання технологічних операцій по зануренню залізобетонних паль дизель-молотами УР-1250 універсальними копровими агрегатами УПА на базі автомобільних стрілових кранів КС-4561 в обмежених габаритах з подальшим об'єднанням в єдину конструкцію з існуючим фундаментом. Особливістю цього методу є застосування легкого і мобільного копрового обладнання і попереднього буріння напрямних свердловин. Саме це дає нам можливість зробити висновки про доцільність широкого застосування саме цього методу при підсиленні фундаментів опор малих, середніх мостів, де економічно недоцільно або неможливо внаслідок великого ступеня ризику застосування складних технологій зміни несучої спроможності фундаментів (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Проведення дослідження стану залізобетонних споруд
з використанням ультразвуку

Для вирішення проблеми підсилення фундаментів опор великих мостів, зруйнованих під час бойових дій в ході проведення Антитерористичної операції були застосовані методи підсилення існуючих палевих фундаментів шляхом занурення додаткових залізобетонних паль з включенням їх в спільну роботу із

наявними фундаментами, зміни несучої спроможності основ шляхом влаштування додаткових паль навколо існуючих фундаментів опор, збільшення площі обпирання фундаментів мілкого залягання на природні основи.

Сумісна робота фундаментів та опор є надзвичайно важливою складовою безпечної експлуатації мосту, тому надзвичайно важливо забезпечення несучої спроможності фундаментів та опор при будівництві нових та капітальному ремонті існуючих мостів. Якщо при новому будівництві немає фізичних обмежень при проєктуванні та спорудженні фундаментів та опор мостів із заданими несучими спроможностями, то у випадку капітального ремонту є певні обмеження, визначені станом споруди, її розміщенням, умовами під'їзду та іншими факторами.

Автором розглянуто сучасні методи підсилення фундаментів мостів при виконанні капітальних ремонтів автомобільних мостів, зруйнованих частково у 2014-2015 роках. Але основним недоліком є відсутність обґрунтованого та простого рішення підсилення фундаментів автомобільних та залізничних мостів при їх відновленні на існуючому положенні із найменшими економічними витратами в умовах ведення будівництва в районах бойових дій та при локальних воєнних конфліктах. Досвід виконання робіт з капітальних ремонтів мостів, зруйнованих при веденні бойових дій під час Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей виявив низку проблемних питань унормування та організації будівництва із врахуванням специфіки розміщення цих об'єктів та характеру їх пошкодження.

В першу чергу виникла проблема вивчення стану фундаментів мостів в зв'язку із розміщенням об'єктів в районах ведення бойових дій і наявній безпосередній загрозі життю для людей, які здійснюють дослідження. Наявна загроза дуже сильно обмежила можливості залучення для досліджень фахівців вітчизняних та іноземних проєктних організацій, що значно ускладнило проведення камеральних досліджень для проєктування капітальних ремонтів мостів. Також на етапах проведення визначення стану об'єктів було встановлено відсутність у балансоутримувачів об'єктів проєктної та виконавчої документації, що значно ускладнило їх дослідження.

По-друге, актуальною проблемою стала відсутність достатньої виробничої бази наявних профільних мостобудівельних підприємств для виконання специфічних вузкопрофільних високотехнологічних робіт по підсиленню існуючих фундаментів мостів для підвищення їх несучої спроможності. Так, визначенні проектною організацією при проектуванні капітального ремонту автомобільних мостів через р. Лугань на автомобільній дорозі загального користування (пункт пропуску «Танюшівка» – Старобільськ – Артемівськ) Комишуваха – Попасна у Луганській області рішення по підсиленню фундаменту мілкого залегання проміжних опор в руслі ріки з використанням методу збільшення площі опирання практично не було виконано в зв'язку із неможливістю використання шпунтового огородження котловану внаслідок відсутності у мостобудівельних підприємств наявних запасів інвентарного металевих шпунтового огородження. Виготовлення цього інвентарного шпунтового огородження потребувало додаткового часу та суттєво збільшувало кошторисну вартість капітального ремонту зазначеного мосту. Успішним рішенням стало корегування проекту та вибір методу підсилення фундаментів мосту зміною несучої спроможності основ шляхом влаштування додаткових пальових фундаментів з залізобетонних паль без об'єднання їх в єдину конструкцію (рис. 2.6).

Задача була реалізована зануренням залізобетонних паль з сторонами 40 на 40 см та довжиною 13 м з зануренням паль ударним способом з використанням універсальних пальобійних агрегатів (УПА) з дизель-молотом УР-1250. Проведені натурні дослідження несучої спроможності основи показали забезпечення підсилення наявних фундаментів мілкого залегання проміжних опор автомобільного мосту до визначеної величини, яка забезпечувала підвищення несучої спроможності фундаментів опор мосту та приведення до нормативних показників вантажопідйомності мосту в цілому.



Рисунок 2.6 – Підсилення пальових фундаментів додатковими палями з об'єднанням їх в загальну конструкцію

Унікальністю застосування цього методу стало те, що в районах проведення Антитерористичної операції в Донецькій та Луганській областях, які фактично були районами ведення бойових дій, хоч і в обмежених масштабах мала місце проблема виконання робіт із залученням підрядних організацій та сучасних технічних засобів будівництва. Автором проведено моніторинг ринку будівництва мостів та влаштування фундаментів різної складності на території України та можливості залучення іноземних компаній. Як наслідок, отримана відмова від усіх учасників ринку приймати участь в будівництві об'єктів, які перебувають в зоні ризику ведення бойових дій. Для виконання проектних рішень було залучено палейні агрегати УСА. Зазначені пале забивні агрегати за своїми технічними параметрами застосовувалися для занурення залізобетонних паль довжиною до 12 м та вагою до 3 тон та для занурення паль більшої довжини були застосовані вперше. Натурними випробуваннями підтверджено можливість та доцільність їх використання.

3 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИК МАСОВОГО ВІДНОВЛЕННЯ МОСТІВ В УМОВАХ ПОВНОМАСШТАБНИХ БОЙОВИХ ДІЙ

3.1 Визначення розрахункових параметрів тимчасового відновлення мостів в умовах ведення бойових дій

Об'єкти інфраструктури стали однією з ключових сфер, які зазнали найбільших атак з боку агресора, з розгортанням повномасштабної війни проти України. Зокрема, у перші тижні війни, російські війська здійснювали масовані обстріли авіаційної інфраструктури, передусім аеродромів не лише військового, але й цивільного і військово-цивільного (подвійного) призначення. Згодом цілями активних атак стали об'єкти залізничної інфраструктури, зокрема електричні підстанції. Так, найбільших руйнувань інфраструктурі, як в абсолютному, так і у вартісному виразі, стали об'єкти дорожньої інфраструктури. По-перше, з урахуванням того, що вони природно стають об'єктами обстрілу під час артилерійських атак, а, по-друге, через те, що саме російські танки активно пересуваються українськими дорогами протягом всього періоду воєнної агресії. Зокрема, автомобільними шляхами пролягали лінії комунікацій між російськими військами в Україні, та їхнім тилом на території росії та білорусі. З початку бойових дій в Україні були пошкоджені 19 аеропортів і цивільних аеродромів; щонайменше 126 залізничних вокзалів і станцій. За попередніми оцінками, загальний обсяг прямих збитків об'єктів транспортної інфраструктури в Україні склав \$36,6 млрд. При тому сума непрямих збитків склала \$23,2 млрд. Ця сума включає недоотримання доходів підприємствами сектору, витрати на демонтаж зруйнованих об'єктів, економічні витрати, зменшення видатків на дорожнє будівництво, економічні витрати, пов'язані з виконанням цивільних та військових задач тощо. Детальний аналіз стану доріг, що зазнали пошкоджень внаслідок обстрілів та проїзду танків, можливий лише за умови спеціалізованого технічного обстеження, що не є можливим в ситуації, коли на значній частині території України досі тривають активні бойові дії, а частина доріг і мостів знаходиться

на тимчасово окупованій (після 24.02.2022) території. Втім, аналіз карти бойових дій та порівняння її з мережею автомобільних доріг, дозволяє зробити попередні розрахунки щодо того, яка орієнтовна довжина доріг зазнала пошкоджень внаслідок війни, як внаслідок ракетних обстрілів, так і внаслідок переміщення танків. Згідно з дослідженнями (Green, & Cebon, 1997; MacDonald, 2014), руйнуючий ефект від танка може досягати 2,36 рази руйнуючого ефекту від стандартного навантаження на вісь від цивільного транспорту. В даному дослідженні брали танки Т-72, що є гарною апроксимацію у випадку війни в Україні, оскільки велика частина танків схожа за фізичними характеристиками або є навіть важчими. Поверхневий шар доріг зазнає серйозного пошкодження через металеві гусениці. Також руйнуючий ефект від гальмування танка у 2,38 рази більше ефекту від руйнівного впливу маси танку на розтягнення дороги. Нарешті, руйнуючий ефект під час маневрів танка в 1,22 рази більше ефекту від руйнівного впливу маси танку на розтягнення дороги. Важливо, що дія напруження від танку є не тільки горизонтальною, але й вертикальною, і максимальна напруга, згідно з дослідженнями, знаходиться на глибині до 3 метрів, що впливає на ступінь руйнування не тільки поверхневого шару доріг. Особливістю оцінки доріг також є те, що середня вартість пошкоджень і відновлення одного кілометра дороги в місті є, зазвичай, суттєво дорожчою (різниця може бути вище на третину і більше) у порівнянні з вартістю шляхів поза містом, оскільки будівництво доріг в містах, крім будівництва дорожнього полотна, також передбачає будівництво комунікаційних мереж, тротуарів, освітлення тощо. За попередніми оцінками, в цілому, внаслідок бойових дій, руйнувань зазнали 25,4 тис. км доріг та 344 мостів і мостових переходів державного, місцевого або комунального значення. Оцінка пошкоджень та руйнувань мостів та мостових переходів визначає приблизно \$2,6 млрд. збитків по інфраструктурі.

З початку війни були зроблені окремі роботи по відновленню мостів. Зокрема, було відновлений проїзд 78 штучними спорудами на дорогах державного значення в 2022 році (найбільше в Київській (20), Чернігівській (20) та Харківській (17) областях), та 5 протягом 2023 року.

При вирішенні наукової задачі масового відновлення транспортної інфраструктури на деокупованих територіях та в районах ведення бойових дій постало питання визначення збитків, завданих транспортній інфраструктурі, дослідження можливості використання при відновленні зруйнованих мостів інвентарного мостового майна типу ІМІ-60 та його аналогів та інвентарних збірно-розбірних прогонових споруд типу ЗРП та їх аналогів.

Вирішення актуального наукового завдання з визначення теоретико-методологічного обґрунтування можливості використання інвентарних мостових конструкцій довгострокового зберігання запроектованих за нормами до 1984 року (ТУПМ-47; СН-200-620) під навантаження Н6 і виготовленими за типовими проєктами для відновлення зруйнованих мостових переходів у ході ведення бойових дій з урахуванням нових норм проєктування навантаження С-14. Наукові результати, викладені в цьому пункті, опубліковані в роботах (Остапенко, 2022а; 2022с). Отже є очевидним, що необхідність швидкого відновлення зруйнованої бойовими діями транспортної інфраструктури для забезпечення необхідних обсягів перевезень зумовлює розробку та прийняття відповідних рішень. Важливим резервом для будівництва тимчасових мостових переходів є металеві конструкції – мостові балки та опорні елементи інвентарного мостового майна довгострокового зберігання. Аналіз низки наукових публікацій, наявного науково-методичного матеріалу, у яких вирішується питання відновлення мостів (Bai, & Burkett, 2006; Більченко, Кіслов, Бадаєва, 2008; Kuhlmann, Breunig, Gölz, Pourostad, & Stempniewski, 2020) та, зокрема, їхніх фундаментів (Boeckmann, & Loehr, 2017; Agrawal, Jalinoos, Davis, Hoomaan, & Sanayei, 2018; Davis, Hoomaan, Agrawal, Sanayei, & Jalinoos, 2019), безумовно враховує окремі підходи і способи виконання заходів будівництва.

Дослідження різних підходів щодо конструктивно-технологічних рішень застосування інвентарного мостового майна при будівництві і тимчасовому відновленні мостових переходів визначило наукове завдання з розроблення рекомендацій щодо багатоцільового застосування інвентарного мостового майна при будівництві і тимчасовому відновленні мостових переходів під

нормовані навантаження.

Для того, щоб визначити ефективність застосування інвентарних конструкцій при масовому відновленні залізничних мостів, проведено дослідження статистичних даних руйнувань за період 2022-2023 роки. Масовані руйнування штучних споруд було відмічено на окремих зосереджених, вузлових ділянках залізниць і місцевості головним чином в районах опору військ, що відходять а також на головних логістичних напрямках, в той час як на місцях ведення військових дій з рідкою і розгалуженою мережею залізниць масових руйнувань штучних будов не спостерігалось.

Аналізуючи основні елементи руйнувань і пошкоджень штучних споруд необхідно відмітити що такими руйнуваннями були:

- руйнуванні всіх опор і прогонових будов мостів;
- руйнуванням окремих частин мостів (опор, прогонових будов),
- руйнуванням їх окремих ділянок або конструктивних елементів верхньої будови колії,
- пробоїни у залізобетонній плиті проїзної частини мосту, незначні вивали обробки тунелю та ін.
- для труб і тунелів – руйнування по всій довжині.

Досліджуючи характери руйнування штучних споруд вдалося з'ясувати певні закономірності:

- практично в усіх випадках підірвані прогонові будови переважно обрушувалися на берега (на початку і в кінці мосту) разом з береговими прогінними спорудами або в русло річки і деформувалися, при цьому разом з уламками підірваних опор вони захаращували русло водотоків;
- зафіксовано випадки часткового руйнування мосту де один або обидва кінці прогонових будов утримувалися на опорах і супроводжувалися перекосом і деформаціями частин прогонової будови, що удержувалася на опорах;
- мали місце випадки підривання берегових опор моста, що призводило до руйнування фундаментів опор та земляного полотна на підходах до нього та обрушення прогонової будови;
- при руйнуванні малих мостів зарядами за стоянами утворювалися

проломи, довжина яких була значно більше довжини підірваних мостів, при цьому фактично були повністю зруйновані фундаменти опор

У всіх наведених вище випадках основними проблемними питаннями, які потребували пошуку оптимальних інженерних рішень були наступні питання з загальними проблемами:

- великі обсяги руйнувань мостових конструкцій прогонових споруд обумовлювали велику потребу їх виготовлення в дуже стислі терміни, що було неможливо виконати, враховуючи стан та можливості підприємств будівельної галузі національної економіки України;

- потреба масового відновлення мостів визначила необхідність прийняття конструкторських рішень спорудження та підсилення опор мостів із забезпеченням простих технологій будівництва;

- організація виконання будівельних робіт з відновлення мостів потребувала вироблення стійких та взаємосумісних шляхів логістичного постачання матеріалів та конструкцій, захищених від засобів ураження противника та забезпечуючих визначені обсяги та терміни відновлення мостів та функціонування транспортних напрямків;

- забезпечення сталого функціонування відновлених об'єктів в умовах інтенсивних транспортних потоків, впливу різноманітних статичних та динамічних навантажень та деструктивних факторів впливу бойових дій на стан фундаментів та конструкцій мостів.

Вирішення всього спектру проблематики забезпечувало використання при відновленні інвентарних мостових конструкцій ІМІ-60 та інвентарних збірно-розбірних прогонових споруд зі сталених широкопалочних балок.

Найпершим питанням постала можливість їх використання після тривалого зберігання та відповідність їх несучої спроможності сучасним навантажнням. Вирішення зазначеної проблематики відкривала шлях для дослідження можливості застосування цих інвентарних конструкцій при відновленні мостів в районах ведення бойових дій.



Рисунок 3.1 – Підривання берегових опор. Залізничний міст між Ірпенем та Києвом



Рисунок 3.2 – Часткове руйнування мосту з руйнуванням прогонових будов



Рисунок 3.3 – Повне руйнування конструкцій опор та прогонових споруд автомобільного мосту



Рисунок 3.4 – Руйнування мостів: автомобільний міст через р. Ірпінь в районі н.п. Стоянка. Підірвані плити прогонових споруд та проміжні опори

Дослідження можливості використання інвентарних мостових конструкцій виготовлених за типовими проєктами запроєктованих за нормами проєктування 1947 року ТУПМ-47 та 1962 року СН-200-62 для відновлення зруйнованих об'єктів національної транспортної інфраструктури було обумовлене терміною потребою проведення аналізу забезпечення розрахункової стійкості мосту при використанні інвентарних мостових конструкцій при його відновленні.

Однією з найважливіших особливостей дослідження є те, що мостові конструкції ІМІ-60 проєктувались за старими нормами 1947 року (ТУПМ-47) та 1962 року (СН-200-62) під навантаження Н6, в той час як в 1984 році на заміну технічним умовам проєктування СН-200-62 були введені нові норми, які значно підвищували інтенсивність навантаження. Тож ставиться під сумнів відповідність експлуатаційних характеристик мостових конструкцій ІМІ-60, які застосовуються для будівництва фундаментів та опор при відновленні штучних споруд. Отже використання інвентарних мостових конструкцій становить проблематику питань пов'язаних з необхідністю проведення досліджень розрахунку і порівняння відповідних норм проєктування (ТУПМ-47; СН-200-620) під навантаження на вісь рухомого складу Н6, з нормами проєктування – СНиП 2.05.03-84 «Мости і труби»-1984 року під навантаження на вісь С14 а також перевірки їх вантажопідйомності з урахуванням наявних дефектів для подальшого їхнього застосування у відновленні мостів і забезпечення безпеки руху транспорту.

На сучасному етапі проєктування залізничних мостів для залізобетонних та металевих прогонових будов згідно вимог норм проєктування 1984 року гарантований термін експлуатації встановлено до ста років. Нормами проєктування 1947 року (ТУПМ-47) та 1962 року (СН-200-62) встановлювали його відповідно на сорок та двадцять років менше. Тобто для використання в сучасних умовах можуть розглядатись конструкції, запроєктовані не раніше 1947 року (їх строк експлуатації сімдесят і менше років) в тому числі мостові конструкції ІМІ-60.

В 1984 році на заміну технічним умовам проєктування СН-200-62 були

введені нові норми, які значно підвищували інтенсивність навантаження СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы»-1984 року під навантаження С14. Таким чином необхідно відмітити що нові залізничні мости проєктуються відповідно нормам проєктування – СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы»-1984 року під навантаження С14.

Вказане навантаження було розроблене з урахуванням тенденції розвитку промисловості і транспорту, які були закладені на період з 1960-2000 роки. Аналіз дослідження тенденції розвитку промисловості і транспорту у вказаний період показав помилковість даного прогнозу.

Темпи росту осьових та вагонних навантажень значно знизились. Тим більш, що рухомий склад збільшеного навантаження здійснює рух, як правило, по окремих маршрутах. У зв'язку такою тенденцією виходячи з попередніх досліджень є підстави на залізницях України поставити величину навантаження у залежність від категорії лінії сполучення. Це дасть значну економію оскільки цілі напрямки не потребуватимуть такого збільшення навантаження при проєктуванні відновлення мостів і цілком можуть експлуатуватись з мостами запроектованим за нормами 1962 року. Вилучені з інших ліній, де проєктуються нові мости, прогонові будови можна встановлювати на лініях з менш інтенсивним навантаженням.

Інтенсивність навантаження типу НК для Н1 у нормах 1931 року складається з двох п'ятиосних потягів з тиском від кожної осі на рейки 35К кН, тендера з тиском від кожної осі 30К кН, вагонного навантаження інтенсивністю 10К кН/м. Схеми навантажень різних років і норм проєктування показано в на рисунку 3.5. Досліджений фактичний матеріал щодо інтенсивності осьових та вагонних навантажень вказує на те що нормами проєктування передбачалось приймати $K=8$, для магістральних ліній з складним профілем, $K=7$ – для ліній загального користування та $K=6$ для під'їзних колій, $K=10$ – для колій особливого призначення. Вказані норми при цьому не враховували транспортери, які з'явилися пізніше. Виходячи з цього, дані інвентарні конструкції під навантаження Н6 могли бути запроектовані тільки за нормами 1931 року і їх термін експлуатації (або зберігання на складах) становить 90

років (значно більше передбачуваного нормами).

1875		1925 Схема «Н»	
1884		1925 Схема «О»	
1896		1931 НК	
1907		1962 (СН-200-62)	Для $1,5 \leq \lambda \leq 50$ м та $0 \leq \alpha \leq 0,5$ для $\alpha = 0,0$ та $\lambda > 50$ $k = \left(10 + \frac{10,79}{e^{0,04\lambda}} + \frac{43,15}{\lambda^2} \right) \left(1 - \frac{\alpha}{4} \right) K$

Рисунок 3.5 – Схеми навантажень різних років в нормах проєктування

Загально відомо що прогонові будови спроектовані відповідно норм 1931, 1947 та 1962 років при обстеженні поділяли за станом на чотири категорії. Стан четвертої категорії – прогонові будови, які мали строк експлуатації шістдесят і більше років, а також ті металеві прогонові будови, що мали корозійний знос тридцять п'ять і більше відсотків (вони не підлягали подальшій експлуатації без підсилення) (Закора, Линник, & Марочка, 2010).

Повертаючись до проблеми дослідження аналізу навантаження Нб раніше проведеними розрахунками доведено, що тиск на вісь становить 210 кН, а розподілене навантаження 60 кН/м. З матеріалів досліджень є очевидним що ці навантаження незначно відрізняються від Європейських навантажень 1967 року (на 20 % менше) (Pinkney, Dagenais, & Wight, 2022).

В контексті дослідження відповідності інвентарного мостового майна сучасним нормам необхідно відмітити що Норми 1962 року передбачали задавати розрахунок навантаження емпіричною формулою (3.1) в якій враховувався локомотив та вагонне навантаження інтенсивністю 140 кН/м, при цьому тиск від локомотивів приймався як рівномірно-розподілений, що тоді було недоліком цих норм, отже тоді згідно цієї гіпотези:

$$k = \left(10 + \frac{10,79}{e^{0,04\lambda}} + \frac{43,15}{\lambda^2} \right) \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{4} \right) K$$

$$\text{при } 1,5 \leq \lambda \leq 50 \text{ м } (0 \leq \alpha \leq 0,5), \lambda \geq 50 \text{ м } (\alpha = 0) \quad (3.1)$$

Як було з'ясовано в 1967 році Міжнародна спілка залізничників запропонувала єдині для Європейських країн норми, які передбачали на перспективу приймати тиск від осі локомотива 230...240 кН, а розподілене навантаження 80...100 кН/м.

Аналіз проведених досліджень навантаження від рухомого складу в період з 1962 року по теперішній час, показав, що воно збільшилось не більше ніж на 10...12 %, у той час як прогонові будови мостів проєктуються під навантаження значно більше. Разом з тим, навантаження типу С14, яке враховується при новому проєктуванні згідно з нормами 1984 року, завищено у зрівнянні з рухомим складом, що експлуатується не тільки в Україні та інших країнах Європейського союзу і країн СНД.

Саме норми проєктування (СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» – 1984 року) під навантаження на вісь С14 пропонують проєктувати мости під статичне осьове навантаження на 20 % більше навіть у зрівнянні з країнами пострадянського простору і країн Євросоюзу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Значення осьових навантажень

Країна	Статичне осьове навантаження (кН)	Країна	Статичне осьове навантаження (кН)
Латвія	235	Словачія	240
Литва	225	росія	250
Польща	240	Україна	300

Порівняльний аналіз статичного осьового навантаження вказує на те, що ці вимоги у різних країнах різні, але різниця незначна.

Відтак продовжуючи розгляд наукової проблематики щодо аналізу впливу навантаження від рухомого складу на інвентарні мостові конструкції, необхідно було проаналізувати види рухомого складу який в теперішній час експлуатує залізниця і провести дослідження що до визначення тиску від осі рухомого складу і схем навантажень різних норм проектування.

За станом на теперішній час АТ «Укрзалізниця» експлуатує рухомий склад: тепловози, електровози та вагони, які за тиском на вісь не відрізняються від характеристик рухомого складу Європейського Союзу та пострадянських країн, тобто 235...250 кН.

Оскільки нас інтересує тільки один параметр – тиск від осі рухомого складу, то з отриманих даних переліку можна стверджувати, що осьове навантаження від локомотивів та вагонів зараз мало відрізняється:

- локомотиви: осьове – 300 кН, розподілене – 127 кН/м;
- вагони: осьове – 300 кН, розподілене – 140 кН/м;
- транспортери: осьове – 330 кН, розподілене – 15,1 кН/м.

В той же час вагони та транспортери як свідчать дані дають більше навантаження. При такій незначній різниці між осьовим навантаженням від вагонів та локомотивів ефективнішою буде схема завантаження всієї лінії впливу рівномірно-розподіленим навантаженням (рис. 3.6).

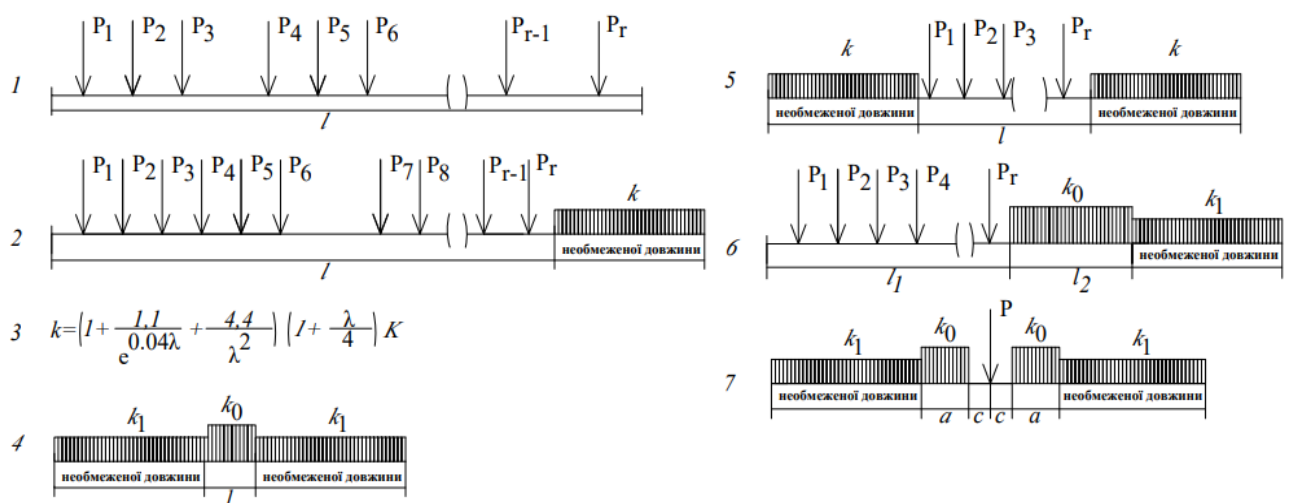


Рисунок 3.6 – Схеми з відносними величинами нормативних навантажень у порівнянні з перспективним С14

У цьому аспекті варто розглянути всі схеми з відносними величинами нормативних навантажень у порівнянні з перспективним С14:

Схема 1. Недолік – фіксована відстань між осями, якої немає у рухомого складу.

Схема 2. Застосовувалась при проєктуванні до 1931 року. Недолік – всього одна ділянка розподіленого навантаження.

Схема 3. Основна схема для проєктування у період 1947-1984 роки. Недолік – відсутність самої схеми навантаження. Труднощі при проєктуванні.

Схема 4. Не знайшла розповсюдження оскільки не мала ділянки з осьовими навантаженнями, хоча для проєктування була найбільш простою.

Схема 5. Використовувалась країнами, що входили до Міжнародної спілки залізничників починаючи з 1967 року. Використовується країнами Європи і зараз. Недолік – не враховані транспортери.

Схема 6. У державах СНД не використовувалась.

Схема 7. С14. Має дуже великий запас у порівнянні з Європейськими нормами та нормами 1962 року. Недолік – перспектива планувалось 20 років (але діє до цього часу). В публікаціях відмічається, що норми 1984 року дуже завищені. Згідно інформації інституту «Гідробудміст» використання у якості нормативного навантаження С11 замість С14 знизить витрати на мости на 25 %».

Вказана схема раніше пропонувалась до застосування, але не знайшла розповсюдження саме з причин різкої на той час, різниці між осьовим та розподіленим вагонним навантаженням.

Діаграма і схеми навантажень для розрахунку мостів їх стисла характеристика позитивних та негативних сторін наведені на рис. 3.7.

Верхня лінія на діаграмі – нові норми проєктування за СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» – 1984 року під навантаження на вісь С14.

Аналізуючи зміни навантаження з діаграми видно, що підйом навантаження починається після С11, що відповідає навантаженню на прогонові будови довжиною 90 м, в той час як максимальні довжини залізобетонних прогонових будов – 33,6 м, металевих з суцільною стінкою –

33,6 м (відносяться всі інвентарні мостові конструкції СРП 18;23;33,6), та залізобетонних – до 65,8 м допустиме навантаження на які становить С10.

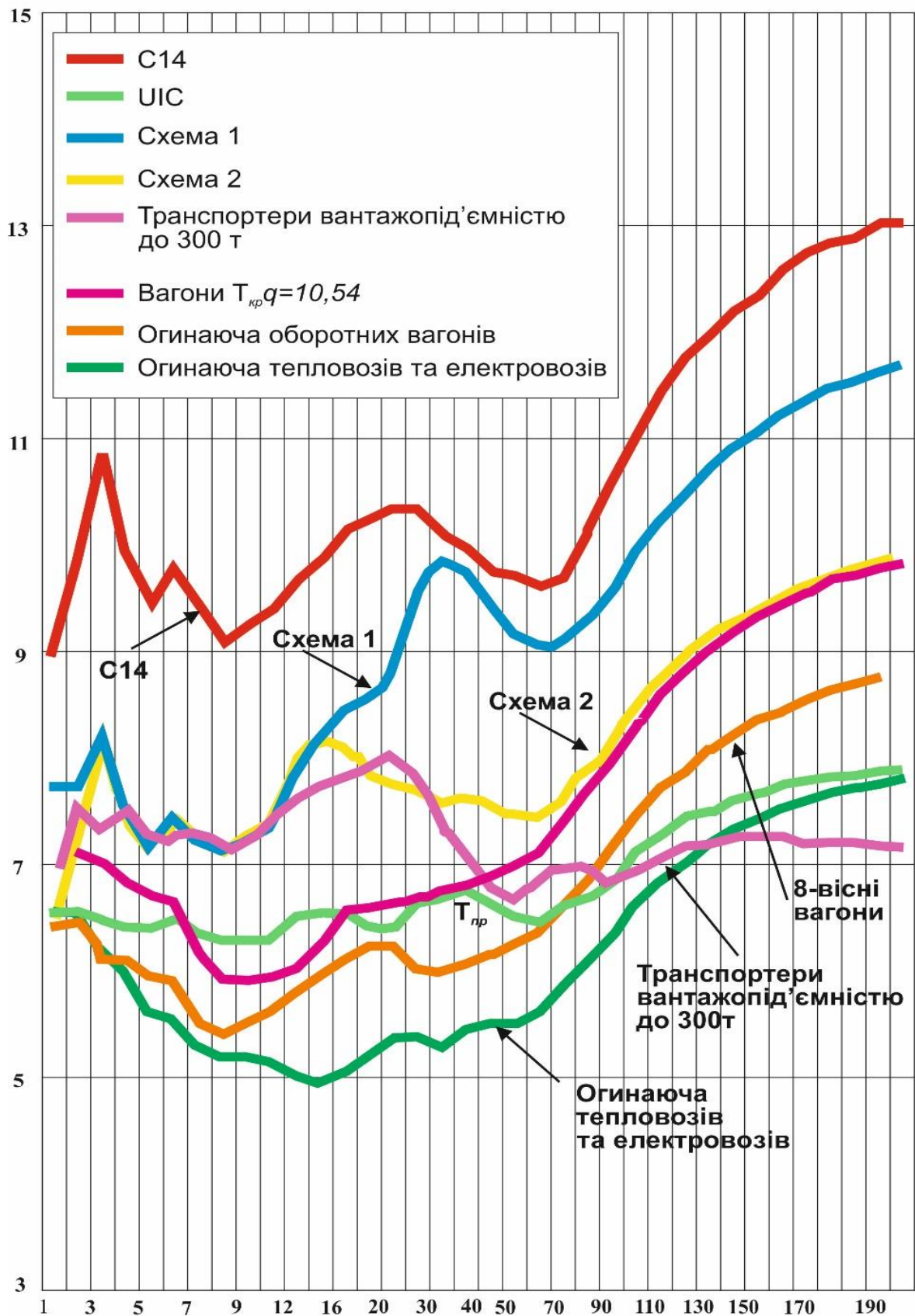


Рисунок 3.7 – Діаграма відносних величин нормативних навантажень у зрівнянні з перспективним С14

У якості виконання дослідницької задачі щодо можливості використання інвентарних мостових конструкцій запроєктованих за нормами до 1984 року автором проведено порівняння норм проєктування СН-200-62 (під Н6) з СНиП 2.05.03-84 «Мости і труби» 1984 року (під С14).

Порівняння норм навантаження 1962 та 1984 років виконано зрівнянням класів. На рис. 3.7 цифрами зліва означені класи навантаження для різних норм проєктування. На схемі і діаграмі великі класи для всіх норм маємо для малих мостів та прогонових будов (за рахунок великого динамічного коефіцієнту (Deng, & Cai, 2010; Reshetnov, Solomka, & Ovchynnykov, 2017; Diachenko, L., Benin, Smirnov, & Diachenko, 2018)), а великих – з довжиною лінії впливу більше 90 м (Shen, Soliman, & Ahmed, 2021).

Аналізуючи норми проєктування СН 200-62 необхідно зазначити що залізничні мости у вказаних нормах проєктування розглянуті дуже стисло (Додаток 9 норм СН 200-62), оскільки спочатку норми не передбачали розповсюдження їх і на залізничні мости.

Виходячи з зазначеного, згідно норм динамічний коефіцієнт обчислюється за формулою:

$$1 + \mu = 1 + \frac{18}{30 + \lambda} \quad (3.2)$$

Отже для моста довжиною 10 м він буде становити 1,45, а для моста довжиною 60 м вже тільки 1,2.

У підсумку рівномірно-розподілені навантаження від рухомого складу обчислюються за формулою (3.3) і надані у нормах проєктування 1962 року у вигляді готової таблиці (Додаток 9 - СН 200-62).

$$k = \left(10 + \frac{10,79}{e^{0,04\lambda}} + \frac{43,15}{\lambda^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) \cdot K$$

$$\text{при } 1,5 \leq \lambda \leq 50 \text{ м } (0 \leq \alpha \leq 0,5), \lambda \geq 50 \text{ м } (\alpha = 0) \quad (3.3)$$

Як приведено в зазначеному порівняльному аналізі, нормативні показники не перевищують норми проектування СН-200-62 – Н6 та СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» – 1984 року – С14, що дозволило зробити висновок про можливість та доцільність застосування інвентарних мостових конструкцій при виконанні задачі масового відновлення мостів в умовах ведення бойових дій. Це дозволило застосувати зазначені інвентарні конструкції про відновленні залізничних та автомобільних мостів починаючи з початку у 2022 році повномасштабної збройної агресії та продовжується по цей час.

3.2 Аналіз методів підсилення фундаментів мостів при виконанні задачі масового відновлення із застосуванням інвентарних конструкцій

При вирішенні завдань масового відновлення зруйнованих мостів постало актуальне питання максимального зменшення термінів та вартості відновлювальних робіт. Саме наявність в підрозділах Державної спеціальної служби транспорту та на підприємствах-балансоутримувачах цих критичних об'єктів інвентарних мостових конструкцій надало можливість застосування типових схем відновлення мостів та розробки типових проєктних рішень. Основою цих проєктних рішень стала вимога до розрахунку їх несучої спроможності як складних систем зі стержневих та пластинчастих елементів (Hällmark, Collin, & Nilsson, 2013; Kitov, Verevicheva, Vatulia, Orel, & Deryzemlia, 2017; Singiresu, 2018; Ivanova, Zhabchyk, Khoziaikina, & Hryhoriev, 2023).

Одним із головних завдань при вирішенні цієї наукової задачі стало вибір оптимальних методів підсилення фундаментів опор мосту, як цілих конструкцій, так і частково зруйнованих, для російських окупаційних військ спрямована на руйнування всієї сфери забезпечення життєдіяльності України в тому числі транспортної і дорожньої інфраструктури основу якої складають мости, переходи через перешкоди і інші штучні споруди.

Цю наукову задачу було успішно вирішено фахівцями та науковцями Державної спеціальної служби транспорту Міністерства оборони України спільно з проєктними організаціями Укрзалізниці та Державної агенції з

відновлення інфраструктури Міністерства інфраструктури України.

В даній роботі розглянуто проєктні рішення відновлення автомобільних та залізничних мостів в районах ведення бойових дій із використанням інвентарних мостових конструкцій та досліджено оптимальні способи підсилення фундаментів мостів із використанням інвентарних конструкцій, реалізуємі в умовах ведення бойових дій.

Дуже ефективно було застосування методу підсилення фундаментів опор мосту додатковими пальовими фундаментами із об'єднанням їх в спільну роботу. Цей метод широко використовувався при відновленні автомобільних мостів типових проєктів рамно-естакадного типу на пальових фундаментах опор.

Типовим прикладом дослідження застосування цього методу є відновлення автомобільного мосту через р. Сейм поблизу м. Кролівець в Сумській області. Автомобільний міст на км 18+776 автомобільної дороги загального користування Р-60 Кролевець-Конотоп-Ромни-Пирятин був зруйнований підрозділами Збройних Сил України шляхом підриву однієї проміжної опори з правого берега річки, яка в цю пору року перебуває на суходолі, в наслідок чого відбувся обвал двох залізобетонних прогонових споруд та часткового пошкодження найближчих опор мосту (рис. 3.8-3.9). Рух автомобільною дорогою через р. Сейм був припинений. Після проведення бойових дій та деокупації регіону постало завдання по відновленню автомобільного мосту та забезпечення сталого функціонування транспортного напрямку. При проведенні дослідження стану об'єкту та окремих його конструкцій після руйнування було встановлено неможливість використання тіла опори №1 внаслідок його повного руйнування та необхідність підсилення фундаментів опор №4, №5 та №6 так як дослідженням їхнього стану встановлено втрату до 20 % несучої спроможності основ внаслідок динамічного впливу вибуху.

Прийнятими проєктними рішеннями було визначено відновити міст по старій осі, зі зменшенням ширини проїзної частини з 10 до 6 м.



Рисунок 3.8 – Обрушення прогонових споруд мосту через р. Сейм



Рисунок 3.9 – Характер руйнування опори мосту через р. Сейм

Для відновлення берегової опори №0 (стояну) та проміжних опор №1 та №2 прийнято проєктне рішення використання інвентарного майна ІМІ-60. Для відновлення прогонових споруд використано інвентарні прогонові будови з зварних широкополочних двотаврових балок $L_p = 18,53$ м із сталі 15ХСНД, які є на довготривалому зберіганні. Для підсилення існуючих фундаментів опор №0, №1, №2 використано метод спорудження додаткових пальових фундаментів з залізобетонних паль із об'єднанням їх в спільну роботу (рис. 3.9).

Як наведено на схемі (рис. 3.10), проєктом було передбачено спорудження трьох проміжних опор з майна ІМІ-60 та перекрити два прогони інвентарними збірно-розбірними прогоновими спорудами.

В якості основи для опор з майна ІМІ-60 було прийнято рішення використати існуючі фундаменти підсиливши їх додатковими залізобетонними палями 300×300 мм довжиною 6 м (рис. 3.11).

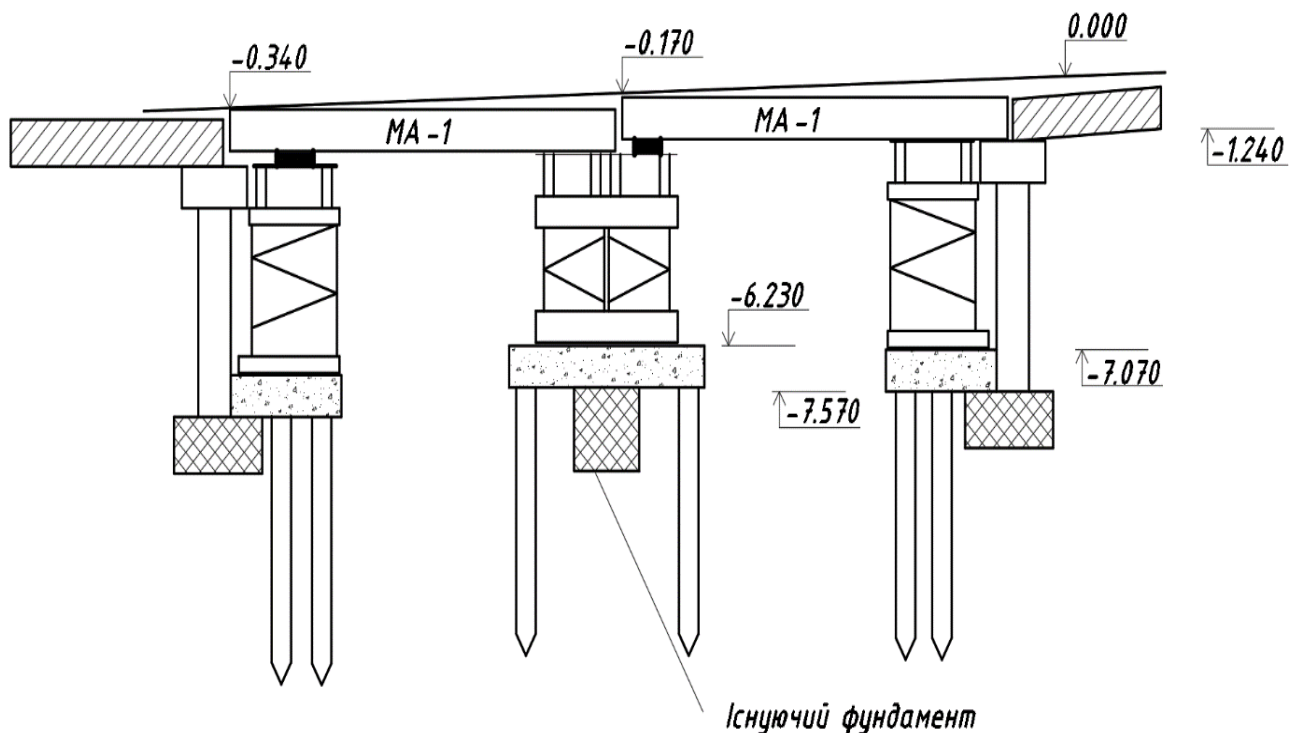


Рисунок 3.10 – Відновлення автомобільного мосту на старій вісі
за допомогою інвентарного мостового майна

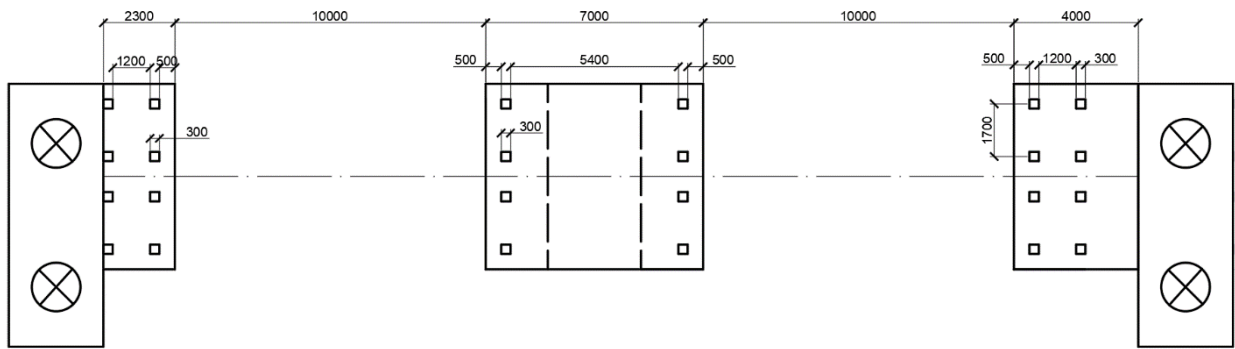


Рисунок 3.11 – Схема розташування додаткових паль

Забивка паль виконувалась універсальним пальобійним агрегатом УСА на крані КС-4561, з дизель-молотом УР-1250 (рис. 3.12). Застосування залізобетонних паль обґрунтовано необхідністю поєднання старого фундаменту з новим в спільну роботу. Палі об'єднувались в сумісну роботу за допомогою монолітного залізобетонного ростверку (рис. 3.13).



Рисунок 3.12 – Забивка паль агрегатом УСА



Рисунок 3.13 – Улаштування монолітного залізобетонного ростверку



Рисунок 3.14 – Встановлення надбудов опор за допомогою стрілового крану



Рисунок 3.15 – Загальний вид відновленого мостового переходу

Наукову новизну цього методу визначає обґрунтування за часів незалежності України проєктних рішень застосування інвентарних мостових конструкцій при відновленні мосту на старій вісі із використанням існуючих фундаментів в районах ведення бойових дій, їх підсилення новими пальовими фундаментами та об'єднанням їх в спільну роботу. Простота застосування цього методу обумовлена використанням інвентарних мостових конструкцій, можливостями широкої варіативності їх зборки в конструкції мосту. Занурення паль пальобійними агрегатами УСА забезпечує виконання робіт в широкому діапазоні відновлення об'єктів, а простота їх експлуатації забезпечує швидку підготовку персоналу.

Цей метод також ефективно було застосовано при вирішенні інженерної задачі з відновлення залізничних мостів. Одним з перших завдань деокупації Київської області стало відновлення залізничного сполучення Київ-Тетерів, перегін Біличі – Ірпінь. Залізничний міст через р. Ірпінь, матеріал прогонових споруд – металеві ферми, повна довжина 125,64 м, схема 2×55 м було виведено з робочого стану шляхом підриву прогонових споруд в місці їх обпирання на берегові опори. Внаслідок підриву сталося руйнування частини конструкцій

прогонових споруд з їх переміщенням відносно проєктного положення (обвалом). Вибуховою силою було пошкоджено цілісність тіла опор та фундаментів опор мосту (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Вид залізничного мосту після руйнування



Рисунок 3.17 – Влаштування додаткового пальового фундаменту



Рисунок 3.18 – Відновлення залізничного мосту за тимчасовою схемою



Рисунок 3.19 – Відкриття залізничного руху по відновленому мосту

Враховуючи термінову потребу відкриття залізничного сполучення та вкрай обмежені терміни відновлення залізничного мосту, було прийняте

рішення відновлення його за тимчасовою схемою, а саме використання існуючих прогонових споруд із зменшенням їх розрахункової довжини (демонтажем зруйнованих конструкцій, що скоротило розрахункову довжину до 44 м) та використанням інвентарних мостових конструкцій – збірно-розбірних прогонових споруд ЗРП з зварних широкополич балок та опор з інвентарного мостового майна ІМІ-60. Підсилення існуючих фундаментів здійснювалось шляхом влаштування додаткових пальових фундаментів з залізобетонних паль з допомогою пальовозабивних агрегатів УСА із об'єднанням їх в спільну роботу залізобетонним ростверком. Для забезпечення підсилення фундаментів зруйнованих опор була виконана розчистка завалів, підготовка існуючих фундаментів до включення їх в спільну роботу з додатковими, виконано занурення паль пальобійними агрегатами УСА, влаштування спільних ростверків, підготовка основ під тимчасові опори, виконано облаштування тимчасових пальових фундаментів та монтаж тимчасових опор з інвентарних мостових конструкцій ІМІ-60, підйом та встановлення в проєктне положення існуючих прогонових споруд та монтаж прогонових споруд з інвентарних мостових балок, відновлення верхньої будови колії. Відкриття руху по відновленому мосту відбулося через 27 діб після початку відновлювальних робіт, що характеризує зменшення терміну виконання робіт до 2,3...2,5 разів.

Науковою новизною застосування цього методу є вперше проведене дослідження можливості впровадження типових проєктів мостового інвентарного майна для відновлення мостів на залізничних напрямках, яке представлено в цьому розділі та яке забезпечило використання інвентарних конструкцій при відновленні залізничних мостів, зруйнованих внаслідок бойових дій на території України в умовах високого ризику повторного їх знищення засобами ураження противника дальньої дії, такими як балістичні та крилаті ракети та керовані авіаційні бомби великої потужності. На відміну від автомобільних мостів, при відновленні залізничних мостів дуже проблематично та затратно приймати проєктні рішення на відновлення мосту за тимчасовими схемами на ближньому або дальньому обході внаслідок дуже великих обсягів

робіт по будівництву тимчасових колій та підходів до мосту із дотриманням допустимих ухилів. При аналізі ведення бойових дій, застосування сучасних зразків озброєння для руйнування критичних об'єктів транспортної інфраструктури було встановлено недоцільність спорудження обходів внаслідок тривалості часу на їх виконання та високої вартості відновлювальних робіт. Виходячи із зазначеного, ефективним способом відновлення об'єктів обрано їхнє відновлення з максимальним збереженням наявних конструкцій мосту на існуючій вісі з використанням інвентарного мостового майна. При застосуванні цього способу відновлення обов'язковою вимогою постало підсилення фундаментів опор для забезпечення несучої спроможності існуючих та будівництва нових мостових конструкцій. При порівнянні можливості застосування цього методу є його простота виконання та забезпечення проєктних показників несучої спроможності конструкцій мосту, що при наявності обмежень в застосуванні інноваційних та класичних методів будівництва внаслідок воєнних дій визначило його ефективність та доцільність.

3.3 Закономірності взаємодії конструктивних елементів фундаментів мостів із елементами підсилення в їх спільній роботі

З огляду на те, що застосування при відновленні мостів інвентарних мостових конструкцій за досвідом відновлення цих об'єктів з початку проведення Антитерористичної операції на територіях Донецької та Луганської областей та особливо з початком повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України показало свою практичну доцільність та економічну обґрунтованість, виникає необхідність наукового обґрунтування їх застосування та вироблення єдиних правил виконання інженерної задачі тимчасового або капітального відновлення мостів із застосуванням інвентарних конструкцій. Результати аналізу, викладеного в цьому пункті, опубліковані в роботі (Остапенко, 2022d).

Інвентарні мостові конструкції не вимагають великих фінансових витрат при їх виготовленні, мають просту конструкцію і можливості їх масового виробництва із залученням підприємств національної економіки. Мобільність

транспортування окремих конструкційних малогабаритних елементів та планування доступної логістики безпосередньо у районі будівництва мосту дозволяє індустріалізувати процеси зведення мостових переходів в умовах ведення бойових дій.

Застосування при відновленні мостів різних конструкційних матеріалів, особливо при використанні тимчасових схем відновлення з комбінованими мостовими конструкціями підсилення фундаментів та опор матеріалами з дерева і інвентарних металевих мостових конструкцій вимагає унормування вимог до їх використання. Раціональне поєднання інноваційних і традиційних конструктивно-технологічних рішень, матеріалів, конструкцій при будівництві тимчасових автомобільних та залізничних мостів забезпечує тривалий термін їх експлуатації. У якості основних конструкцій для тимчасового відновлення мосту використовуються у більшості робочих проєктів інвентарні конструкції надбудов опор ІМІ-60 та зварні широкополочні двотаврові балки типу МА $L_p = 18,53$ м із сталі 15ХСНД, які знаходяться на довготривалому зберіганні відповідних організаційних структур. У той же час виконання підсилення фундаментів опор капітального мосту та відновлення його за тимчасовою схемою дозволяє нам використання дерев'яних конструкцій, що має велику економію по часу та можливості постачання конструкцій. Спосіб поєднання дерев'яних конструкцій і елементів зі сталевими інвентарними мостовими конструкціями при тимчасовому відновленні автомобільних та залізничних мостів підвищує їх вантажопідйомність (Балабух, 2010; Банніков, & Гезенцевей, 2023). Разом з тим говорячи про застосування нетипових конструктивно-технологічних рішень необхідно зазначити, що збудовані тимчасові мости повинні відповідати нормативній вантажопідйомності та мати необхідну міцність, жорсткість та стійкість для безпечного пропуску нормативних тимчасових навантажень, передбачених нормами з обмеженням чи без обмеження швидкості руху.

Конструктивні рішення щодо поєднання і застосування комбінацій матеріалів і конструкцій повинні прийматися відповідно до типових проєктів враховуючи місцеві особливості, дотримуючись діючих нормативно-правових

актів. Отже, постає актуальна наукова проблема, що потребує дослідження та вироблення пропозицій щодо розроблення проєкту провадження робіт, ефективної доцільності застосування вдосконаленої технології і конструктивно-технічних рішень при будівництві тимчасових мостових переходів з комбінованих конструкцій матеріалів в деокупованих районах та районах ведення бойових дій.

Виходячи з того що більшість районів будівництва (відновлення) мостових переходів тривалий час перебували під окупацією російських військ, були розграбовані та зазнали значних руйнувань а місцевість і прилегла територія як правило замінована, та є небезпечною для особового складу будівельних підрозділів і цивільного населення, на першому етапі реалізації проєкту провадження робіт з будівництва мостових переходів з тимчасовими мостами, інженерно-саперними підрозділами повинні виконуватися роботи з обстеження і розмінування прилеглої місцевості, підходів до мосту, визначених будівельних майданчиків. Особа увага приділяється місцям, де відбулося руйнування конструкцій на предмет виявлення залишків боєприпасів. Цю роботу необхідно проводити і під час розбирання завалів та розчищення зруйнованих та пошкоджених мостових конструкцій, опор та фундаментів. Наступним кроком реалізації проєкту впровадження робіт з відновлення мосту є проведення інженерно технічної розвідки. Основними задачами інженерно технічної розвідки при відсутності конкретних розпоряджень і задач є вибір між тимчасовим відновленням мосту на старій осі або, у разі неможливості або недоцільності, будова тимчасового на обході. У порівнянні з варіантами особливо оцінюється можливість відновлення моста на старій вісі або доцільність зведення підходів до моста на обході в необхідні терміни. Зіставлення проводиться не лише за термінами відкриття руху через перешкоду, а й за витратами на конструкції прогонових будов та експлуатаційними якостями збудованого мосту. Для будівництва тимчасового мосту інженерна розвідка має визначити:

- місце розташування мосту та підходів до нього;
- режим роботи водотоку, тобто характерні рівні води, початок і кінець

кригоставу, терміни осіннього та весняного кригоходів, їх характер;

- характер ґрунтів берегів та дна річки на глибину закладення додаткових фундаментів опор при їх підсиленні;

- наявність інших переправ у районі будівництва;

- необхідний отвір моста;

- місця розташування будівельних майданчиків, укриття, розташування для особового складу та техніки;

- місцеві будівельні матеріали, промислові підприємства та інші місцеві ресурси, придатні для відновлення;

- шляхи висування підрозділів до місць робіт та евакуації людей при виникненні небезпеки для їх життя, дороги для перевезення конструкцій та матеріалів;

- орієнтовні витрати матеріалів, робочої сили та потреба у технічних засобах для будівництва мосту.

У завданні на проектування підсилення фундаментів опор мосту при його відновленні має бути зазначено, які методи підсилення обираються та визначити технологію виконання робіт з забезпеченням неруйнівного контролю існуючих споруд та конструкцій. Для вибору методу підсилення використовуються данні геологічної розвідки та відомості дослідження стану конструкцій, які використовуються відповідним інженерно-технічним складом проектних організацій при подальшій розробці проекту відновлення мосту.

Необхідною умовою є також проведення гідрологічних досліджень водної перешкоди (визначення ширини, глибини річки, швидкості течії і т. п). Трасу підходів рекомендується вибирати з найменшими об'ємами робіт по їх спорудженню, а також з урахуванням вимог маскування транспортного руху на підходах до моста. Закріплення траси виконується по існуючим нормативним документах для автомобільних доріг та залізничних колій. Для визначення можливості застосування для підсилення фундаментів місцевих матеріалів необхідно провести моніторинг існуючих підприємств, кар'єрів або можливість використання конструкцій інших місцевих об'єктів, розташованих в цих районах бойових дій. Розвідка місцевих матеріалів і інших ресурсів повинна

встановити в заданому районі:

- наявність місцевих плавучих засобів, передусім річкових барж, буксирів а також причалів, пристаней і судноремонтних баз;
- місця можливої організації лісосік, якість і запаси лісу в них, умови заготівлі і вивезення, можливість розгортання в лісосіках майданчиків заготівлі конструкцій;
- склади матеріалів, придатних для будівництва моста;
- кар'єри, умови підвезення;
- місцеві промислові підприємства (лісопильні і деревообробні, ремонтні і металообробні) і можливості їх використання в інтересах відновлення моста;
- можливість залучення ресурсів місцевих будівельних експлуатаційних організацій на окремі будівельні роботи з підсилення конструкцій мосту.

Орієнтовні витрати матеріалів, робочої сили і потреба в технічних засобах визначаються за схемою відновлення мосту. Польовий проєкт відновлення мосту з використанням інвентарних мостових конструкцій повинен включати наступні вимоги:

- план переходу на карті великого масштабу з вказівкою розглянутих варіантів розташування моста на місцевості, будівельних майданчиків, пунктів заготівлі матеріалів і конструкцій, шляхів підвезення і висунення будівельної техніки;
- подовжній профіль мостового переходу, що включає підходи, по прийнятому варіанту;
- схеми варіантів конструкції моста з характерними поперечними перерізами; для прийнятого варіанту розробляється план розташування основних та додаткових паль в фундаментах опор з вказівкою виміряних глибин води по кутах опор;
- пояснювальна записка з розрахунками отвору моста, схемою розташування реперів і закріплення осі моста, і обґрунтуваннями прийнятого варіанту схеми відновлення моста та організація виконання будівельних робіт.

Таким чином здійснення об'єктивного обстеження характеру руйнувань мосту забезпечує вибір оптимального варіанту його відновлення в найкоротші

терміни. Професійна оцінка стану конструкцій мостового переходу, масштабів руйнування і інших показників необхідних для прийняття рішення на розроблення проекту і провадження робіт з відновлення мосту дозволить ефективно і якісно виконати будівництво у визначений термін з ефективним застосуванням і збереженням техніки та життя людей.

Для визначення основних показників доцільності застосування інвентарних мостових конструкцій при відновленні або будівництві мосту необхідно розрахувати:

1) термін відновлення (будівництва) мосту T_m , діб:

$$T_m = \frac{L_m}{\tau \cdot \beta} \quad (3.4)$$

де L_m – довжина мосту, м; τ – темп відновлювальних (будівельних) робіт, (за досвідом бойових дій на території України та виробничих спроможностей підприємств національної економіки приймається приведений показник $\tau = 3 \dots 5$ пог. м / зміну); β – кількість змін;

2) трудомісткість з відновлення мосту Π_m , люд. доб:

$$\Pi_m = L_m \cdot N \quad (3.5)$$

де N – збільшена норма витрат праці на відновлення 1 пог. м мосту, $N = 10$ люд. діб;

3) вихід особового складу на роботу E , люд / зміну:

$$E = \frac{\Pi_m}{T_m} \quad (3.6)$$

Розглядаючи інші розрахункові показники необхідно зазначити, що обмежений термін служби тимчасового мосту дозволяє значно полегшити як експлуатаційні, так і технічні вимоги до споруди. Довжина мосту визначається шириною дзеркала ріки під час відновлення з додаванням сумарної ширини

опор моста, що утрудняють русло ріки. Навантаження має задаватися як нормативне так і реально обігове. Швидкість руху: нормальна – 30 км/ч, але в певних умовах вона може бути знижена до 5 км/ч.

У ході виконання під час ведення бойових дій будівництва мостових переходів з тимчасовими мостами на деокупованих територіях структурними підрозділами Держспецтрансслужби з метою скорочення термінів виконання та вартості будівельно-відновлювальних робіт на основі вивчення практичного досвіду, у якості основних конструкцій для підсилення фундаментів опор мосту використовувалися дерев'яні пальові фундаменти, інвентарні конструкції надбудов опор ІМІ-60 об'єднані між собою металевими в'язями, при цьому забезпечення їх сумісної роботи з існуючими фундаментами здійснювалося шляхом об'єднання металевими з'єднаннями. Такі прийоми конструктивних рішень були прийняті відповідно до типових проєктів тимчасових мостів з урахуванням наявності конструкцій, будівельних матеріалів, термінів виконання робіт і особливостей місцевості, дотримуючись діючих нормативно-правових актів. Застосування таких конструктивно-технологічних рішень дозволяє досягнути зменшення об'ємів робіт, витрати робочої сили і матеріалів, спрощення конструкцій, якісно використовувати наявний матеріальний ресурс а головне – добитися скорочення термінів будівництва.

Розглянуті конструктивно-технологічні рішення комбінованого поєднання інвентарних мостових сталевих конструкцій ІМІ-60 з дерев'яними і залізобетонними конструкціями і елементами при підсиленні фундаментів опор мостів умовах виконання завдань з відновлення транспортних об'єктів в районах ведення бойових дій дозволяють визначити закономірності їх взаємодії в сумісній роботі:

1. Вирішуючи інженерну задачу відновлення мосту, зруйнованого внаслідок ведення бойових дій при виборі способу відновлення в пріоритеті розглядаються варіанти відновлення на старій вісі з максимальним використанням вцілілих конструкцій мосту.

2. Обов'язковою вимогою при виборі методів підсилення фундаментів існуючих опор є забезпечення включення в сумісну роботу елементів

підсилення (додаткових пальових фундаментів, збільшення площ обпирання, підсилення фундаментів інвентарними конструкціями) із забезпеченням набуття об'єднаними конструкціями несучої спроможності несення навантажень для відновлення та експлуатації мосту.

3. Порівняння варіантів методів підсилення фундаментів опор мостів доцільно здійснювати з врахуванням мінімального обсягу часу та трудовитрат на його виконання.

4. Для об'єднання конструктивних елементів фундаментів опор мостів в їх спільну роботу необхідно використовувати металеві вироби із лабораторним дослідженням їх розрахункової міцності та забезпечення цілісності з'єднань.

4 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ МОСТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНВЕНТАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Забезпечення стрімкості дій військ (сил) в умовах сучасної війни висунуло на перший план одну із актуальних проблем, а саме: пошук нових, більш прогресивних способів інженерної підтримки мобільності пересування військ і безперебійного функціонування всіх видів транспорту при подоланні перешкод (Фтемов, 2021a; 2021b). Існуючі підходи щодо відновлення і будівництва тимчасових штучних будов пошкоджених в ході ведення бойових дій на магістральних шляхах не дають можливості особливо в районах ведення бойових дій застосовувати великогабаритні залізобетонні конструкції (Тягай, 2014; Нетеса, М. І., Нетеса, А. М., Нікіфорова, & Яковлев, 2022; Коваленко, Нетеса, & Яковлев, 2022), проводити роботи з будівництва і тимчасового відновлення у великих обсягах (Остапенко, & Тютюкін, 2020; Озарко, & Челомбитько, 2023) з дотриманням всіх нормативних документів з будівництва і капітального ремонту штучних споруд (ДБН В.2.3-14:2006, 2006; ДБН В.1.2-15:2009, 2009; ДБН В.2.3-22:2009, 2009; ДБН В.2.3-26:2010, 2011; ДБН В.2.6-198:2014, 2014; ДБН В.2.3-4:2015, 2015; ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015, 2016; ДБН В.1.2-14:2018, 2018; ДСТУ 9181:2022, 2022). Крім того відновлювальні роботи потребують значних фінансових, технічних, матеріальних ресурсів і часу (Остапенко, 2022b; 2023). Тобто виникає важливе питання пошуку та обґрунтування простих конструктивно-технологічних рішень при будівництві тимчасових мостових переходів на більш прості та менш вартісні експлуатаційні конструкції (Коваль, & Балабух, 2008; Ключник, 2017; Бугаєвський, Ненастіна, Шеховцова, Штефан, & Маций, 2023).

Також слід враховувати, як один з основних визначаючих факторів той, що при веденні бойових дій в країні виникає проблема спроможності мостобудівельних підприємств та організацій в виконанні будівельних робіт в скорочених термінах їх реалізації та умовах недостатнього ресурсного забезпечення.

Враховуюче зазначене, для визначення оптимальних способів відновлення мостів при їх руйнуванні внаслідок воєнних дій необхідно провести порівняльний аналіз практичної реалізації відновлення мостів та забезпечення підсилення фундаментів при їх відновленні.

Застосування різних методів підсилення фундаментів під час спорудження тимчасових мостів на старій вісі або їх капітального ремонту при відновленні внаслідок ведення бойових дій потребує визначення характеристик руйнування об'єкту, можливого впливу противника на ведення відновлювальних робіт (повторне нанесення ударів та руйнування мосту), стан конструкцій, основ та фундаментів після руйнувань. Ця задача пов'язана із іншою, не менш важливою інженерною задачею, що полягає у визначенні міцності та стійкості існуючих вцілілих конструкцій мосту та можливістю їх об'єднання в сумісну роботу з новими конструкціями.

Метою порівняння, виконаного в даному розділі, є отримання та узагальнення проведеного автором дослідження способів комбінованого відновлення мостів в умовах ведення бойових дій на території України з використанням вцілілих конструкцій фундаментів та опор та інвентарного мостового майна, визначення критеріїв їх порівняння при розгляді варіантів способів відновлення та визначенні показників вибору оптимального.

Також автором для вирішення існуючої в державі на теперішній час проблеми виконання технологій будівництва транспортних об'єктів в умовах бойових дій та загроз воєнного характеру проводився аналіз результатів натурних досліджень взаємодії вже побудованих елементів конструкцій фундаментів та опор мостів з новими елементами в їх спільній роботі.

В рамках дисертаційної роботи детально проаналізовано відновлення мостів, руйнування яких було здійснено внаслідок терористичних актів та бойових дій на території України в період з 2014 року по 2023 рік. Параметрами порівняльного аналізу були прийняті обрані способи відновлення мостів, терміни виконання відновлювальних робіт та очікуємий термін гарантованої експлуатації мосту після відновлення.

Для проведення порівняльного аналізу застосування методів підсилення

фундаментів мостів при їх відновленні в умовах ведення бойових дій автором досліджено всі відновлені та капітально відремонтовані мости, руйнування яких було здійснено внаслідок бойових дій на території України за період повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України. Відновлення цих мостів здійснювалося спільно підприємствами ПАТ «Укрзалізниця», Державної агенції з відновлення інфраструктури та Державною спеціальною службою транспорту. До порівняльного аналізу включено мости, відновлення яких здійснювалося на старій вісі із мінімальним залученням сил та засобів та термінів відновлення. Структурування порівняння здійснено шляхом розподілу по групах за показником гарантованого терміну експлуатації мосту.

До складу першої групи автором віднесено мости, які були відновлені за схемою тимчасового відновлення на старій вісі з гарантованим терміном експлуатації від 10 до 25 років. Характерними ознаками відповідності цієї групи класифікації є застосування інвентарних мостових конструкцій та підсилення існуючих фундаментів опор з визначенням методу підсилення.

До зазначеної групи порівняльного аналізу віднесено 14 мостів, які за своїм призначенням є різними, відносяться до різних умов експлуатації та складності умов будівництва та утримання. Це дозволяє автору дослідити застосування методів підсилення фундаментів опор при відновленні мостів, які суттєво відрізняються за класами, призначенням та умовами експлуатації:

1. Автомобільний міст підпорядкування Томашівської сільської ради Фастівського району Київський області. Виконано відновлення автомобільного мостового переходу через р. Ірпінь біля с. Дідівщина Фастівського району на автомобільній дорозі Т-10-28 Фастів-Дідівщина-Брусилів-Кочерів. Відновлено мостовий перехід по старій вісі за тимчасовою схемою відновлення із застосуванням інвентарних мостових конструкцій. Виконано підсилення фундаментів додатковими палями із зануренням їх копровим агрегатом УСА. Гарантований термін експлуатації мосту складає 10 років.

2. Автомобільний міст підпорядкування Бишівської сільської ради

Фастівського району Київської області. Об'єкт зруйновано в березні 2022 року. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Лупа в с.Лубське на автомобільній дорозі місцевого значення О101408 Юрівка-Чорногородка. Здійснено за проєктним рішенням по старій вісі за тимчасовою схемою відновлення із застосуванням інвентарних мостових конструкцій. Виконано підсилення фундаментів опор додатковими палями. Гарантований термін експлуатації складає 10 років.

3. Автомобільний міст підпорядкування Служби автомобільних доріг у Київській області. Зруйнований в березні 2022 року. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Ірпінь у с. Стоянка на км 21+140 автомобільної дороги державного значення. М-06 Київ-Чоп здійснено у 2022 році за тимчасовою схемою відновлення із застосуванням інвентарних мостових конструкцій. Відновлення одного напрямку руху (Житомир – Київ) на старій вісі шляхом встановлення 6-ти прогонових металевих будов 12,35 м. Виконано підсилення фундаментів опор додатковими палями. Гарантований термін експлуатації мосту 5 років.

4. Залізничний міст балансоутримувача АТ «Укрзалізниця» філія «ЦБРІС» Залізнична лінія Київ-Тетерів, перегін Біличі –Ірпінь 25 пк 3+43, колія парна, ч/р. Ірпінь, метал, повна довжина 125,64(5,45+2x55,9+5,45) м, схема 2x55м. Був зруйнований в лютому 2022 року. Відновлено за тимчасовою схемою відновлення із застосуванням інвентарних мостових конструкцій Проведено комплексні роботи з розчистки завалів, демонтажу конструкцій прогонових споруд, занурення паль додаткових фундаментів з допомогою копрових агрегатів УСА, влаштування ростверків, підготовка основ під тимчасові опори, нарощування прогонових споруд, відновлення мостового полотна та верхньої будови колії. Роботи розпочато 10.04.2022 р., відкрито рух 07.05.2022 р. Термін відновлення склав 25 діб. Гарантований термін експлуатації складає 10 років.

5. Автомобільний міст балансоутримувача Іванівська сільська рада Вишгородського району Київської області зруйнований в березні 2022 року

шляхом підриву. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Жерева у с. Жеревпільля виконано за схемою тимчасового відновлення з використанням інвентарного мостового майна. Проведено роботи по відновленню мосту на старій вісі: підсилено фундаменти додатковими палями, змонтовано залізобетонні балки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити по мостовим балкам з подальшим бетонуванням. Роботи розпочато 09.05.2022 р., відкрито рух 03.06.2022 р. Термін виконання склав 25 діб. Гарантований термін експлуатації складає 25 років.

6. Автомобільний міст балансоутримувача Бишівська сільська рада Фастівського району Київської області був зруйнований в березні 2022 року внаслідок підриву інженерного боєприпасу великої потужності. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Ірпінь в с. Чорногородка Фастівського району Київської області виконано за тимчасовою схемою відновлення. Міст відновлено на старій вісі, підсилення фундаментів виконано з застосуванням інвентарного мостового майна ІМІ та збільшення плити обпирання. Виконано конструкції опор та прогонів із інвентарного мостового майна. Роботи розпочато 14.05.2022 р., відкрито рух 30.05.2022 р. Термін відновлення склав 15 діб. Гарантований термін експлуатації мосту 25 років.

7. Автомобільний міст балансоутримувача Служба автомобільних доріг у Чернігівській області був зруйнований внаслідок бойових дій у 2022 році шляхом підриву невстановленим боєприпасом. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Трубіж в с. Мостище Козелецького району Чернігівської області на ділянці км 18+897 автомобільної дороги загального користування державного значення . Т-25-28 Козелець-Бобровиця виконано за тимчасовою схемою відновлення по старій вісі. Підсилено фундаменти методом збільшення площі обпирання, змонтовано залізобетонні блоки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити з подальшим бетонуванням. Роботи розпочато 02.06.2022 р., відкрито рух 22.06.2022 р. Термін виконання робіт склав 15 діб. Гарантований термін експлуатації складає 10 років.

8. Автомобільний міст балансоутримувача Дмитрівська селищна рада

Ніжинського району Чернігівської області був зруйнований внаслідок ведення активних бойових дій комбінованими засобами ураження в лютому 2022 року. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Басакова в с. Гайворон Ніжинського району Чернігівської області на автомобільній дорозі загального користування місцевого значення. 0250608 Парафіївка-Терешиха-Рубанка-Гайворон-Голінка було виконано за проєктом тимчасового відновлення на старій вісі. Розчищено руйнування та пошкодження фундаментів опор, підсилено фундаменти інвентарним мостовим майном ІМІ з включенням їх в сумісну роботу, змонтовано залізобетонні балки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити по мостовим балкам з подальшим бетонуванням. Роботи розпочато 27.06.2022 р., закінчено та відкрито рух 20.07.2022 р. термін виконання робіт склав 30 діб. Гарантований термін експлуатації мосту складає 25 років.

9. Автомобільний міст балансоутримувача Служба автомобільних доріг у Сумській області було зруйновано внаслідок ведення бойових дій невстановленими боєприпасами. Руйнувань зазнали прогонові споруди, опори мосту та частково фундаменти опор. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Сейм біля с. Мути́н Кролевецького району Сумської області на ділянці км 18+776 автомобільної дороги загального користування державного значення Р-60 Кролевець-Конотоп-Ромни-Пирятин було виконано за проєктом тимчасового відновлення на старій вісі. Влаштовано додаткові пальові фундаменти, включені в спільну роботу, влаштовано додаткові металеві інвентарні опори для підсилення діючих опор мосту. Роботи розпочато 07.07.2022 р, відкрито рух 29.08.2022 р. Термін виконання робіт склав 45 діб. Гарантований термін експлуатації складає 25 років.

10. Автомобільний міст балансоутримувача Служба автомобільних доріг у Чернігівській області було зруйновано внаслідок ведення бойових дій в лютому 2022 року. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Десна біля с. Пирогівка Шосткінського району Сумської області на ділянці км 80+650 автомобільної дороги загального користування державного значення Р-65 КПП «Миколаївка» – Семенівка -Новгород-Сіверський – Глухів – КПП

«Катеринівка» виконано по проєкту тимчасового відновлення з використанням інвентарних мостових конструкцій ІМІ та прогонових споруд ЗРПС. Відновлення мосту здійснено по старій вісі. Здійснено підсилення фундаментів додатковими палями, виготовлено залізобетонні основи під металеві інвентарні опори, змонтовані 4 опори, встановлені балки прогонових будов ПБ 18,53 м. Схема мосту 5 x 18,53 м. Повна довжина – 93м. Роботи розпочато 07.09.2022 р. Відкрито рух 09.11.2022 р. Термін виконання робіт склав 60 діб. Гарантований термін експлуатації 25 років.

11. Відновлення залізничного мосту в районі м. Ірпінь Бучанського району Київської області балансоутримувача ПАТ «Укрзалізниця» виконано за проєктом тимчасового відновлення після руйнування мосту внаслідок ведення активних бойових дій. Характеристика мосту: залізнична лінія Київ-Тетерів, перегін Біличі – Ірпінь ділянка 25 пк 3+43, колія непарна, через р. Ірпінь, матеріал прогонових споруд метал, повна довжина 125,64м. (5,45+2x55,9+5,45)м., схема 2 x 55 м. Виконано влаштування додаткових фундаментів з залізобетонних паль, облаштування монолітних ростверків, будівництво додаткових опор з інвентарного мостового майна ІМІ. Роботи розпочато 21.09.2022 р., відкрито рух 21.11.2022 р. Термін виконання робіт склав 60 діб. Гарантований термін експлуатації складає 25 років.

12. Відновлення залізничного мосту в районі с. Верхнє Синьовидне Стрийського району Львівської області виконувалося по проєкту тимчасового відновлення на старій вісі після часткового руйнування внаслідок нанесення ракетного удару по об'єкту критичної інфраструктури. Характеристика мосту: матеріал прогонових споруд метал, повна довжина 235,98 м, схема 4x53,78 м. Здійснено монтажні роботи у взаємодії з АТ Укрзалізниця. Виконано влаштування додаткових пальових фундаментів та використання інвентарного мостового майна ІМІ для підсилення діючих фундаментів та опор. Роботи розпочато 20.09.2022 р. Відкрито рух по ділянці 14.12.2022 р. Термін виконання робіт склав 60 діб. Гарантований термін експлуатації 25 років.

13. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Балаклійку у м. Балаклія Ізюмського району Харківської області між автомобільними

дорогами загального користування Т2110 та Р78. Було обумовлене суттєвими пошкодженнями та руйнуваннями мосту внаслідок ведення активних бойових дій та комбінованого ураження конструкцій у березні 2022 року. Здійснено відновлення автодорожнього мосту за проектом капітального ремонту з підсиленням фундаментів додатковими пальовими фундаментами з об'єднанням в спільну роботу та використанням майна ІМІ – 60 та прогонових будов ПБ 18,53 м. Схема мосту 2 x 18,53+6,17 м, повна довжина 44 м. Роботи розпочато 17.11.2022 р. Відкрито рух 28.12.2022 р. Термін виконання робіт склав 30 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

14. Відновлення залізничного мосту балансоутримувача – регіональної філії «Донецька залізниця» на ділянці 412 км ПК 4 перегону Святогірськ – Форпостна виконано за проектом тимчасового відновлення. Міст частково зруйновано нанесенням ракетного удару в квітні 2023 року. Відновлення здійснено мостовими підрозділами Державної спеціальної служби транспорту спільно з ПАТ «Укрзалізниця». Підсилення фундаментів опор виконано зануренням додаткових залізобетонних паль з об'єднанням їх в спільну роботу. Початок робіт 10.07.2023 р. Рух відновлено: 25.12.2023 р. Термін виконання робіт склав 150 діб. Гарантований термін експлуатації складає 25 років.

Характерними ознаками прийнятих проектних рішень по відновленню мостів за схемами тимчасового відновлення на старій вісі мосту є необхідність підсилення фундаментів опор для забезпечення підвищення вантажопідйомності мостів для пропуску великовагових транспортних навантажень. Це питання було комплексно вирішено за рахунок підсилення фундаментів опор залізобетонними палями із включенням їх в сумісну роботу. Поряд з цим, широке застосування інвентарного мостового майна дозволило скоротити термін спорудження опор з використанням існуючих фундаментів, що вдвічі скоротило загальний термін відновлення об'єктів.

До другої групи порівняльного аналізу віднесено мости, відновлення яких було здійснено за проектами капітального ремонту та виконано в складних умовах виконання робіт в районах бойових дій та наближених до них. Характерною ознакою спорідненості об'єктів за цією групою є застосування

при капітальних ремонтах методів підсилення фундаментів опор з метою забезпечення підвищення вантажопідйомності та міцності об'єктів. До другої групи дослідження включено наступні об'єкти:

1. Автомобільний міст балансоутримувача Димерська сільрада Вишгородського р-ну Київської області був зруйнований в лютому 2022 року. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Піхівка затоку р. Дніпро (Київське водосховище) у с. Глібівка було здійснено у 2022 році за проектом капітального ремонту. Проведено роботи по відновленню мосту на старій вісі, виконано підсилення фундаментів додатковими залізобетонними палями, занурення яких здійснювалося копровими агрегатами УСА з об'єднанням в сумісну роботу влаштуванням залізобетонних ригелів опор.

2. Автомобільний міст балансоутримувача Служба автомобільних доріг у Чернігівській області був зруйнований в лютому 2022 при веденні активних бойових дій контрольованим підривом комбінованим інженерним боєприпасом. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Остер в с. Крути Ніжинського району Чернігівської області на км 17+030 автомобільній дорозі загального користування державного значення Т-25-14 Ніжин-Бахмач-Дмитрівка виконано проведенням відновлення на старій вісі. Підсилення фундаментів виконано додатковими залізобетонними палями, включеними в спільну роботу, здійснено відновлення опор, змонтовано залізобетонні балки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити по мостовим балкам з подальшим бетонуванням. Роботи розпочато 28.07.2022 р. Відкрито рух 09.09.2022 р. Термін виконання склав 40 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

3. Автомобільний міст балансоутримувача Служби автомобільних доріг у Сумській області було зруйновано при веденні активних бойових дій внаслідок нанесення авіаційного удару. Комплексних руйнувань завдано прогоновим спорудам, опорам, фундаментам опор. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Ворскла біля с. Куземин Охтирського району Сумської області на км 5+850 а.д. з/к д/з Т-19-28 /Н-12/-Лутище-Куземин виконано за проектом капітального ремонту. Відновлено автомобільний мостовий перехід

по старій вісі. Підсилення фундаментів виконано додатковими залізобетонними палями, включення їх в сумісну роботу здійснено влаштуванням залізобетонного ригелю, змонтовані залізобетонні мостові балки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити по мостовим балкам з подальшим бетонуванням. Роботи розпочато 23.08.2022 р., відкрито рух 06.10.2022 р. Термін виконання капітального ремонту склав 40 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

4. Автомобільний міст балансоутримувача Сумська обласна державна адміністрація (обласна військова адміністрація) був зруйнований в лютому 2022 року внаслідок авіаційного удару. Руйнування зазнали прогонові споруди, опори, частково були пошкоджені фундаменти опор мосту. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Малий Ромен біля с. Малий Самбір Конотопського району Сумської області на автомобільній дорозі загального користування місцевого значення О190504 Соснівка – Малий Самбір виконано по проєкту капітального ремонту із підвищенням вантажопідйомності. Відновлено автомобільний мостовий перехід по старій вісі . Підсилення фундаментів виконано додатковими залізобетонними палями під опору, здійснено заливку залізобетонного ригелю, змонтовані залізобетонні мостові балки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити по мостовим балкам з подальшим бетонуванням. Роботи розпочато 07.09.2022 р., відкрито рух 12.10.2022 р. Термін виконання робіт склав 30 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

5. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Велика Комишуваха в районі селища Велика Комишуваха Барвінківського району Харківської області на ділянці км 130+870 автомобільної дороги Р-79 Сахновщина-Ізюм-Купянськ проводилося за проєктом капітального ремонту. Відновлено автомобільний мостовий перехід по старій вісі. Виконано підсилення фундаментів додатковими палями, здійснено об'єднання їх в сумісну роботу шляхом влаштування залізобетонних ригелів, змонтовані залізобетонні мостові балки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити по мостовим балкам з подальшим бетонуванням. Роботи розпочато

11.10.2022 р., завершено капітальний ремонт та відкрито рух 18.11.2022 р. Термін виконання робіт склав 30 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

6. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Оскіл в районі населеного пункту Оскіл Ізюмського району Харківської області виконано за проєктом капітального ремонту. Міст було зруйновано внаслідок підриву невстановленого боєприпасу при веденні активних бойових дій в березні 2022 року. Відновлено автомобільний мостовий перехід по старій вісі. Виконано підсилення фундаментів опор влаштуванням додаткових пальових фундаментів з об'єднанням їх в сумісну роботу. Роботи розпочато 02.11.2022 р. Відкрито рух 13.12.2022 р. Термін виконання робіт склав 30 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

7. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Сіверський Донець в районі н.п. Залиман Ізюмського району Харківської області на ділянці км 34+517 автомобільної дороги загального користування місцевого значення С210146 Нурове – Гусарівка виконано за проєктом капітального ремонту. Міст було зруйновано у 2022 році при веденні активних бойових дій. Відновлено автомобільний мостовий перехід по старій вісі. Виконано підсилення фундаментів додатковими залізобетонними палями, здійснено заливку залізобетонного ригелю, змонтовані залізобетонні мостові балки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити по мостовим балкам з подальшим бетонуванням. Роботи розпочато 14.11.2022 р. Відкрито рух 28.12.2022 р. Термін виконання робіт склав 30 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

8. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Інгулець в районі н.п. Нововасилівка Баштанського району Миколаївської області на автомобільній дорозі загального користування місцевого значення Р-81 та О-151905 у напрямку н.п. Каховка, Даріївка, Херсон здійснено за проєктом капітального ремонту після руйнування мосту шляхом підриву при проведенні бойових дій. Відновлено автомобільний мостовий перехід по старій вісі. Здійснено підсилення фундаментів залізобетонними палями, здійснено заливку

залізобетонного ригелю, змонтовані залізобетонні мостові балки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити по мостовим балкам з подальшим бетонуванням. Схема мосту 3 x 12,0 + 6,0 м, загальна довжина 42,0 м. Роботи розпочато 10.01.2023 р., відкрито рух 15.03.2023 р. Термін виконання робіт склав 60 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

9. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Інгулець в районі селища Бобровий Кут Бериславського району Херсонської області на автомобільній дорозі загального користування місцевого значення О-220420 Заповіт-Бобровий Кут балансоутримувача ДУ «Місцеві дороги Херсонщини» проводився за проєктом капітального ремонту. Міст був зруйнований при веденні активних бойових дій в липні 2022 року. Відновлено автомобільний мостовий перехід по старій вісі. Виконано підсилення фундаментів опор залізобетонними палями, здійснено заливку залізобетонного ригелю, змонтовані залізобетонні мостові балки, здійснено армування монолітної залізобетонної плити по мостовим балкам з подальшим бетонуванням та асфальтування. Роботи розпочато 26.01.2023 р. Відкрито рух 25.04.2023 р. Роботи виконано за 90 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

10. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Куколка в с. Шаповалівка Конотопського району Сумської області на ділянці км 1+842 автомобільної дороги загального користування місцевого значення О190504 /Т-19-25/ Соснівка-Малий Самбір виконано за проєктом капітального ремонту. Міст був зруйнований при проведенні активних бойових дій шляхом підриву. Відновлено за капітальним варіантом, виконано підсилення фундаментів залізобетонними палями. Роботи розпочато 03.03.2023 р. Відкрито рух 15.05.2023 р. термін виконання робіт склав 60 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

11. Відновлення автомобільного мостового переходу через магістральний канал Інгулецької зрошувальної системи на автомобільній дорозі загального користування О-151906 біля с.Новопетрівка Баштанського району Миколаївської області виконано по проєкту капітального ремонту. Балансоутримувач об'єкту – Державне агентство водних ресурсів України

Управління каналів р. Інгулець. Зруйнований при активних бойових діях в липні 2022 року. Виконано відновлення за капітальним варіантом Схема мосту: 6,0+12,0+6,0 м.п. Повна довжина мосту 24,00 м.п. Виконано підсилення фундаментів залізобетонними палями. Роботи розпочато 02.03.2023 р. Відкрито рух 31.05.2023 р. Термін виконання робіт склав 60 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

12. Відновлення автомобільного мостового переходу через магістральний канал Інгулецької зрошувальної системи на автомобільній дорозі загального користування обласного значення О-151121 біля н.п. Партизанське Миколаївського району Миколаївської області проведено після руйнування об'єкту внаслідок підриву при веденні активних бойових дій в липні 2022 року. Виконано відновлення за проектом капітального ремонту. Виконано підсилення фундаментів опор залізобетонними палями. Схема мосту 12,0+12,0+6,0 Роботи розпочато 20.03.2023 р. Відкрито рух 31.05.2023 р. Термін відновлення склав 40 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

13. Відновлення мостового переходу через канал Р-11 Інгулецької зрошувальної системи на автомобільній дорозі О-151101 біля села Прибузьке у Вітовському районі Миколаївської області виконано після руйнування об'єкту внаслідок бойових дій в серпні 2022 року. Виконано відновлення по старій вісі за проектом капітального ремонту. Здійснено підсилення фундаментів залізобетонними палями. Схема відновлення 1*18 п.м. (залізобетон). Початок робіт 18.04.2023 р. Відкрито рух 27.06.2023 р. Роботи виконано за 60 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

14. Відновлення автомобільного мосту через р. Бреч у м. Корюківка на автомобільній дорозі Р-83 (Корюківка – Сахутівка – Мена) Корюківського району Чернігівської області проведено після руйнування мосту внаслідок підриву невстановленого боєприпасу при веденні бойових дій в серпні 2022 року. Виконано відновлення по старій вісі за проектом капітального ремонту. Підсилено фундаменти опор залізобетонними палями. Початок робіт 01.05.2023 р. Відкрито рух 12.07.2023 р. термін виконання робіт склав 60 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

15. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Інгулець на ділянці км 5+982 автомобільної дороги загального користування місцевого значення О220604 Заградівка – Кочубеївка біля н.п. Заградівка Бериславського району Херсонської області було виконано після руйнування мосту внаслідок підриву при веденні бойових дій у серпні 2022 року. Виконано відновлення по старій вісі за проєктом капітального ремонту. Початок робіт 21.04.2023 р. Відкрито рух 10.08.2023 р. Термін виконання робіт склав 90 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

16. Автомобільний міст балансоутримувача ДП «Агенція місцевих доріг Миколаївської обл.» Миколаївської Обласної державної (військової) адміністрації було зруйновано повністю внаслідок контрольованого підриву у березні 2022 року. Відновлення мосту через р. Інгулець на ділянці км 1+200 автомобільної дороги О-151909 біля села Новотимофіївка Снігурівського району Миколаївської області виконано по проєкту капітального ремонту. Проведено підсилення фундаментів опор зануренням додаткових паль та включенням їх в спільну роботу та повним відновленням конструкцій мосту. Початок робіт 20.04.2023 р. Відкриття руху 10.10. 2023 р. Термін виконання робіт склав 150 діб. Гарантований термін експлуатації 50 років.

17. Відновлення автомобільного мосту через р. Волоська Балаклійка в с. Борщівка Ізюмського району Харківської області було виконано за проєктом капітального ремонту. Міст зруйнований у березні 2022 року при веденні активних бойових дій. Відновлення здійснено по старій вісі. Підсилення фундаментів опор виконано залізобетонними палями з включенням їх в сумісну роботу залізобетонними ростверками. Початок робіт 01.09.2023 р. , завершення робіт та відкриття руху 11.10.2023 р. Термін виконання робіт склав 30 діб. Гарантований термін експлуатації 50 років.

18. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Грезля на автомобільній дорозі загального користування обласного значення О 061218 Народичі-/Р-02/ через селище Залісся Коростенського району Житомирської області виконано за проєктом капітального ремонту на замовлення балансоутримувача Житомирської обласної державної (військової)

адміністрації. Міст зруйновано в березні 2022 року внаслідок активних бойових дій. Відновлення здійснено за капітальним ремонтом по старій вісі. Підсилення фундаментів опор виконано зануренням залізобетонних паль. Початок робіт 30.07.2023 р. Відкриття руху: 06.12.2023 р. Термін виконання робіт склав 120 діб. Гарантований термін експлуатації 50 років.

19. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Медведка у с. Нова Радча на автомобільній дорозі загального користування обласного значення О 061249 Київ-Іванків-Овруч-Вільча через Нову Радчу Коростенського району Житомирської області виконано за проєктом капітального ремонту після руйнування мосту внаслідок контрольованого підриву у березні 2022 року. Відновлення здійснено за капітальним варіантом по старій вісі. Підсилення фундаментів опор виконано зануренням залізобетонних паль. Початок робіт 30.07.2023 р. Відкриття руху: 06.12.2023 р. Термін виконання робіт склав 120 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

20. Відновлення автомобільного мостового переходу через р. Інгулець на автомобільній дорозі загального користування обласного значення О-151909 між населеними пунктами Баратівка та Єлизаветівка Баштанського району Миколаївської області здійснено після руйнування мосту під час ведення бойових дій у березні 2022 року внаслідок контрольованого підриву. Відновлення здійснено по проєкту капітального ремонту. Підсилення фундаментів виконано зануренням залізобетонних паль. Початок робіт 21.08.2023 р., завершення робіт та відкриття руху 17.01.2024 р. Термін виконання робіт склав 120 діб. Гарантований термін експлуатації 50 років.

21. Відновлення залізничного мосту на ділянці залізниці 408 км ПК 7 перегону Святогірськ – Форпостна балансоутримувача регіональної філії «Донецька залізниця» Відновлення здійснено спільно з ПАТ «Укрзалізниця» за проєктом капітального ремонту. Міст було зруйновано в 2022 році внаслідок активних бойових дій. Підсилення фундаментів виконано збільшенням площини обпирання фундаментів на природні основи. Початок робіт 17.07.2023 р. Рух відновлено: 25.12.2023 р. Термін виконання робіт склав 150 діб.

Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

22. Відновлення залізничного мосту на ділянці залізниці 406 км ПК 2 перегону Святогірськ – Форпостна балансоутримувача регіональної філії «Донецька залізниця» виконано за проєктом капітального ремонту після руйнування мосту при веденні активних бойових дій. Відновлення здійснено мостовими підрозділами Державної спеціальної служби транспорту спільно з ПАТ «Укрзалізниця». Підсилення фундаментів виконано збільшенням площини обпирання фундаментів на природні основи. Початок робіт 17.07.2023 р. Рух потягів залізничною ділянкою відновлено 25.12.2023 р. Загальний термін виконання робіт склав 150 діб. Гарантований термін експлуатації складає 50 років.

Автором проаналізований 91 міст, відновлений за тимчасовими схемами або капітально відремонтований за період бойових дій на території України з 2022 року по 2023 рік та 3 мости, капітально відремонтовані після пошкодження або руйнування під час бойових дій при проведенні Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей. З наведеного в порівняльного аналізу видно, що відновлення 36 мостів (що складає 40 відсотків від загальної кількості) було здійснено на старій вісі мосту із виконанням підсилення фундаментів. Пріоритетними способами підсилення фундаментів в умовах ведення бойових дій за вибором можливостей їх реалізації стали підсилення фундаментів додатковими палями та влаштування додаткових пальових фундаментів з об'єднанням їх в сумісну роботу. Удосконалення способів підсилення фундаментів проведено шляхом впровадження нестандартних конструктивно-технологічних рішень реалізації проєкту будівництва тимчасових мостів із застосуванням комбінації конструкцій з інвентарного мостового майна та інших будівельних матеріалів широкого спектру застосування, що було підтверджено в 31 проєкті відновлення мостів, наведених в цьому порівняльному аналізі.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз науково-технічної задачі забезпечення безперебійного функціонування транспортно-дорожнього комплексу як складової національної безпеки держави. Його результати дозволили визначити пріоритетні та першочергові завдання підвищення стійкості та захищеності об'єктів критичної інфраструктури транспортно-дорожнього комплексу шляхом вибору оптимальних методів підсилення фундаментів мостів та їх сталої інтенсивної експлуатації в умовах ведення бойових дій.

2. Виконане порівняння сучасного світового та вітчизняного досвіду експлуатації, реконструкції та ремонту мостів як критичних об'єктів транспортної інфраструктури, яке дозволило визначити методологічні підходи до підвищення в умовах ведення бойових дій їх стійкості та несучої спроможності.

3. Результати системного аналізу впливу бойових дій різного ступеню на стан об'єктів критичної інфраструктури єдиної транспортної системи України свідчать про спроможність забезпечувати сталу пропускну спроможність транспортних потоків та прогнозувати варіанти їх знищення або виведення з робочого стану. Враховуючи продовження ведення бойових дій по відбиттю повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України та наявні постійні ризики для національної безпеки держави в сегменті функціонування транспортно-дорожнього комплексу дослідження зазначеного питання пропонується продовжити із вирішенням наукової задачі розроблення методики розрахунку прогнозованих руйнувань об'єктів критичної інфраструктури транспортно-дорожнього комплексу та впровадження комплексних заходів забезпечення їх технічного прикриття.

4. Визначено оптимальні методи підсилення фундаментів мостів при відновленні за різними варіантами (тимчасові, капітальні) мостових переходів в умовах ведення бойових дій за показниками термінів виконання робіт, можливостей їх практичної реалізації та економічної ефективності. Доведено, що оптимальними є способи відновлення мостів на старій осі із максимальним

використанням вцілілих конструкцій та використання несучої спроможності фундаментів у відновлених конструкціях.

5. Досліджено можливості застосування інвентарних мостових конструкцій штатного та табельного майна підприємств та установ Державної спеціальної служби транспорту Міністерства оборони України та Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України. Аналіз результатів свідчить про можливість реалізації проекту будівництва тимчасових мостів із застосуванням комбінації конструкцій з інвентарного мостового майна, причому можуть розглядатись конструкції, запроектовані не раніше 1947 року, в тому числі мостові конструкції ІМІ-60.

6. Проведено порівняння результатів застосування методів підсилення фундаментів мостів в умовах ведення бойових дій і визначення оптимальної ефективності їх вибору при відновленні об'єктів. Вперше обґрунтовано практичне виконання будівельних та відновлювальних робіт у умовах постійного впливу засобів вогневого ураження противника дальньої дії та вироблено оптимальні методи підсилення існуючих фундаментів мостів при їх відновленні або підвищенні пропускної спроможності із обґрунтуванням економічної ефективності та застосування масового виконання відновлювальних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Agrawal, A. K., Jalinoos, F., Davis, N. T., Hoomaan, E., & Sanayei, M. (2018). *Foundation reuse for highway bridges. FHWA-HIF-18-055*. Washington, DC: Federal Highway Administration.

Azizinamini, A. (2020). Accelerated Bridge Construction. *Journal of Bridge Engineering*, 25, 12, 1-3. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001643](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001643)

Bai, Y., & Burkett, W. R. (2006). Rapid Bridge Replacement: Processes, Techniques, and Needs for Improvements. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 132(11), 1139-1147. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:11\(1139\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:11(1139))

Boeckmann, A. Z., & Loehr, J. E. (2017). *Current practices and guidelines for the reuse of bridge foundations. NCHRP Synthesis 505*. Washington, DC: Transportation Research Board.

Borodina, O. A., & Lyashenko, V. I. (2022). Post-War Economic Recovery: World Experience and Attempt to Adapt it for Ukraine. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 1(42), 121-134. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.1\(42\).121-1](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.1(42).121-1)

Hadžić, D., & Molnár, T. (2019). Post conflict reconstructions in Bosnia and Herzegovina. *Pollack Periodica*, 14(3), 21-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2019.14.3.3>

Davis, N. T., Hoomaan, E., Agrawal, A. K., Sanayei, M., & Jalinoos, F. F. (2019). Foundation reuse in accelerated bridge construction. *Journal of Bridge Engineering*, 24 (10), 05019010. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001455](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001455)

Deng, Lu, & Cai, C. S. (2010). Development of dynamic impact factor for performance evaluation of existing multi-girder concrete bridges. *Engineering Structures*, 32(1), 21-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.08.013>

Diachenko, L., Benin, A., Smirnov, V., & Diachenko, A. (2018). Rating of dynamic coefficient for simple beam bridge design on high-speed railways. *Civil and Environmental Engineering*, 14(1), 37-43. DOI: <https://doi.org/10.2478/cee-2018->

[0005](#)

Forde, S. (2016). The bridge on the Neretva: Stari Most as a stage of memory in post-conflict Mostar, Bosnia – Herzegovina. *Cooperation and Conflict*, 51, 4, 467-483. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0010836716652430>

Gega, M. & Bozo, L. (2017). Analysis of Bridge Foundation Damage in Albania. *Procedia Engineering*, 189, 275-282. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.045>

Green, M. F., & Cebon, D. (1997). Dynamic interaction between heavy vehicles and highway bridges. *Computers & Structures*, 62(2), 253-264. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(96\)00198-8](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(96)00198-8)

Ivanova, H. P., Zhabchyk, K. S., Khoziaikina, N. V., & Hryhoriev, O. Ye. (2023). The problem of forecasting the rod structures survivability. *Мосты та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 23, 95-99. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/281166>

Khan, M. A. (2015). *Accelerated Bridge Construction: Best Practices and Techniques*. Oxford: Butterworth-Heinemann. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2011-0-08185-1>

Kitov, Y., Verevicheva, M., Vatulia, G., Orel, Y., & Deryzemlia, S. (2017). Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*, 133, 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201713303001>

Kovalchuk, V., Sysyn, M., Hnativ, Y., et al. (2021). Restoration of the bearing capacity of damaged transport constructions made of corrugated metal structures. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 16(2), 90-109. DOI: <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2021-16.529>

Kuhlmann, U., Breunig, S., Götz, L.-M., Pourostad, V., & Stempniewski, L. (2020). New developments in steel and composite bridges. *Journal of Constructional Steel Research*, 174, 106277. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106277>

Hällmark, R., Collin, P., & Nilsson, M. (2013). Large-scale tests on a composite bridge with prefabricated concrete deck and dry deck joints. *Stahlbau*, 82(2), 122-133. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/stab.201310014>

Lemishko, O., Davydenko, N., & Shevchenko, A. (2022). Strategic directions

of the economic recovery of post-war Ukraine. *Journal of Innovations and Sustainability*, 6(2), 09. <https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.09>

MacDonald, A. J. (2014). *Applying Probabilistic Methods to the NATO Military Load Classification System for Bridges-2570*. Thesis for: Master of Engineering Science.

Marochka, V. V., & Boboshko, S. H. (2018). Analysis of the problems of sections with the transitional rigidity indicator in world bridging. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 16, 82-92. DOI: <http://dx.doi.org/10.15802/bttrp2019/189683>

Pereira, P., Bašić, F., Bogunovic, I., & Barcelo, D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*, 837(1), 155865. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>

Pinkney, B., Dagenais, M.-A., & Wight, G. (2022). Dynamic load testing of a modular truss bridge using military vehicles. *Engineering Structures*, 254(1), 113822. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113822>

Reshetnov, A. Yu., Solomka, V. I., & Ovchynnykov, P. A. (2017). Parameters of typical continuous steel truss spans under a high-speed movement. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 11, 88-101. DOI: <http://dx.doi.org/10.15802/bttrp2017/159217>

Shen, L., Soliman, M., & Ahmed, S. A. (2021). A probabilistic framework for life-cycle cost analysis of bridge decks constructed with different reinforcement alternatives. *Engineering Structures*, 245, 112879. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112879>

Singiresu, S. R. (2018). *The Finite Element Method in Engineering*. Oxford: Butterworth-Heinemann. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01493-6>

Балабух, Я. А. (2010). *Міцність, деформації та експлуатаційні якості сталезалізобетонних мостів*: дис. канд. техн. наук. Львів: Львівська політехніка.

Більченко, А. В., Кіслов, О. Г., & Бадаєва, О. В. (2008). Концепція розвитку будівництва, експлуатації і ремонту мостових споруд до 2012 р. в м. Харкові. *Науковий вісник будівництва*, 48, 71- 73.

Банніков, Д. О., & Гезенцвей, Ю. І. (2023). Оцінка якості проєктування конструктивних рішень сталевих будівель і споруд. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 23, 28-36. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/281076>

Безбабічева, О. І., Кірієнко, М. М., Черепньов, І. А., & Топчій, В. Л. (2016). Безпечна експлуатація та надійність мостових споруд на дорогах України як необхідні елементи транспортної логістики. *Інженерія природокористування*, 1(5), 29-39.

Бойченко, М. В. (2024). Відновлення та розвиток транспортної інфраструктури у повоєнний період. *Економічний вісник Донбасу*, 3 (73), 132-137. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-3\(73\)-132-137](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-3(73)-132-137)

Бугаєвський, С. О., & Назаренко, І. В. (2023). Застосування самоущільнюючого бетону для будівництва та відновлення залізобетонних мостів. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 102, 183-197. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.103.1.183>

Бугаєвський, С. О., Ненастіна, Т. О., Шеховцова, Т. О., Штефан, О. М., & Маций, М. Є. (2023). Автодорожні тимчасові збірно-розбірні мости. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 100, 80-97. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.80>

Гернич, М. В., Ключник, С. В., & Співак, Д. С. (2021). Аналіз сталезалізобетонних прогонових будови мостів під залізницю, можливість їх використання для постконфліктного відновлення зруйнованої транспортної інфраструктури. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 19, 28-37.

Горбулін, В. П. (Ред.) (2017). *Світова гібридна війна: український фронт*. Київ: НІСД.

Горбулін, В. П., Власюк, О. С., Лібанова, Е. М., & Ляшенко, О. М. (Ред.) (2015). *Донбас і Крим: ціна повернення*. Київ: НІСД.

ДБН В.1.2-14:2018 (2018). *Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд*. Київ: Мінрегіонбуд. України.

ДБН В.1.2-15:2009 (2009). *Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДБН В.2.3-4:2015 (2015). *Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво*. ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»).

ДБН В.2.3-14:2006 (2006). *Споруди транспорту. Мости і труби. Правила проектування*. Київ: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства.

ДБН В.2.3-22:2009 (2009). *Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування*. Київ: Мінрегіонбуд. України.

ДБН В.2.3-26:2010 (2011). *Споруди транспорту. Мости і труби. Сталеві конструкції. Правила проектування*. Київ: Мінрегіонбуд. України.

ДБН В.2.6-198:2014 (2014). *Сталеві конструкції. Норми проектування*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015 (2016). *Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі будівельних конструкцій*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДСТУ 9181:2022 (2022). *Споруди транспорту. Мости автодорожні. Настава з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів*. Київ.

Директива ЄС (2008). Європейська Комісія, Директива 2008/114/ЄС від 8 грудня 2008 року про ідентифікацію та призначення європейських об'єктів критичної інфраструктури та оцінку необхідності покращення їх захисту, Офіційний вісник Європейського Союзу, L345/75, 2008.

Дубінчик, О. І., & Недужа, Л. О. (2021). Обґрунтування напружено-деформованого стану пальового фундаменту з використанням програмних комплексів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 20, 13-18. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/245247>

Єрмакова, І. А., & Нечипоренко, М. В. (2021). Повторне використання мостових балок в якості прогонових будов тимчасових мостів. *Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології*, 24, 97-111. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.097>

Закора, О. Л., Линник, Г. О., & Марочка, В. В. (2010). Експериментальні

дослідження несучої здатності повздовжніх балок залежно від типу мостового полотна. *Теорія і практика будівництва*, 662, 193-196.

Івасюк, М. О., et al. (2016). *Військові мости та шляхи*. Львів: НАСВ ЗС України.

Івасюк, М. О., et al. (2017). *Відновлення та підсилення військових мостів*. Львів: НАСВ ЗС України.

Казарян, В. Ю., & Сахарова, І. Д. (2018). Сучасні методи реконструкції мостових споруд. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 14, 6-14.

Каршень, А. М., et al. (2020). *Методика інженерних розрахунків виконання інженерних завдань*. Львів: НАСВ ЗС України.

Кваша, В. Г. (2006). Досвід ремонту та реконструкції мостів України. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, 562, 38-49.

Кваша, В. Г., & Салійчук, Л. В. (2013). Підсилення опор при реконструкції мостів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції та будівлі*, 25, 739-753.

Кваша, В. Г., Салійчук, Л. В., Котенко, В. Т., & Нечипоренко, М. В. (2013). Перерахунок фундаменту проміжної опори моста при його реконструкції. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія «Галузеве машинобудування, будівництво»*, 3(1), 174-183.

Кваша, В. Г., Салійчук, Л. В., & Тузяк, А. А. (2013). Особливості реконструкції залізобетонних однопрольотних малих мостів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, 755, 152-156.

Ключник, С. В. (2017). Аналіз сучасного стану металевих прогонових будов залізничних мостів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 12, 29-40.

Ключник, С. В., & Гернич, М. В. (2023). Відновлення об'єктів інфраструктури як елемент сталого розвитку країни на історії одного мосту. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 24, 31-36. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/291780>

Ключник, С. В., & Горбатюк, Ю. М. (2022). Досвід відновлення

зруйнованих автомобільних штучних споруд. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 22, 49-54.

Коваленко, Г. П., Нетеса, А. М., & Яковлєв, С. О. (2022). Аналіз засобів і шляхи підвищення надійності кріплення спеціальної будівельної техніки на залізничній платформі. *Транспортні системи та технології перевезень*, 24, 40-45. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/272062>

Коваль, П. М., & Балабух, Я. А. (2007). Оцінювання надійності збережуваних конструкцій мостів. *Дороги і мости*, 7, 261-270.

Коваль, П. М., & Балабух, Я. А. (2008). Експериментальне визначення придатності металевих балок після тривалого зберігання для будівництва автодорожнього моста. *Дороги і мости*, 9, 112-118.

Козак, Л. С., & Федорук, О. В. (2020). Особливості формування ефективної моделі інноваційного розвитку транспортно-дорожнього комплексу України. *Економіка та держава*, 3, 53-60. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.3.53>

Лантух-Лященко, А. І. (2004). *Технічний стан мостів і транспортних споруд України: Аналітична довідка Міжвідомчої комісії з питань науково технологічної безпеки*.

Лантух-Лященко, А. І. (2008). Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів. *Дороги і мости*, 9, 12-18.

Лантух-Лященко, А. І., Кир'ян, В. І., Коваль, П. М. (2002). *Настанови з визначення технічного стану мостів*. ТАУ, Київ: Логос.

Лист заступника начальника (2016). Лист заступника начальника об'єднаного оперативного штабу Збройних Сил України № 313/5/2313 від 24.03.2016 р. «Щодо кількості зруйнованих постійних мостових споруд та знищених механізованих мостів, які використовуються у Збройних Силах України для забезпечення подолання перешкод за час проведення антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей».

Логутова, Т. Г., & Полторацький, М. М. (2015). Сучасний стан транспортної інфраструктури України. *Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності*, 2(12), 8-14.

Лучко, Й. Й., Сулим, Г. Т., & Кир'ян, В. І. (2004). *Механіка руйнування мостових конструкцій та методи прогнозування їх залишкової довговічності*. Львів: Каменяр.

Ляшенко, В. І., & Чеботарьов, Є. В. (2024). Світовий досвід повоєнного відновлення: діалектика імплементації та адаптації в Україні. *Економічний вісник Донбасу*, 3(73), 122-131. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-3\(73\)-122-131](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-3(73)-122-131)

Нетеса, М. І., Нетеса, А. М., Нікіфорова, Н. А., & Яковлев, С. О. (2022). Особливості забезпечення доступу габаритної будівельної техніки на будівельний майданчик в умовах ущільненої забудови. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 22, 55-64. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/268290>

Озарко, К. С., & Челомбитько, В. В. (2023). Особливості логістичних процесів у воєнний період: проблеми та перспективи розвитку. *Економічний вісник Донбасу*, 2 (68), 74-78. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2\(68\)-74-78](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2(68)-74-78)

Остапенко, І. С. (2021a). Аналіз методик реконструкції та капітального ремонту фундаментів автомобільних мостів з врахуванням досвіду воєнних конфліктів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 19, 62-68. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/233876>

Остапенко, І. С. (2021b). Аналіз проблематики та сучасного вітчизняного досвіду будівництва та капітального ремонту мостів. *Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 81 Міжнар. наук.-практ. конф.*, 189-191.

Остапенко, І. С. (2022a). Використання інвентарних конструкцій залізничних мостів для відновлення зруйнованих об'єктів національної транспортної інфраструктури. *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика»*, 33-35.

Остапенко, І. С. (2022b). Основні наукові аспекти військової логістики. *Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської наукової конференції*

«Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів, загроз», 148-154.

Остапенко, І. С. (2022с). Конструктивно-технологічні рішення інвентарного мостового майна під час будівництва тимчасових мостових переходів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 22, 65-70. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/268293>

Остапенко, І. С. (2022d). Особливості реалізації технологічних рішень проекту будівництва мостового переходу з тимчасовим мостом. *Наука та прогрес транспорту*, 3-4 (99-100), 87-94. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2022/275713>

Остапенко, І. С. (2023). Військова логістика в Індустрії 4.0. *Матеріали доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Логістика і транспортна безпека: Проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз», 54-58.*

Остапенко, І. С., & Тютюкін, О. Л. (2020). Проблемні питання відновлення об'єктів транспортної інфраструктури з врахуванням сучасних викликів та загроз національної безпеки. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», 178-180.*

Страхова, Н. Є., Голубєв, В. О., Ковальов, П. М., & Тодирика, В. В. (2002). *Експлуатація і реконструкція мостів*. Київ: Видавництво НТУ.

Тютюкін, О. Л., & Остапенко, І. С. (2020). Підсилення фундаментів автомобільних мостів в контексті проблемного стану транспортно-дорожнього комплексу. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 18, 106-112. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217874>

Тягай, С. В. (2014). Особливості виконання основних завдань інженерного забезпечення у антитерористичній операції. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України*, 2, 290-298.

Фтемов, Ю. О. (2021а). Основні етапи організації інженерної підтримки мобільності військ (сил). *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил*

України у конфліктах сучасності : зб. тез доп. наук.-практ. конф. Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, 144-145.

Фтемов, Ю. О. (2021b). Підвищення живучості мостової переправи. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, 4(45), 135-142. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.45.17>

Шаповал, В. Г., Пономаренко, І. О., Іванова, Г. П., Терещук, Р. М., & Шашенко, Д. О. (2021). Визначення конструктивних параметрів дискретних утримувальних споруд. *Наука та прогрес транспорту*, 3(93), 67-73. DOI: <http://dx.doi.org/10.15802/stp2021/242035>

Шемаєв, В. В. (2018). *Теоретико-методологічні засади та пріоритети розвитку транспортної інфраструктури в системі економічної безпеки України*. Київ: НУОУ.

Шумаков, І. В., Бутнік, С. В., Бугаєвський, С. О., & Бугаєвський, В. О. (2023). Особливості конструктивних та організаційно-технологічних рішень при відновленні залізобетонних мостових споруд. *Будівельне виробництво*, 74, 11-16. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.74.11-16>

Яо Сінь, Шуляр, Р. А., Салійчук, Л. В., & Кваша, В. Г. (2022). Сучасний стан проблеми реконструкції автодорожніх мостів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 42, 315-329. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i42.034>