

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Секції
«Мости, конструкції
та будівельна механіка»
і «Хімія та хімічні технології»

Збірник наукових праць
87-ї міжнародної наукової конференції студентів університету
07-11 квітня 2025 року

Харків 2025

УДК 624 – секція «Мости, конструкції та будівельна механіка»

УДК 66.0 – секція «Хімія та хімічні технології»

Редакційна колегія

Олексій ОВЧАРЕНКО – к.т.н., завідувач кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського

Тетяна НЕНАСТІНА – д.т.н., завідувачка кафедри хімії та хімічної технології

Катерина БЕРЕЖНА – к.т.н., доцент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського

Секції «Мости, конструкції та будівельна механіка» і «Хімія та хімічні технології» Збірник наукових праць 87-ї міжнародної наукової конференції студентів університету (07-11 квітня 2025 року)/ ХНАДУ. Харків, 2025. – 219 с.

Розглянуті актуальні питання стану штучних споруд на автомобільних дорогах України після воєнного вторгнення, проектування, будівництва та ремонту транспортних споруд, впровадження нових дорожньо-будівельних матеріалів та методів визначення транспортно-експлуатаційних характеристик, підвищення надійності та безпеки дорожнього руху на цих спорудах. Також розглянуті питання використання хімічних технологій в будівництві та промисловості.

УДК: 624 та 66.0

©Колектив авторів, 2025

©ХНАДУ, 2025

Секція
«Мости, конструкції та будівельна механіка»

ВІДБУДОВА МОСТІВ І ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛІВ УКРАЇНИ

Босенко Ю. Є. ДМ-22-23

*Науковий керівник: к.т.н., доцент Овчаренко О. А.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Післявоєнне відновлення – це комплекс дій, спрямованих на відбудову та розвиток країни після бойових дій, що включає політичне, економічне, інфраструктурне та соціальне відновлення суспільства.

Післявоєнне відновлення полягає у негайній допомозі населенню, зокрема гуманітарній підтримці, що включає постачання продуктів харчування, води, медикаментів та предметів першої необхідності. Медична допомога передбачає надання екстреної медичної допомоги постраждалим. Житлове забезпечення реалізується через організацію тимчасових житлових містечок для людей, які втратили свої домівки. Важливим є евакуація населення, допомога внутрішньо переміщеним особам і створення програм реінтеграції для тих, хто був змушений залишити свої домівки.

Відновлення критичної інфраструктури включає ремонт доріг, швидке відновлення транспортних шляхів для забезпечення пересування військових, рятувальних служб і гуманітарної допомоги. Реконструкція мостів реалізується через створення тимчасових переправ, використання збірно-розбірних конструкцій та подальший ремонт мостів. Важливою складовою є відновлення енергетичної системи, що включає відбудову зруйнованих електростанцій та розвиток альтернативної енергетики. Розмінування територій сприяє безпечному поверненню населення.

Поступове відновлення економіки спирається на підтримку малого і середнього бізнесу через програми пільгового кредитування. Інвестиції у виробництво забезпечуються залученням іноземного капіталу та міжнародної фінансової допомоги, зокрема грантів, кредитів та інвестиційних проєктів.

Соціальна реабілітація передбачає надання психологічної допомоги ветеранам, цивільному населенню, дітям, що пережили війну, та створення

центрів психологічної реабілітації. Відновлення освітньої системи охоплює реконструкцію зруйнованих закладів освіти, підтримку дистанційного навчання, повернення очного та змішаного форматів навчання, впровадження спецкурсів для підвищення кваліфікації і підготовки спеціалістів для післявоєнного відновлення. Розвиток культури та національної ідентичності реалізується через підтримку мистецтва, літератури, кінематографу як способів збереження пам'яті про війну і формування національної свідомості. Інтеграція ветеранів та переселенців передбачає забезпечення робочими місцями та створення механізмів підтримки для осіб, які повертаються з війни.

Виклики у транспортній галузі та відновленні транспортної інфраструктури включають значні руйнування транспортних мереж. Через бойові дії багато доріг, мостів та залізничних колій зруйновано, що ускладнює логістичні операції та економічне відновлення. Особливі труднощі викликає відбудова мостів, адже їх руйнування перешкоджає безперебійному руху вантажів і пасажирів. Морські порти і авіаційні хаби потребують модернізації та відновлення для підключення країни до світової логістичної системи. Висока вартість відбудови інфраструктури вимагає залучення міжнародних донорів та кредитів, але дефіцит матеріалів і кваліфікованих працівників гальмує темпи реконструкції. Нерівномірний розподіл ресурсів у різних регіонах потребує стратегічного підходу до планування, а альтернативні маршрути та тимчасові об'їзди створюють додаткові витрати. Відновлення мостів та доріг стикається з технічними складнощами, такими як нестача будівельних матеріалів, складні природні умови, необхідність розмінування територій та дефіцит кваліфікованих інженерів і будівельників.

Освіта відіграє ключову роль у відновленні транспортної галузі. Це включає підготовку фахівців з інженерії, логістики, управління транспортом та урбаністики, а також співпрацю з міжнародними навчальними закладами для запозичення передового досвіду. Впровадження інноваційних технологій і дослідження альтернативних матеріалів для будівництва також є важливими

аспектами. Освітні ініціативи стимулюють молодь вступати до технічних університетів і професійних училищ, сприяють розвитку державних програм грантів і стипендій для студентів транспортних і будівельних спеціальностей та підвищують престижність робітничих професій, пов'язаних із відбудовою.

Можливі ризики післявоєнного відновлення включають корупцію, нестачу ресурсів і геополітичні загрози, що можуть перешкоджати процесу відбудови. Прозорий контроль, міжнародна підтримка та стратегічний підхід до вирішення цих викликів є необхідними для ефективного відновлення України.

Висновок

Відновлення транспортної інфраструктури є критично важливим аспектом післявоєнного відновлення України. Це складний процес, який вимагає стратегічного планування, значних фінансових вкладень та міжнародної підтримки. Важливу роль відіграє освіта, яка сприятиме підготовці нових кадрів та розвитку інновацій. Успішна реалізація відбудови можлива за умови прозорого використання ресурсів, впровадження сучасних технологій та ефективного управління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ugnenko E., Shevchenko A., Shevchenko O. Stages of reconstruction and renewal of Ukraine`s infrastructure in the war and post-war period? Taking into account experience and security. 12th international conference *ENVIRONMENTAL ENGINEERING* (April 27-28, 2023 Vilnius, Lithuania). 2023. С. 848
2. Гернич М. В., Ключник С. В. Використання майна наплавного мосту НЖМ-56 зважаючи на виклики військового сьогодення. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2022. № 22. С. 27-32.
3. Тараненко Г. Г. Позитивний мир для аналізу російсько-української війни. *Політологічний вісник*. 2022. № 89. С. 147-159. <https://doi.org/10.17721/2415-881x.2022.89.147-159>.

СВІТОВИЙ ДОСВІД РОБОТИЗАЦІЇ БУДІВНИЦТВА МОСТІВ

Безвесільний Р. Д. ДМ-51-24

Науковий керівник: к.т.н., доцент Овчаренко О. А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

В сучасному будівництві відбувається потужний розвиток BIM-технологій. Світова тенденція не залишила осторонь і Україну. Відповідно до Концепції впровадження технології будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні, схваленою розпорядженням КМУ від 17 лютого 2021 р. № 152-р, BIM-технології повинні забезпечити розв'язання таких проблем, як значна ресурсоемність будівництва, неефективність керування процесами в будівництві на всіх етапах життєвого циклу будівлі, неефективне використання матеріальних ресурсів, аварійність будівельних об'єктів тощо [1]. Ідея нової технології полягає у створенні цифрової моделі будівлі, яка повинна бути накопичувальним контейнером для великої кількості інформації, що стосується всіх процесів будівництва: від ідеї до проєктування, зведення, експлуатації та зносу або реконструкції.

Відтепер суто будівельний термін «об'єкт будівництва» перетворюється на термін «asset (актив)», який більше притаманний галузі інформаційних технологій. Тобто контроль за інформацією, її перенос та узгодження відповідатимуть комп'ютеризовані інформаційні системи. Слід зазначити, що всі ці маніпуляції з інформацією відбувалися і раніше, але сучасний розвиток цифрової інфраструктури дозволяє перекласти відповідальність за данні на програмне забезпечення. Безперечно це значний крок вперед для розвитку будівельної галузі, оскільки в рутинних справах комп'ютер завжди перемагає людину по якості робіт, термінах виконання, собівартості виробництва тощо. Але тут ми вдосконалюємо інформаційний бік будівництва, залишаючи на людину, мабуть найвідповідальнішу частину – зведення. В результаті, проблеми, які ми намагаємося розв'язати через BIM-технології зникають лише частково. Знову залишається небезпека порушення технологій,

перевитрати матеріалів, зриву графіків будівництва. Це може статися через неухважність виконавців, їх недостатню компетентність або недбалість. Крім того, будівництво залишається однією з найнебезпечніших галузей. Так за даними Держстату України у 2021 році було зафіксовано 209 жертв нещасних випадків на будівельному виробництві.

Отже галузь будівництва впритул підійшла до наступного технологічного прориву – роботизації виробництва. Тільки після цього можна буде говорити про повноцінну реалізацію BIM-технологій. Основною функцією людини стає контроль за автоматами та якістю їх роботи. Для зведення будівель вже зараз існують промислові рішення, які можна розділити на два основних класи – це машини для укладання блоків та пристрої адитивного виробництва.

Прикладом машини для укладання блоків є будівельний робот Hadrian X австралійської компанії FBR (рис. 1) [2].



Рисунок 1 - Hadrian X австралійської компанії FBR

Hadrian X зводить будівлі з блоків, оснащений інтелектуальною системою управління, технологією динамічної стабілізації та має наступні характеристики:

- швидкість укладання блоків – 500 одиниць за годину;

- розмір одного блоку – 600 мм × 400 мм × 300 мм;
- вага одного блоку – 45 кг;
- максимальна висота забудови – 3 поверхи;
- наявність в блоках систем вирівнювання та порожнин для прокладання комунікацій.

В будівництві більш поширене адитивне виробництво (рис. 2). Кількість будівельних 3D принтерів постійно зростає (BetAbram, BOD2, MaxiPrinter, Phoenix, Vulcan, MudBots, Crane WASP, Frank and Gary тощо), а сама технологія вдосконалюється. Український виробник 3D принтерів, компанія UTU, визначила собівартість будівництва з 3D-друком в порівнянні з традиційними цегляними стінами [3]:

- цегляні стіни – від 650\$, задіяно 8 працівників, термін зведення 100 м² стін з оздобленням 44 доби;
- 3D-друк – від 450\$, задіяно 4 працівника, термін зведення 100 м² стін з оздобленням 12 діб.



BOD2



UTU

Рисунок 2 – Пристрої адитивного виробництва (3D-принтери)

Розглянемо декілька прикладів реального застосування роботизованих технологій в мостобудуванні.

Компанія Advanced Construction Robotics пропонує свого робота TyBOT для виконання одного з найбільш відповідальних та виснажливих для людини

процесів у будівництві мосту – зв’язування арматури. Він здатний виконувати роботу на мосту шириною до 35 м [4]. Його роботизована рука автоматично виявляє перехрестя, щоб зв’язати арматуру, потенційно заощаджуючи сотні доларів на оплаті праці, а також значно зменшуючи травматизм під час будівництва мосту. На рисунку 3 наведене використання робота ТуВОТ для будівництва мосту через річку Сасквеханна (штат Пенсильванія, США). Ширина прольоту складала 90 футів (27,432 м), загальна площа настилу 136 350 кв. футів (12667,33 м²).



Рисунок 3 – Використання робота ТуВОТ для в’язки арматури при будівництві мосту через р. Сасквеханна (штат Пенсильванія, США)

Голландська компанія MX3D розвиває технологію Robotic Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM), яка забезпечує роботизований 3D-друк металом. Фактично це зварювальний робот, який шар за шаром наварює метал. Робот може працювати 24/7 зі швидкістю 1...4 кг/год [5]. Впроваджуючи цю технологію компанією був вперше у світі надрукований міст з нержавіючої сталі. Він розроблений Йорісом Лаарманом та встановлений в центрі Амстердама (рис. 4).



Рисунок 4 – Надрукований металевий міст в центрі Амстердама

Autodesk Research спільно з Dar Al-Handasah надрукували розумний міст довжиною 5 м (рис. 5). Міст проектувався за допомогою генеративного дизайну в додатку Autodesk Fusion [6]. Для друку був підібраний матеріал, який забезпечив вимоги по технологічності та міцності: 70% PETG, отриманого з постіндустріальних відходів, і 30% скловолокна за вагою. Через порожнини в конструкції мосту прокладені кабелі та встановлені датчики для моніторингу параметрів міцності та жорсткості мосту. Проблему горизонтальних елементів вирішили через друк під кутом 45° . Ця конструкція виставлена у виставковому центрі Autodesk University у Новому Орлеані.

Разом з суттєвими перевагами роботизоване будівництво має ряд недоліків. Так, неможливо надрукувати горизонтальні плити перекриття, балки та консольні елементи. Цей недолік значно зменшує можливості адитивного виробництва при будівництві мостів, але не повністю виключають їх. Існуючі напрацювання автоматизованого зведення будівель можна використовувати для виготовлення окремих елементів мостів. Для мостових конструкцій слід використовувати спеціальні матеріали. Наприклад, наварювати повністю металеву конструкцію або нез'ємну опалубку за допомогою маніпуляторів, на яку потім нашаровувати бетон. Для застосування в будівництві стануть в нагоді прийоми, які використовуються

під час промислового друку, такі, як друк тимчасових підтримок з подальшою їх видаленням або переорієнтація друкованих шарів під кутом 45°.



Рисунок 5 – Розумний міст від Autodesk Research

ЛІТЕРАТУРА

1. Про схвалення Концепції впровадження технології будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 р. №152-р. *Офіційний вісник України*. 2021. №19. С. 211.
2. Hadrian-x. *FBR*. URL: <https://www.fbr.com.au/view/hadrian-x> (дата звернення: 24.03.2025).
3. UTU. URL: <https://www.utu.com.ua/technology#advantages> (дата звернення: 24.03.2025).
4. TyBOT. Advanced Construction Robotics. URL: <https://www.constructionrobots.com/tybot> (дата звернення: 24.03.2025).
5. MX3D. URL: <https://mx3d.com> (дата звернення: 24.03.2025).
6. Peter Storey. Can a robot design and build its own infrastructure? *Autodesk Research*. 12.08.2022. URL: <https://www.research.autodesk.com/blog/can-a-robot-design-and-build-its-own-infrastructure> (дата звернення: 24.03.2025).

ГЕНЕРАТИВНИЙ ДИЗАЙН В ПРОЄКТУВАННІ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Гура В.О. ДМ-51-24

Науковий керівник: к.т.н., доцент Овчаренко О.А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У сучасному світі інженерного проєктування дедалі більше застосовується штучний інтелект, і одним з найперспективніших напрямів є генеративний дизайн. Це новий підхід, який дозволяє комп'ютеру самостійно створювати оптимальні конструкції, виходячи з заданих параметрів. У даній роботі було застосовано програмне забезпечення Autodesk Fusion для моделювання конструкції мосту з використанням генеративного дизайну.

Генеративний дизайн – це процес, у якому дизайнер або інженер задає цільові умови (наприклад, навантаження, габарити, тип матеріалу), а програма генерує безліч варіантів конструкцій, що відповідають цим вимогам. Потім користувач може обрати найбільш ефективну модель за критеріями ваги, міцності, вартості або зовнішнього вигляду.

Fusion – це потужна хмарна платформа для 3D-моделювання, розроблена компанією Autodesk. Вона поєднує в собі функції CAD (Computer-Aided Design), CAM (Computer-Aided Manufacturing) та CAE (Computer-Aided Engineering), що робить її універсальним інструментом для інженерів, дизайнерів, архітекторів та студентів.

Основні можливості Fusion:

- 3D-моделювання: дає змогу створювати точні тривимірні моделі об'єктів різної складності – від простих деталей до складних механізмів і конструкцій;
- генеративний дизайн: інноваційна функція, яка дозволяє програмі автоматично генерувати декілька варіантів конструкцій, виходячи з заданих параметрів (навантаження, обмеження, матеріали тощо);

- інженерний аналіз: вбудовані інструменти для симуляції навантажень, аналізу напружень, деформацій і теплопередачі;
- виробництво: підтримка підготовки G-кодів для фрезерних верстатів, 3D-друку, лазерного різання тощо.
- спільна робота та зберігання в хмарі: завдяки хмарному підходу, користувачі можуть зберігати проєкти онлайн, ділитися ними з командою, коментувати та працювати разом у реальному часі.
- інтуїтивний інтерфейс: зручне середовище для роботи, адаптоване як для новачків, так і для професіоналів.

В роботі розглянуто створення генеративного дизайну конструкції на основі мосту «Стрілка» (рис. 1).



Рисунок 1 – Міст «Лопанська стрілка», м. Харків

Міст закоханих «Лопанська стрілка» – це перший підвісний пішохідний міст через річку Лопань у Харкові, розташований в історичному районі Лопанська стрілка. Він з'єднує береги річки в сквері «Стрілка» і є улюбленим місцем для прогулянок закоханих пар.

Конструкція мосту:

Тип: підвісний пішохідний міст.

Матеріали: металеві елементи конструкції та дерев'яне пішохідне покриття.

На початку роботи над проєктом, були визначені вихідні дані, до яких відносяться основні розміри конструкції, опорні точки (місця кріплення мосту до берегів) та очікуване навантаження – 3,92 кПа (відповідно до будівельних норм) [2]. Це дозволило створити в модулі Desing програми **Fusion** моделі базових елементів мосту (рис. 2), міцність яких слід забезпечити за допомогою згенерованої конструкції.

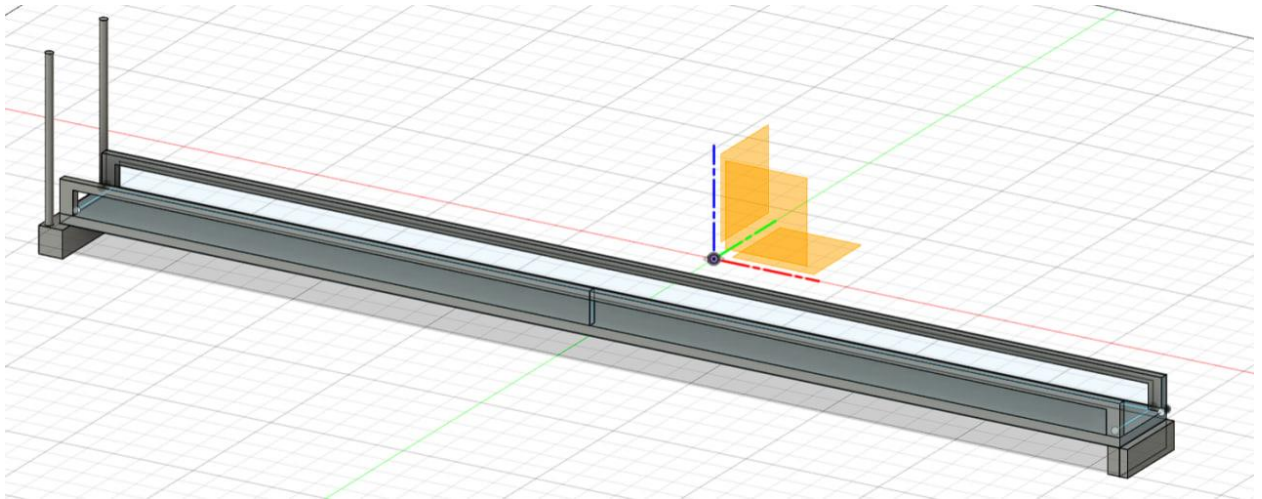


Рисунок 2 – 3D модель базових елементів мосту

Основна робота, пов'язана з генерацією несної конструкції відбувається в спеціалізованому модулі Generative Design, де визначається простір проєктування, розрахункові умови, критерії дизайну, матеріали, а також виконується безпосередньо генерація конструкції.

В просторі проєктування вся геометрія розподіляється за типами:

- «зелені тіла» – це геометрія, що повинна бути збереженою і не може бути зміненою під час генерації. До неї зручно відносити цільові тіла (в нашому випадку це пішохідна частина) та опори (рис. 3). Ми дали можливість програмі згенерувати конструкцію схожу на оригінальну, тому додали стержні пілона до «зелених тіл»;

- «червоні тіла» - це геометрія перешкод, де заборонена генерація конструкції. В нас від згенерованих елементів звільнений простір над мостом для пішоходів, а також простір під мостом;
- «жовті тіла» - це стартова форма, яку можна додати до проєкту для визначення напрямку генерації. На відміну від «зелених тіл» та «червоних тіл», «жовті тіла» не є обов'язковими. Програма може їх створювати самостійно. Ми обмежували алгоритм у напрямках генерації, тому не задавали «жовті тіла»;
- в якості додаткових обмежень програма дозволяє вводити площість симетрії для генерації симетричних конструкцій. Не зважаючи на симетричне навантаження, ми розширили можливості алгоритму дозволивши несиметричність результатів.

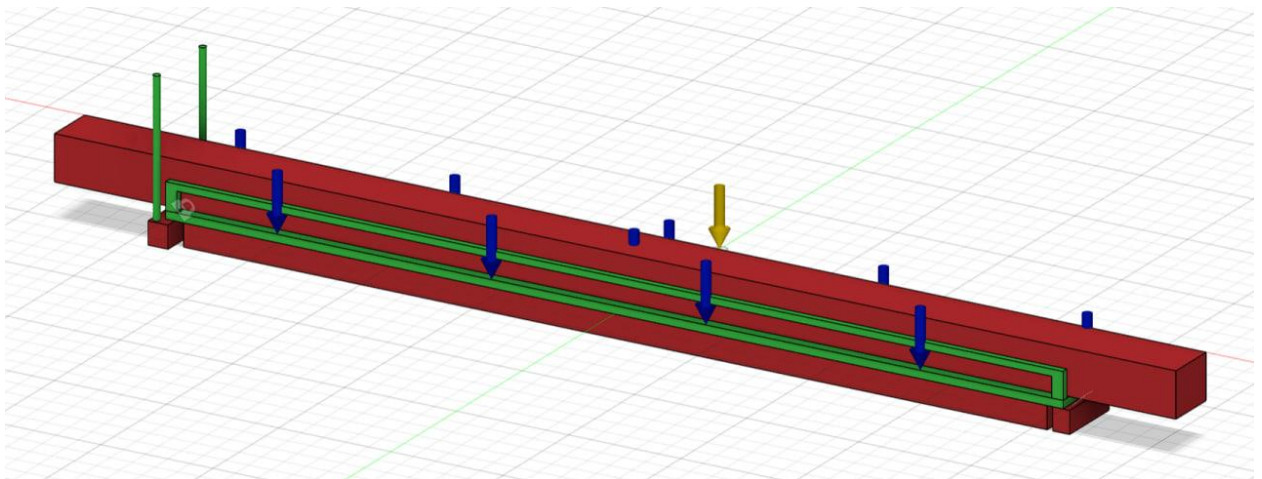


Рисунок 3 – Модель мосту з заданими навантаженнями

В розрахункових умовах додані обмеження та прикладене навантаження рівномірно розподілене по пішохідній частині мосту. Власною вагою програма завантажує конструкцію автоматично.

З бібліотеки матеріалів Fusion за замовченням оберає алюміній. Оскільки одним з наших завдань був друк моделі на 3D-принтері, до переліку матеріалів ми додали ABS пластик.

Для виготовлення конструкції обраний варіант адитивного виробництва зі встановленням граничного кута нахилу стержнів 45° .

Цільова мета генерування – мінімізація маси конструкції при забезпеченні заданого коефіцієнта запасу міцності, що дорівнював 2,0.

Попередня перевірка показала стартову форму на яку орієнтується алгоритм (рис. 4). Вона використовує задані пілони та дещо нагадує оригінальну конструкцію.

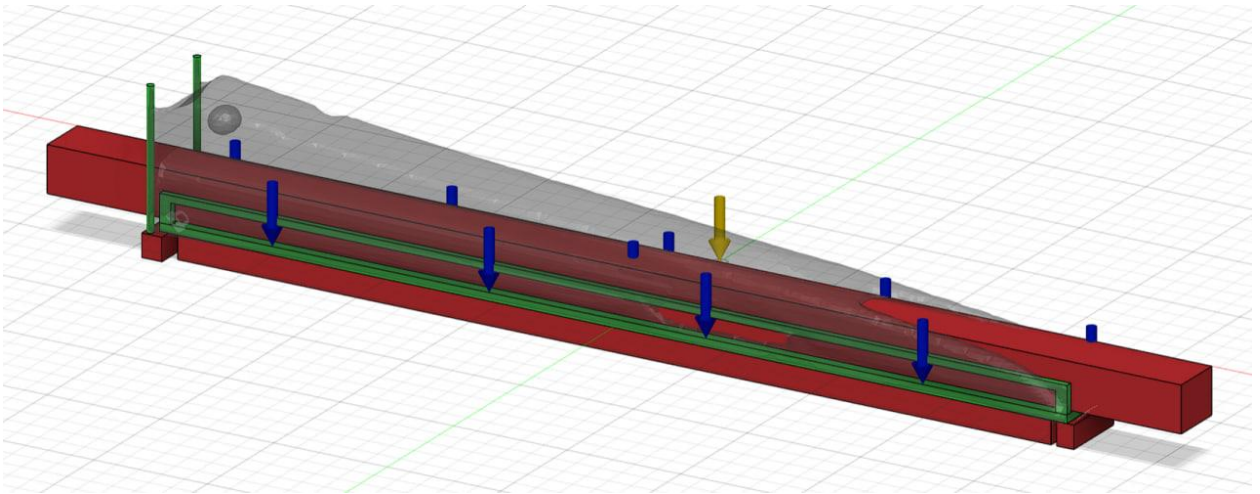


Рисунок 4 - Попередній варіант генерації

Далі був запущений процес генерації, який надав варіанти мосту, виготовлені з алюмінію (рис. 5) та пласитку (рис. 6).



Рисунок 5 – Модель мосту з алюмінію

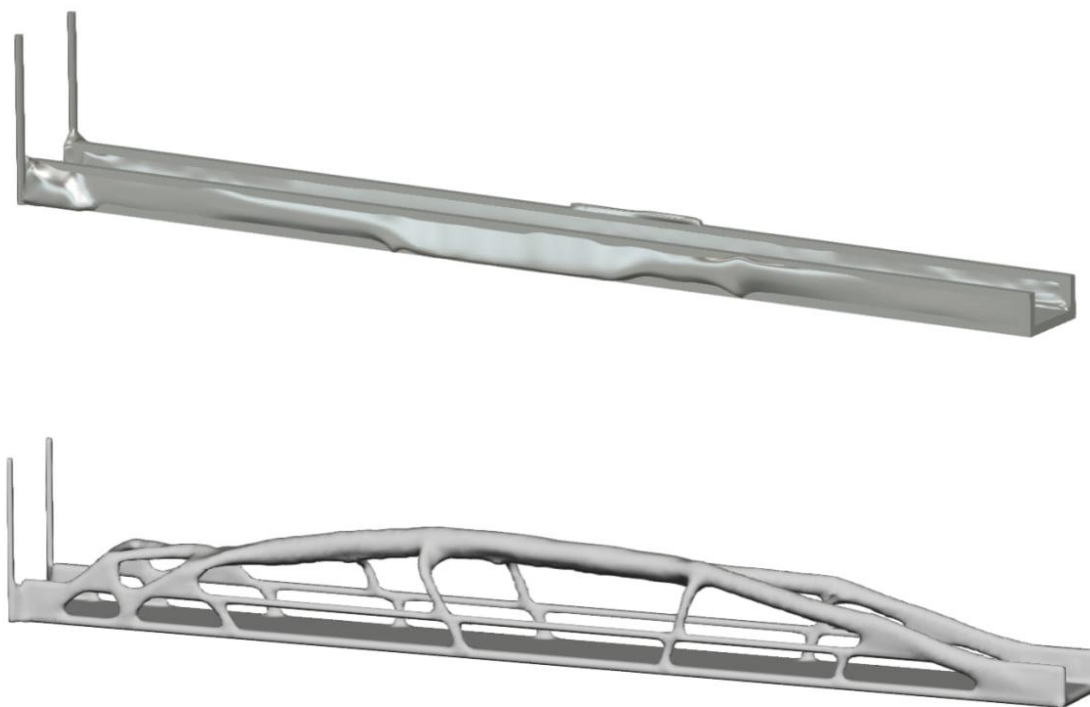


Рисунок 6 –Запропоновані варіанти генерації мосту

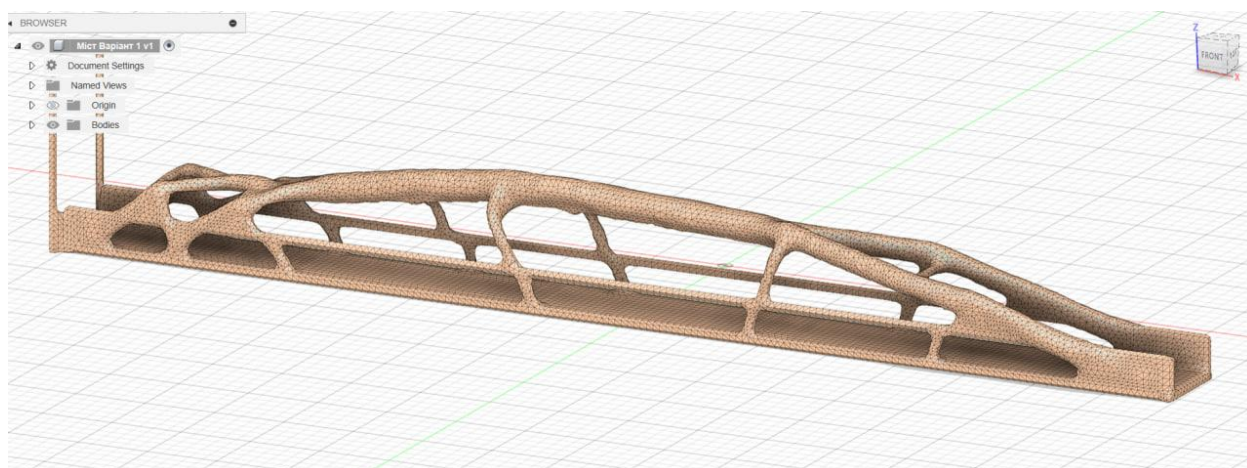


Рисунок 7 – Перетворення згенерованої конструкції у сітку з
можливістю подальшого доопрацювання

Фінальні версії відійшли від стартової форми та використання пілонів, оскільки алгоритм генерації не передбачає додавання канатів. Натомість отриманий достатньо естетичний вигляд з «біоформою» схожою на фермову конструкцію, яка має масивний верхній пояс та тонкіші розкоси. За умовами розрахунку отримані генерації чудово підходять для адитивного

виробництва, але цей результат можна використати як базову ідею для традиційної стержньової конструкції.

Обраний варіант перетворюється в сітку, яку можна додатково відредагувати або експортувати в інші програми для подальшого конструювання (рис. 7).

Таким чином, генеративний дизайн дає можливість значно підвищити продуктивність проєктування несних конструкцій, особливо це стосується мостобудівництва, де високо цінується індивідуальність та оригінальність проєкту. За допомогою запропонованого алгоритму, конструктор може розглянути та оцінити десятки рішень для конкретного завдання та обрати найбільш придатний варіант, використовуючи для виготовлення традиційні технології або технології адитивного виробництва, які швидко розвиваються в сучасному будівництві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Autodesk Fusion. *Autodesk product documentation*. URL: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/> (дата звернення 04.04.2025).
2. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. [Чиний від 11.11.2009]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 71 с. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074218647841932431
3. Hartmut Bohnacker, Benedikt Gross, Julia Laub, Claudius Lazzeroni. *Generative Design: Visualize, Program, and Create with Processing*. Princeton Architectural Press, 2012. 472 p.
4. Achim Menges, Sean Ahlquist. *Computational Design Thinking*. Wiley, 2017. 224p.
5. Autodesk Fusion. *Autodesk*. URL: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview> (дата звернення 04.04.2025).

БАГАТОРІВНЕВІ ПАРКІНГИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Токар В.С. ДМ-51-24,
Науковий керівник: к.т.н., доцент Смолянчук Н.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Відсутність достатньої кількості паркувальних місць у центральних районах більшості українських міст – проблема, що посилюється з кожним роком. Європейський досвід показує, що найкращим способом вирішення питання автомобільної завантаженості міських вулиць є розвиток інфраструктури багаторівневих паркінгів, що дозволяє місту в короткі терміни збільшити кількість паркомісць [1].

Організація наземних однорівневих стоянок вимагає значного землевідведення, а також погіршує містопланувальне середовище. Підземні багаторівневі паркінги мають обмежену застосовність, оскільки супроводжуються складними та трудомісткими роботами нульового циклу, що впливають на сусідню забудову і можуть спричинити перенесення існуючих міських інженерних мереж. Найбільш оптимальним варіантом розширення паркувальної інфраструктури сучасних міст є будівництво наземних багаторівневих паркінгів [2].

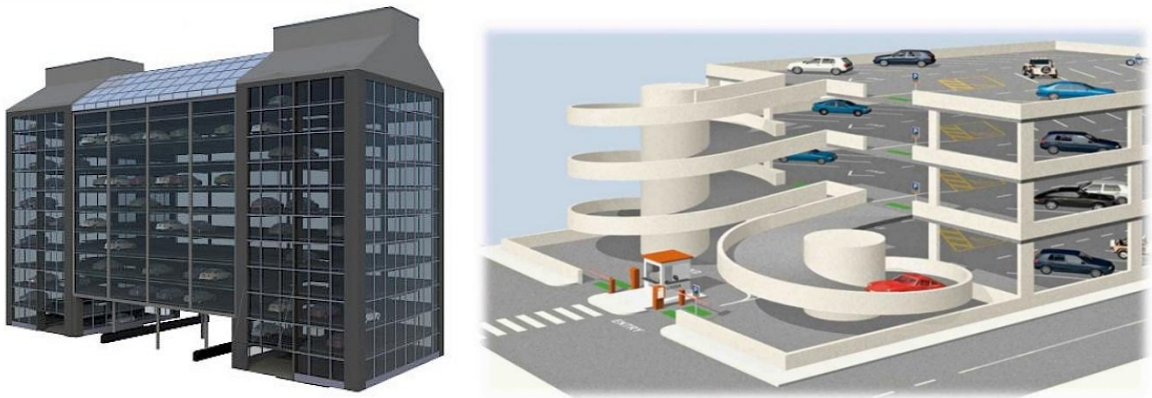


Рисунок 1 – Багаторівневі наземні паркінги (фото з інтернету)

Залежно від потреб бізнесу та можливостей будівельного майданчика багаторівневі паркінги можуть бути прибудованими до певної будівлі, вбудованими або які стоять окремо (рис. 1).

Автоматизовані паркінги (рис. 2) є одним із перспективних видів, вони мають такі переваги, як економія часу на в'їзд-виїзд-пошук місця та безпечне зберігання автомобіля. У цьому типі паркінгу відсутні рампи та автомобільні проїзди, що дозволяє отримати на 35-50% більше паркомісць порівняно з іншими технологіями будівництва. Однак складність доступу власника до автомобілю, що стоїть на автоматичному паркінгу, обмежує застосування такого виду споруд у торгівельних будівлях, розважальних та офісних центрах, а також інших місцях, де потрібний доступ до автомобіля без від'їзду з місця паркування.



Рисунок 2 – Автоматизований паркінг

Найбільш перспективними є автоматизовані багаторівневі паркувальні системи. Для зберігання великої кількості автомобілів на обмеженому просторі, є сенс використовувати багаторівневі пазлові або роторні автоматизовані паркувальні системи. Роторна автопарковка дозволяє зберігати до 20 автомобілів на площі, порівнянної з розміщенням 3-х авто. А пазлова – розміщувати велику кількість (50 і більше) авто багаторівневими ярусами. Тому роторні моделі використовують для зберігання авто в

обмеженому просторі, а пазлові – в підземних паркінгах та на більш широкому просторі.

Механізовані паркінги (напіваавтоматичні) є спрощеним варіантом автоматичного паркінгу, це тимчасова споруда, яка швидко будується, і часто застосовується для ущільнення наземних стоянок (рис. 3).



Рисунок 3 – Механізований паркінг

Найбільш ефективним рішенням для зберігання великої кількості автомобілів буде застосування пазлової системи, в якій для видачі автомобіля з верхнього ярусу немає необхідності випарковувати нижчий автомобіль. У таких парковках (в залежності від їх ярусности і кількості зберігається транспорту) платформи з можуть рухатися не тільки вгору-вниз, але і вправо-вліво, вперед-назад, що дозволяє подавати автомобіль з заданого ярусу і ряду зберігання за допомогою автомобільного ліфта – безпосередньо автовласникові.

Будівництво багаторівневих паркінгів із металоконструкцій в порівнянні із залізобетонними дозволяє отримати ряд незаперечних переваг, таких як скорочення термінів та вартості будівництва, збільшення кількості машиномісць на одиницю площі будівлі, адаптивність при наступних

Відсутність потреби в додаткових колонах при прольотах 15-18 м, а також невеликі габарити колон в порівнянні із залізобетонними пілонами дозволяють розмістити до 10% більше паркувальних місць та організувати більш зручну схему пересування автотранспорту (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз залізобетонної і сталевій конструкцій багаторівневого паркінгу

Параметри	Монолітний залізобетон	Металевий каркас С345
Кількість паркувальних місць	184	199
Питома собівартість паркомісця (каркас), у.о.	2050	2490
Питома собівартість паркомісця, у.о.	3500	3550
Загальна тривалість будівництва (днів)	252	140
Вартість паркомісця на момент введення в експлуатацію, у.о.	3702	3550
Чиста приведена вартість NPV життєвого циклу терміном 30 років, у.о.	18545109	19397592

Як видно з таблиці 1, будівництво багаторівневих паркінгів із застосуванням металоконструкцій замість залізобетонних рішень дозволяє скоротити терміни будівництва до 45%. Це обумовлено високою заводською готовністю та уніфікацією металевих конструкцій, а також простотою їх монтажу у стиснених умовах щільної міської забудови. Великі прольоти, мала вага та кількість елементів каркасу підвищують технологічність його монтажу та зменшують розміри фундаментів, що у свою чергу призводить до збільшення швидкості будівництва. Скорочення термінів будівництва дозволяє зменшити витрати на утримання ділянки, а також збільшити чисту наведену вартість (NPV) від більш раннього введення об'єкта в експлуатацію.

Окрім того, каркаси із застосуванням сталевих конструкцій мають високу ступінь ремонтпридатності та адаптивності при переоснащенні, надбудові та реконструкціях, а також при зміні функціонального призначення.

Шарнірні вузли балка-колонна дозволяють повністю уніфікувати рішення перекриттів в межах комірки та використовувати їх повторно, забезпечуючи мобільність та екологічність будівельного процесу.

З 1 липня 2014 року на території України набули чинності гармонізовані європейські норми у сфері проектування будівельних конструкцій (Єврокоди) [3], які дають більш точний опис навантажень на паркінги.

Завдяки уніфікації проектних рішень, великий заводський готовності та відсутності «мокрих» процесів в умовах щільної міської забудови, металоконструкції дозволяють реалізувати проект у мінімальні терміни, без загрози для функціонування сусідніх будівель, а також руху транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Принципи архітектурно-планувальної організації багатоповерхових автостоянок: монографія / С. С. Кисіль – К.: КНУТД, 2018. – 168 с. ISBN 978-617-7239-34-4.
2. Багаторівнева парковка: практичне застосування. URL: <https://www.smartparking.org.ua/bagatorivneva-parkovka-praktichne-zastosuvannja/> (дата звернення: 02.04.2025).
3. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд (EN 1991-1-1:2010, IDT).

ЗАСТОСУВАННЯ БІОПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ РОЗВИТКУ ДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

*Негрій Я.В. ДМ-51-24,
Науковий керівник: к.т.н., доцент Смолянчук Н.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Забезпечуючи комфортні умови для людини, автомобілізація неминуче негативно впливає на екологічну систему. Залежно від джерела впливу у взаємодії з навколишнім середовищем автодорожній комплекс може змінювати географічний ландшафт, викликати забруднення внаслідок функціонування транспортних засобів, дії спеціалізованого транспорту, від використання засобів проти пилу та ожеледиці, від матеріалів ремонту створювати шумове забруднення та ін.

При проектуванні автомобільних доріг оцінюванню підлягають усі джерела впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище. Інтереси збереження природи і ландшафту повинні враховуватися на всіх етапах проектування, будівництва й утримання доріг згідно із законодавчими актами, нормативними документами і з необхідним дотриманням вимог до технологій.

Автомобільні шляхи виступають штучними бар'єрами, фрагментуючи природне середовище та ізолюючи деякі ділянки, що призводить до втрати місця існування дикої фауни, ізоляції популяцій, порушення екологічних процесів, збільшується смертність тварин. Ця проблема може бути вирішена шляхом будівництва переходів для тварин [1].

Згідно з ДСТУ [2] біоперехід (екодук) – це спеціальна транспортна споруда у вигляді мосту або труби, що призначена для проходу диких або свійських тварин. Найбільш поширені біопереходи мостового типу (рис.1, 2, 3) або підземні переходи (рис.4), але існують і інші їх варіації, залежно від призначення і локації: тунелі, водопропускні труби тощо.



Рисунок 1 – Верхній біоперехід мостового типу (ландшафтний міст
Weiherholz – дорога B31neu, Німеччина)



Рисунок 2 – Верхній біоперехід мостового типу (автострада A36, Франція)

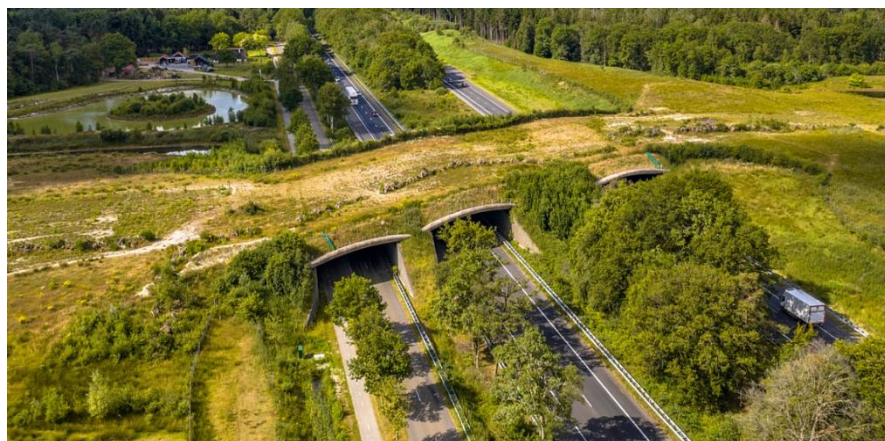


Рисунок 3 – Екодук (Національний парк Двінгелдервельд, Дренте,
Нідерланди)

Біопереходи зменшують ризик виникнення ДТП з тваринами на дорозі.
Ділянку дороги, що перетинає оселище чи шлях міграції диких тварин

обладнують бар'єром, який веде тварину до переходу та не дає вийти на смугу руху.



Рисунок 4 – Підземний перехід для слонів (Кенія)

Розташування й конструкція біопереходів мають забезпечувати потрібні для тварин рівень огляду території, характерні для цієї місцевості види рослинності та ґрунтового покриття. Місця розташування біопереходів визначають на основі:

- а) обліку видів та розміщення середовища існування тварин;
- б) виявлення та дослідження шляхів міграції тварин;
- в) виявлення місць концентрації ДТП за участі тварин, які найчастіше здійснюють на місцях перетину шляхів міграції тварин автомобільною дорогою;
- г) природних та ландшафтних особливостей території.

Ландшафтні мости та wildlife crossing (естакади дикої природи) будуються через дорогу з кількома смугами та/або з високою щільністю і швидкістю руху та є складними інженерними спорудами, які облаштовують у місцях активної міграції тварин та добре інтегруються в ландшафт. Такі мости потребують складнішого облаштування – подовжені підходи для створення пологого підйому і спуску, що вимагає додаткового відчуження земель, додаткового озеленення, аж до створення рослинно-дернового покриття на самій естакаді, утримання цієї споруди в належному стані, у

результаті чого капітальні і поточні витрати перевищують аналогічні показники для звичайної естакади, призначеної для автомобільного транспорту. З такою ж проблемою стикається і облаштування тунельного переходу [3].

Для будівництва біопереходів у світовій практиці використовують різноманітні матеріали: клеєний брус, сталь, бетон, композитні матеріали та залізобетон. Але необхідно передбачити дренаж поверхні на схилі (2–3 %) його центральної поздовжньої осі до країв із шаром ізолюючого матеріалу для захисту основи і забезпечення довговічності. Зверху над прогоновою будовою розміщується монолітна плита, на поверхню якої наноситься гідроізоляція. Зверху насипається ґрунт, створюється дерновий шар, висаджується трава, чагарники, дерева. На підходах до біопереходу обов'язково передбачається влаштування пристроїв, що знижують шумове навантаження.

Наразі Глобальний екологічний фонд допомагає Україні запуснути проєкти зі створення автомобільних доріг, що є безпечними для тварин. Першою такою дорогою стане міжнародна автомагістраль Київ-Чоп. На ній спроектують та збудують екодуки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рафал Т. Курек. Посібник з проектування переходів для тварин і заходів зі зниження смертності фауни на дорогах. Київ, 2021. – 245 с.
2. ДСТУ 9216:2023 Автомобільні дороги. Біопереходи. Вимоги до проектування споруд [Чинний від 20.04.2023]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2023. 31 с. (Державний Стандарт України).
3. Kostiantyn Medvediev, Anatolii Morozov, Tetiana Morozova, Inessa Rutkovska, Viktoriia Khrutba Basic technical principles of wildlife crossings // *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2020. Iss. 22. P. 234-248 [in Ukrainian].

ГЕОТЕХНІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПІДЧАС БУДІВНИЦТВА

Корнейко В.В. ДМ-41-21

Науковий керівник: к.т.н., доцент Смолянчук Н.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Геотехнічний моніторинг – це система стеження за параметрами, що характеризують основи будівель або споруд (тобто геологічного середовища), яка забезпечує безпечне та ефективне здійснення будівельно-технологічних процесів та наступну експлуатацію будівель та споруд.

Якщо споруди відносно невеликі, а інженерно-геологічні умови сприятливі, помилки в розрахунках основ та визначенні характеристик ґрунтів можуть не мати великого значення, оскільки малі осадки основ, які не виходять за рамки граничних величин, не можуть завдати істотних збитків будинкам. Але в сучасне будівництво все більше впроваджується нова потужна техніка для спорудження нових типів фундаментів та зміцнення основ. Тому існують численні будівельні ситуації, які вимагають обов'язкової організації та проведення геотехнічного моніторингу.

Згідно діючих нормативних документів [1,2] геотехнічний моніторинг застосовується для оцінки надійності системи споруда-основа, своєчасного виявлення дефектів, запобігання аварійним ситуаціям, оцінки правильності прогнозів і прийнятих методів розрахунку та проектних рішень.

Геотехнічний моніторинг має бути пов'язаний із системами моніторингу підземних вод, мережею геодезичних та геодинамічних спостережень та загалом із системою моніторингу геологічного середовища. Він проводиться відповідно до раніше розробленого проекту і включає:

- систему спостережень за надземними і підземними конструкціями будівлі, яка будується або реконструюється, або існуючих будівель та споруд, що потрапляють у зону її впливу, а також за масивом ґрунту, прилеглого до підземної частини об'єкта, включаючи підземні води;

- прогноз змін стану об'єкту та споруд в зоні його впливу і ґрунтового масиву, прилеглого до його підземної частини, включаючи підземні води, в період будівництва та експлуатації;
- розробку заходів з забезпечення збереження існуючих будівель і споруд в зоні впливу об'єкту.

Радіус зони впливу на навколишню забудову заглибленої споруди, що знову будується, або реконструюється, в межах якої слід проводити геотехнічний моніторинг, визначається розрахунком за діючими нормами, з урахуванням методу кріплення стін котловану для заглибленої споруди та глибини котловану.

Виявити розвиток несприятливих тенденцій під час виконання геотехнічних робіт, зведення надземної частини споруди та в перший період її експлуатації дозволяють регулярні інструментальні спостереження та оперативне управління ходом робіт – геотехнічний моніторинг. Результати геомоніторингу дозволяють забезпечити підвищення достовірності розрахунків основ та масивів ґрунтів. Тобто метою геомоніторингу є забезпечення високої якості будівництва та збереження будівель та споруд навколишньої забудови.

До складу геотехнічного моніторингу в залежності від інженерно-геологічних умов майданчика, розмірів (маси) споруд, що зводяться, наявності природних і техногенних геодинамічних процесів у товщі ґрунтів, специфічних вимог, які випливають з особливостей запроектованих будівель і споруд, входять наступні види вимірювань:

1) висотних позначок частин будівель та споруд, які дозволяють судити про величини осадок основ, кренів, прогинів, перекосів будівельних конструкцій;

2) осідання поверхні масивів ґрунтів в результаті дії навантаження (підйом території насипним або намитим ґрунтом), просідання ґрунтів, вібраційних навантажень від транспорту та будівельних механізмів;

- 3) зміни напруженого стану в масиві ґрунтів та конструкціях будівель та споруд;
- 4) горизонтальних переміщень масивів ґрунтів, обмежених схилами чи укосами;
- 5) осідання та зсувів поверхні масивів ґрунтів, схильних до підробітку (будівництво тунелів, видобуток корисних копалин «закритим способом»);
- 6) рівня та ступеня мінералізації підземних вод та складу речовин, розчинених у підземних водах;
- 7) осідання поверхні масивів гірських порід, що піддаються впливу карстових процесів, хімічної та механічної суфозії дисперсних порід;
- 8) параметрів коливань споруд при роботі механізмів для занурення шпунтів, паль, розпушування мерзлих та скельних ґрунтів;
- 9) просадок, обумовлених відтаванням масивів мерзлих порід.

Для проведення геотехнічного моніторингу використовують контрольно-вимірювальну апаратуру механічного та дистанційного типів [3].

А саме:

- обладнання для контролю горизонтальних зсувів ґрунту (інклінометри, обсадні інклінометричні труби, автоматичні інклінометричні системи, реєстратори та ін.) (рис.1);



Рисунок 1 – Обладнання для контролю горизонтальних зсувів ґрунту

- обладнання для контролю осадок ґрунту (свердловинні магнітні екстенсометри (ручний режим вимірювань), анкерні екстенсометри (автоматичний режим вимірювань) та ін.) (рис. 2);



Рисунок 2 – Обладнання для контролю осадок ґрунту

- гідрогеологічне обладнання (автоматичні п'єзометри, п'єзометри CASAGRANDE для вимірювань у ручному режимі, індикатори рівня води, свердловинні пробовідбірники та ін.) (рис.3);



Рисунок 3 – Гідрогеологічне обладнання

- датчики навантаження (на ґрунт, на оголовок палі, на анкерне кріплення, та ін.) (рис.4);



Рисунок 4 – Датчики навантаження

- обладнання для моніторингу будівельних конструкцій фундаменту (струнні тензометри, датчики контролю переміщень, датчики контролю кренів споруди та ін.) (рис.5);



Рисунок 5 – Обладнання для моніторингу будівельних конструкцій фундаменту

У промисловому та цивільному будівництві найбільш широко проводяться спостереження за розвитком осадок будівель та споруд, поверхні масивів ґрунтів, стеження за виникненням пошкоджень (тріщин) у

конструкціях, викликаних нерівномірним розвитком деформацій основ. При цьому основою моніторингу служить спостережна мережа, яка включає опорні (нерухомі) репери, а також деформаційні марки, які встановлюють на об'єктах будівництва та в ґрунті (у поверхні масиву або на різних глибинах). При довготривалих спостереженнях опорні репери влаштовують у свердловинах, які пробурюють до корінних (щільних) ґрунтів і забезпечують реперною трубою зі сферичною голівкою. Ґрунтові марки влаштовують у шурфах, розташованих глибше за рівень сезонного промерзання ґрунту, на дні яких влаштовують залізобетонну подушку (якір), в яку закладають реперну трубу.

При обробці отриманих даних встановлюють осадку окремих точок і максимальну та мінімальну осадку об'єкта (відповідно). Для вирішення практичних задач результати спостережень подають у формі графіків розвитку осадок в часі, на яких показують величини та осадки окремих стін, рядів колон, споруди загалом. Таким чином, інструментальні спостереження за розвитком осадок дозволяють обґрунтовано вирішувати практичні та теоретичні питання, удосконалювати методи досліджень властивостей ґрунтів, розрахунку та проектування фундаментів, технологію та організацію геотехнічних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд [Чинний від 01.04.2017]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 20016. 42 с. (Державний Стандарт України).
2. ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 Єврокод 7. Геотехнічне проектування. Частина 1. Загальні правила (EN 1997-1:2004, IDT) [Чинний від 01.04.2013]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 20016. 42 с. (Державний Стандарт України).
3. Випробування конструкцій, обстеження та моніторинг будівель і споруд: Підручник / Кліменко В.З., Белов І.Д. – К.: Кондор-Видавництво, 2015 – 572 с.

БУДІВНИЦТВО МОСТІВ У СКЛАДНИХ УМОВАХ.

Гетало Д.І. ДМ-51-24

*Науковий керівник: канд. техн. наук, доцент Краснов С.М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Мости — це не лише архітектурні витвори, а й життєво важлива інфраструктура, що забезпечує зв'язок між регіонами та сприяє економічному розвитку. Особливо цікавим стає їх будівництво у складних умовах: від сейсмічно активних зон і територій з вічною мерзлотою до місцевостей з великими пролітами, агресивною середовищем або складними ґрунтами. Метою цього доклада є показати, як сучасна інженерна думка знаходить ефективні рішення для подолання цих викликів, демонструючи приклади найсучасніших технологій та конструктивних рішень. Ми розглянемо декілька яскравих прикладів, які не тільки ілюструють труднощі, але й демонструють, як інновації перетворюють проблеми на можливості в галузі мостобудування.

Актуальність даної роботи полягає в систематизації та аналізі сучасного світового досвіду проектування та будівництва мостів саме у таких екстремальних та складних умовах. Розуміння проблем та успішних інженерних підходів є ключовим для подальшого розвитку галузі, підвищення безпеки інфраструктури та ефективного використання ресурсів.

Мета роботи: Показати на яскравих прикладах світової практики, як сучасна інженерна думка знаходить ефективні рішення для подолання складних природних та техногенних викликів при будівництві мостів, забезпечуючи їх надійність, довговічність та функціональність.

Вплив землетрусів на мостові конструкції. Землетруси є одним із найруйнівніших природних явищ, здатних завдати колосальної шкоди інфраструктурі, зокрема мостам. Сейсмічний вплив на мостову споруду є складним динамічним процесом. Коливання земної кори передаються через

фундаменти на опори та прогонові будови, викликаючи значні інерційні сили. Основні небезпеки включають:

- Інтенсивні коливання: Горизонтальні та вертикальні прискорення ґрунту викликають великі згинальні моменти та поперечні сили в опорах, що може призвести до їх руйнування.
- Втрата стійкості опор: Особливо вразливими є високі та гнучкі опори.
- Розрідження ґрунтів (ліквефакція): Деякі типи водонасичених піщаних ґрунтів при динамічному впливі втрачають свою несучу здатність, переходячи у квазірідкий стан, що призводить до осідання або нахилу фундаментів та опор.
- Руйнування опорних частин та деформаційних швів: Ці елементи зазнають великих деформацій та зусиль під час землетрусу.
- Резонансні явища: Якщо власна частота коливань мосту збігається з частотою сейсмічних коливань, амплітуда коливань конструкції може різко зрости.

Історичний досвід (наприклад, землетруси в Кобе 1995 р., Нортридж 1994 р.) показав вразливість навіть сучасних на той час мостів та підкреслив необхідність розробки спеціальних методів сейсмостійкого проектування.



Рисунок 1 – Кобе 1995 р.

Інженерні рішення для забезпечення сейсмостійкості. Сучасне сейсмостійке проєктування мостів базується на філософії забезпечення "життєздатності" споруди. Це означає, що при слабких та помірних землетрусах міст не повинен зазнавати пошкоджень, а при сильних та катастрофічних – може отримати контрольовані пошкодження у спеціально призначених елементах (пластичні шарніри), але не повинен зруйнуватися повністю, зберігаючи можливість евакуації та швидкого відновлення. Ключові інженерні рішення:

Сейсмоізоляція (Base Isolation): Це одна з найефективніших стратегій. Між фундаментами та опорами (або між опорами та прогоновою будовою) встановлюються спеціальні пристрої – сейсмоізолятори, щоб забезпечити високу вертикальну жорсткість для підтримки статичних навантажень, одночасно маючи низьку горизонтальну жорсткість для поглинання енергії, що виникає під час землетрусів. Це дозволяє значно зменшити горизонтальні переміщення та деформації будівлі під час сейсмічних впливів. Вони "відфільтровують" значну частину сейсмічної енергії, що передається від ґрунту, суттєво збільшуючи період власних коливань споруди та зменшуючи інерційні сили.

Типи ізоляторів: найпоширеніші – свинцево-гумові опори (LRB) (шари гуми та сталі з свинцевим сердечником для демпфування) та маятникові опори (FPS) (ковзання по сферичній поверхні).

Демпфування (Energy Dissipation): Встановлення спеціальних пристроїв – демпферів – які поглинають (розсіюють) енергію сейсмічних коливань, перетворюючи її переважно на тепло. Це зменшує амплітуду коливань та навантаження на основні несучі елементи.

Типи демпферів: в'язкі (працюють за принципом гідравлічного опору), фрикційні (розсіювання енергії за рахунок тертя), металеві гістерезисні (використовують пластичну деформацію металу), в'язкопружні, налаштовані масові демпфери (TMD).

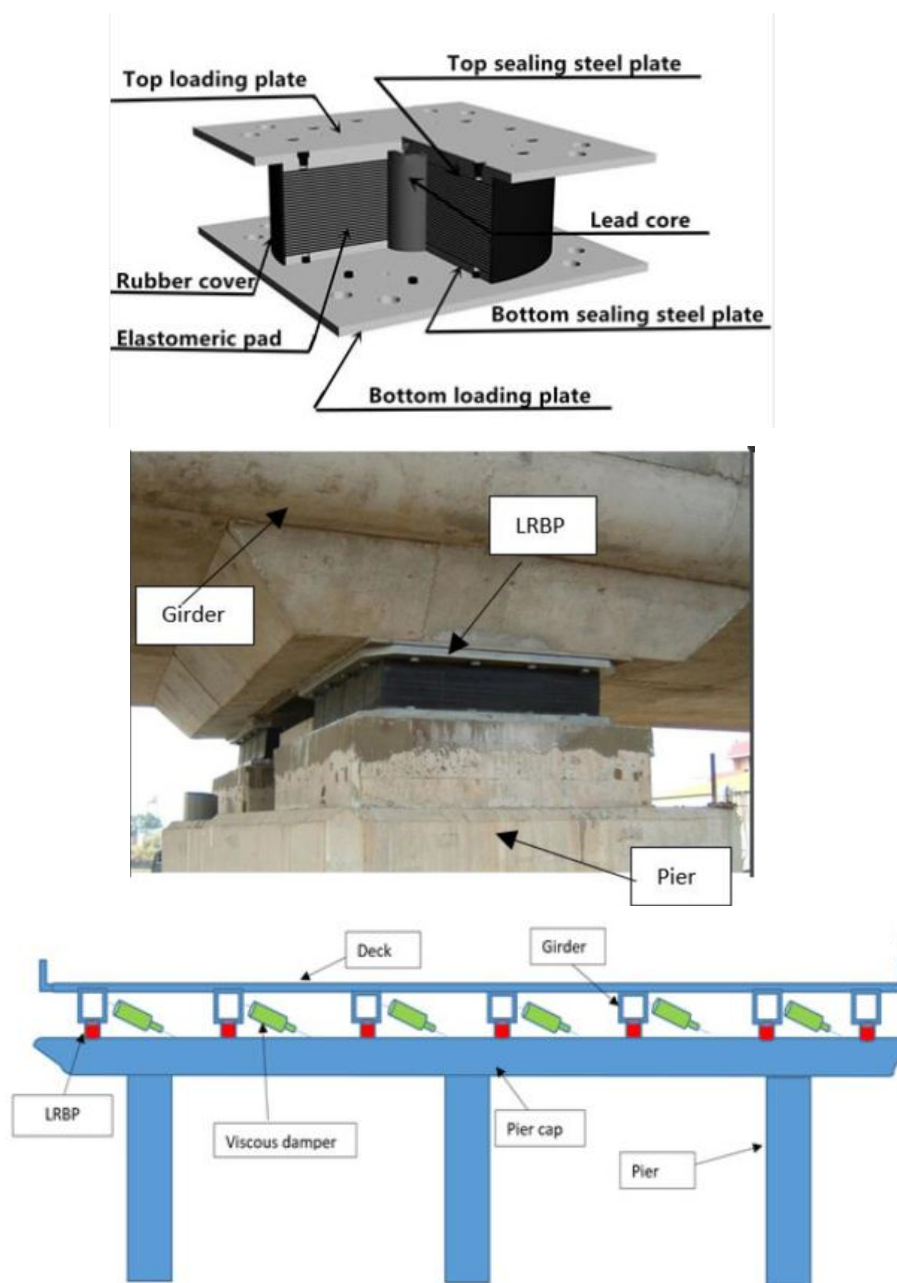


Рисунок 2 – Сейсмічний ізолятора типу Lead Rubber Bearing



Рисунок 3 – Приклад встановлення в'язкого демпфера на мостовій опорі

Спеціальні конструктивні схеми: Використання гнучких опор, які можуть зазнавати значних горизонтальних зміщень без руйнування; забезпечення достатньої довжини обпирання прогонових будов на опорах; використання обмежувачів зміщень (бамперів); інтегральні конструкції без деформаційних швів (у певних межах).

Врахування взаємодії "грунт-фундамент-споруда": Детальний аналіз поведінки ґрунтів основи під час сейсмічного впливу, включаючи ризик розрідження, та проєктування відповідних фундаментів (глибокі палі, що проходять слабкі шари; методи покращення ґрунтів).

Приклади реалізації. Міст Акасі-Кайкьо (Японія): Найдовший на момент будівництва підвісний міст у світі (центральный прогін 1991 м). Зведений у надзвичайно сейсмічно активній зоні. Під час будівництва у 1995 році витримав потужний землетрус у Кобе (епіцентр був близько), що призвело лише до невеликого зсуву опор (близько 1 м), який був врахований при подальшому монтажі. У конструкції застосовані передові на той час технології сейсмозахисту, включаючи налаштовані масові демпфери (TMD) у пілонах для гасіння коливань від вітру та землетрусів, а також спеціальна конструкція фундаментів.



Рисунок 4 – Міст Акасі-Кайкьо, Японія

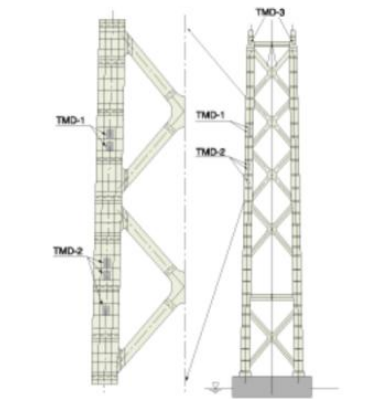
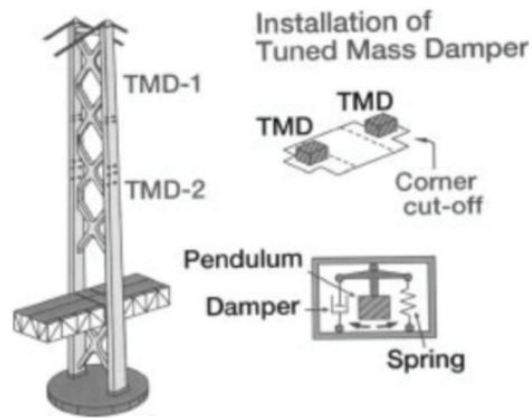


Figure 14: Location of Tuned Mass Damper

Рисунок 4 – Налаштовані масові демпфери

Подолання великих відстаней, вітрові навантаження та власна вага. Необхідність з'єднати береги широких річок, морських проток чи глибоких каньйонів часто вимагає створення мостів із дуже великими прогонами, де встановлення проміжних опор є неможливим або економічно недоцільним. Це породжує специфічні інженерні проблеми:

- Величезні зусилля та власна вага: У великопрогонових системах (особливо підвісних та вантових) виникають колосальні розтягуючі зусилля в канатах/вантах та стискаючі/згинальні – в балках жорсткості та пілонах. Власна вага конструкції стає домінуючим навантаженням, що обмежує максимально можливий прогін. Інженери постійно шукають шляхи оптимізації конструкції та використання легших і міцніших матеріалів.

- Складність монтажу: Зведення конструкцій на великій висоті над водою або землею, доставка та підйом важких елементів, забезпечення стійкості на всіх етапах будівництва є складними логістичними та інженерними завданнями.

- Вітрові навантаження та аеродинамічна стійкість: Великопрогонові мости, особливо гнучкі підвісні та вантові, дуже чутливі до дії вітру. Можливі небезпечні аеродинамічні явища:

Вібрації від зриву вихорів (Vortex shedding): Періодичний зрив вихорів з елементів конструкції (балки, ванти) може викликати резонансні коливання.

Галопування (Galloping): Аеродинамічно нестійкі коливання самої балки жорсткості при певних формах перерізу та швидкостях вітру.

Флаттер (Flutter): Найнебезпечніше явище – самозбудні зв'язані згинально-крутильні коливання, що можуть призвести до катастрофічного руйнування (класичний приклад – міст Такома-Нерроуз, 1940 р.).



Рисунок 5 – міст Такома-Нерроуз, 1940 р.

- Бафтинг (Buffeting): Вимушені коливання конструкції під дією турбулентних поривів вітру.

Інженерні рішення. Раціональні конструктивні системи:

Підвісні мости (Suspension Bridges): Ефективна система для великих прогонів (понад від 200 - 1000 м). Основні несучі елементи – паралельні або скручені сталеві канати (троси), що перекинуті через високі пілони та закріплені в анкерних масивах. До канатів на підвісках кріпиться балка жорсткості, яка розподіляє навантаження та забезпечує стабільність форми.

Вантові мости (Cable-Stayed Bridges): Оптимальні для надвеликих прогонів (понад 1000 м). Балка жорсткості підтримується системою прямих натягнутих сталевих канатів (вант), що кріпляться безпосередньо до пілонів. Ця система є жорсткішою за підвісну. Існують різні схеми розташування вант (віялом, арфою).

Високоміцні та легкі матеріали:

- Високоміцні сталі: Використовуються для канатів, вант, пілонів та балок жорсткості, дозволяючи зменшити перерізи та власну вагу конструкції при збереженні несучої здатності.

- Композитні матеріали (FRP - Fiber Reinforced Polymers): Починають використовуватися для окремих елементів (наприклад, вант, настилу) завдяки їхній високій міцності, малій вазі та корозійній стійкості, хоча вартість поки обмежує їх широке застосування.

- Високоміцний бетон (HPC/UHPC): Застосовується для пілонів та балок жорсткості, забезпечуючи високу міцність та довговічність.

Аеродинамічне проектування:

- Вибір раціональної форми перерізу балки жорсткості: Надання балці обтічної форми (наприклад, лінзоподібної, з відкритками, щілинами) для зменшення вітрового опору та запобігання аеродинамічній нестійкості. Форма відпрацьовується на основі теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень.

- Продування моделей в аеродинамічній трубі: Фізичне моделювання взаємодії вітру з мостом на різних етапах будівництва та експлуатації для перевірки стійкості та уточнення проєкту.

- Аеродинамічні демпфери: Встановлення спеціальних пристроїв (наприклад, демпферів на вантах для гасіння коливань від дощу та вітру).

Сучасні методи монтажу:

- Навісний монтаж (Balanced Cantilever Method): Послідовне збирання секцій балки жорсткості симетрично в обидва боки від опори (пілона), часто з використанням спеціальних монтажних агрегатів або кранів.

- Насування (Incremental Launching): Збирання прогонової будови на стапелі на одному з берегів та поступове її насування на опори за допомогою гідравлічних домкратів. Застосовується переважно для балочних мостів середніх прогонів, але може використовуватись і для підходів до великих мостів.

- Монтаж великими блоками: Доставка та підйом на проєктну відмітку великих, попередньо зібраних секцій прогонової будови за допомогою потужних кранів (часто плавучих).

Приклади реалізації. Віадук Мійо (Франція): Найвищий транспортний міст у світі (висота однієї з опор – 341 м). Це багатопрогоновий вантовий міст загальною довжиною 2460 м. Його елегантна конструкція, розроблена Мішелем Вірложе та Норманом Фостером, чудово вписується в ландшафт. Будівництво велося методом насування сталевих балок жорсткості з обох берегів долини Тарн за допомогою спеціально розробленої системи домкратів та тимчасових опор. Аеродинамічна форма балки та пілонів була ретельно прорахована.



Рисунок 6 – Віадук Мійо, Франція



Рисунок 7 – Міст Дуге, Китай

Міст Дуге (Китай): Найвищий міст у світі за висотою дорожнього полотна над перешкодою (річка Бейпаныцзян, понад 565 м). Це вантовий міст з головним прогоном 720 м. Його будівництво у віддаленій гірській місцевості над глибоким каньйоном було надзвичайним інженерним досягненням, що вимагало інноваційних методів монтажу секцій балки жорсткості на величезній висоті.

Висновки. Аналіз світового досвіду будівництва мостів у складних умовах демонструє надзвичайний прогрес інженерної думки та технологій. Людство навчилося зводити надійні та довговічні споруди там, де ще кілька десятиліть тому це здавалося неможливим.

У сейсмічно активних зонах перехід від простого забезпечення міцності до концепцій сейсмоізоляції, демпфування та пластичного проєктування дозволив створювати мости, здатні витримувати сильні землетруси без катастрофічних руйнувань, зберігаючи свою функціональність.

В умовах вічної мерзлоти та слабких ґрунтів розробка методів термостабілізації, глибокі фундаменти та врахування специфічних деформацій уможливили будівництво мостів у суворих кліматичних зонах.

Для подолання великих водних та гірських перешкод розвиток підвісних та вантових систем, використання високоміцних матеріалів, глибоке розуміння аеродинаміки та впровадження інноваційних методів монтажу дозволили досягти рекордних прогонів та висот мостових конструкцій.

Інженерні рішення також були знайдені для проблем глибоководного будівництва, захисту від корозії та екстремальних вітрових навантажень, що забезпечує довговічність та безпеку мостів у найрізноманітніших умовах експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. FEMA P-1050 «Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings»
2. The bridge engineering 2 conference akashi bridge "University of Bath Civil Engineering"
3. (Un)frozen foundations: A study of permafrost construction practices
4. Cable- Stayed Bridges - Roumen V. Mladjov, S.E., P.E.
5. Use of High Strength Steel Grades for Economical Bridge Design
6. Steel Bridge Corrosion Prevention and Mitigation Strategies
7. How Bridges Are Built Over Water - Kevin Forestell

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДСИЛЕННЯ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ МОНОЛІТНОЮ НАКЛАДНОЮ ПЛИТОЮ

Миколенко О. ДМ-51-24

*Науковий керівник: канд. техн. наук, доцент Краснов С.М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Збірні залізобетонні мости складають значну частину від всього мостового парку (65 %) [1]. Вік більшості споруд обчислюється багатьма десятиліттями. Більша кількість мостів в Україні побудовано в 60–70 роки (це приблизно 8,7 тисяч споруд, що складає 54 % від їхньої загальної кількості). У зв'язку з цим зростає кількість випадків виявлення різноманітних типів пошкоджень елементів конструкцій мостів, які в перспективі можуть або вже спровокували аварійні ситуації та порушення безпечної експлуатації споруд. Надійність і довговічність мостів визначається не тільки умовами їхньої експлуатації, але й своєчасним і якісним здійсненням робіт з діагностики та ремонту. На сьогодні згідно з даними Укравтодору, обстежено 35 % від всіх мостів, з яких 2 % справні, 10, 6% обмежено справні, 57,8 % працездатні, 26,9 % обмежено працездатні, 2,7% непрацездатні. Значна кількість мостових споруд зруйнована в результаті військової агресії росії [2]. Крім того, більшість мостів та шляхопроводів на дорогах України були побудовані згідно зі старими технічними нормами і нині не відповідають вимогам сучасних норм, як за вантажопідйомністю, так і за габаритами проїзної частини [3-5]. Тільки 36 % мостових споруд відповідають сучасним стандартам.

Значна кількість мостів побудована за типовими проектами «Випуск 56» (217 споруд, 19%), «Випуск 56 (Доповнення)» (101 споруда, 4%), «Випуск 384/43» (1524 споруди, 79%) [6]. Тому питання посилення наявних прогонових будов є актуальним на сьогодні.

Предмет дослідження: Мостові споруди, побудовані з ребристих, попередньо напружених прогонових будов за типовим проектом «Випуск 56», «Випуск 56 (Доповнення) та «Випуск 384/43».

Задачі дослідження:

- 1 Аналіз конструктивних рішень головних балок прогонових будов за типовими проектами.
- 2 Аналіз методів підсилення та поширення прогонових будов мостів.
- 3 Аналіз впливу монолітної накладної плити на збільшення несучої здатності прогонових будов наведених типових проектів.

Основні дані типових проектів:.

Прогонові будови, згідно з типовими проектами «Випуск 56» та «Випуск 56» (Доповнення), відносяться до залізобетонних збірних прогонових будов з ненапруженою арматурою, прольотами 8,66 м, 11,36 м, 14,06 м, 16,76 м та 22,16 м. Схеми армування балок за типовим проектом «Випуск 56» наведено на рис. 1 – 5.

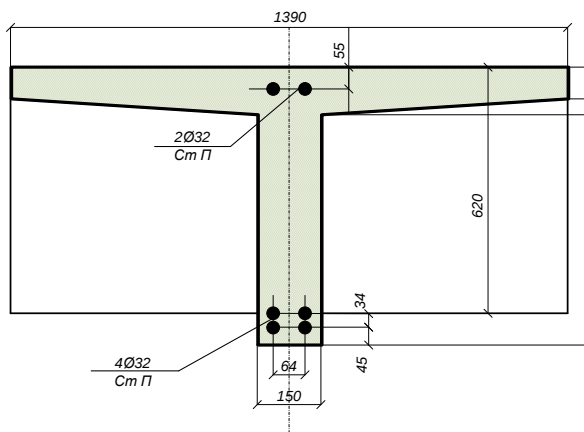


Рисунок 1 – Конструкція балок
8,66 м

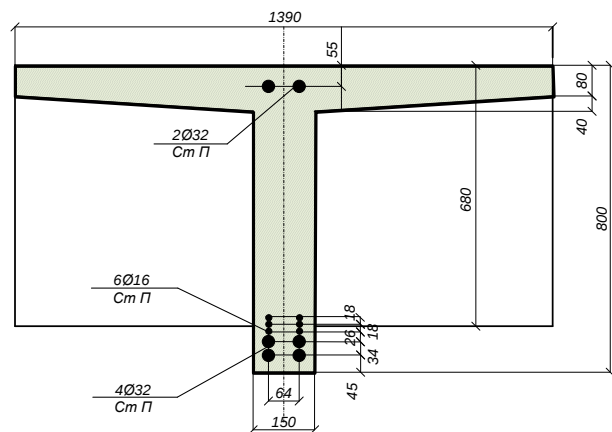


Рисунок 1 – Конструкція балок
11,36 м

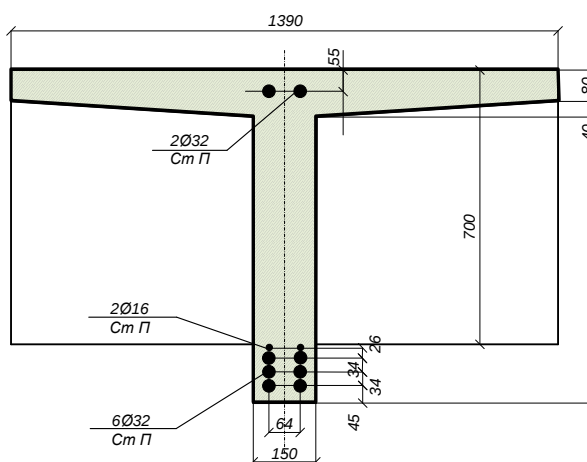


Рисунок 3 – Конструкція балок
14,06 м

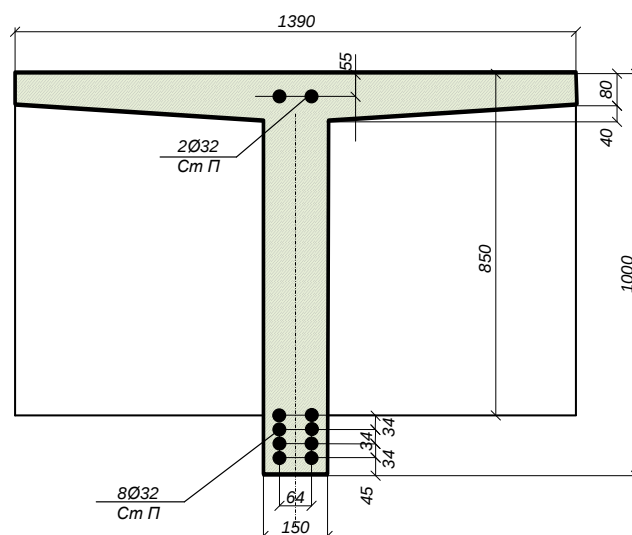


Рисунок 4 – Конструкція балок
16,76 м

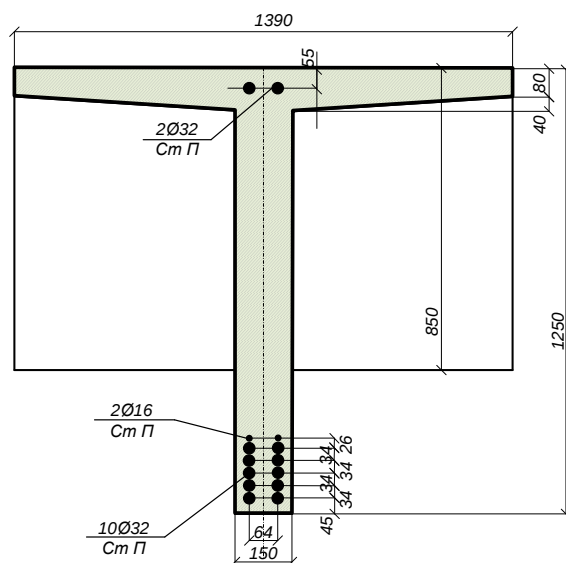


Рисунок 5 – Конструкція балок 22,16 м

Схеми армування балок за типовим проектом «Випуск 45»
(Доповнення) наведено на рис. 6 – 9.

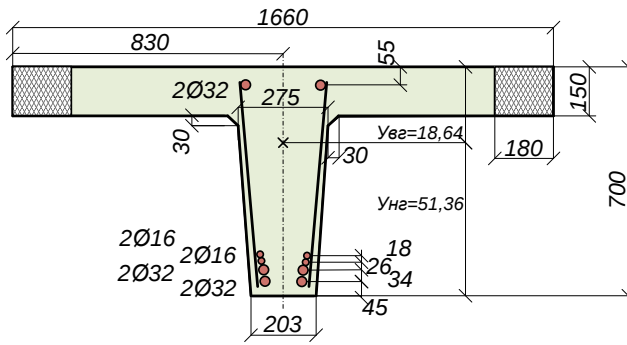


Рисунок 6 – Конструкція балок 8,66 м

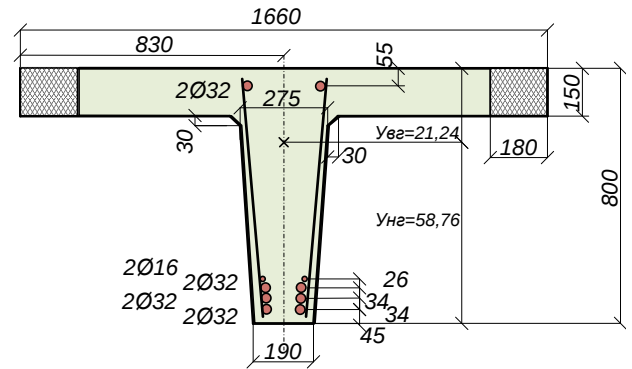


Рисунок 7 – Конструкція балок 11,36 м

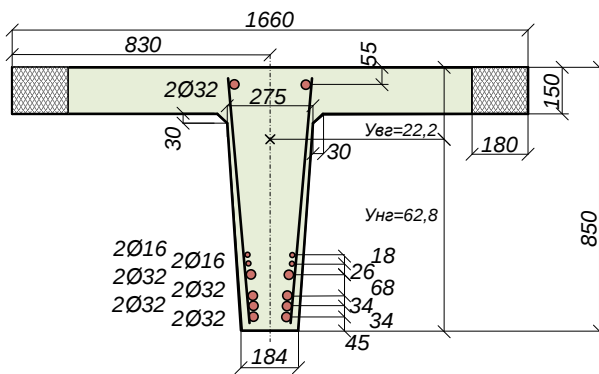


Рисунок 8 – Конструкція балок 14,06 м

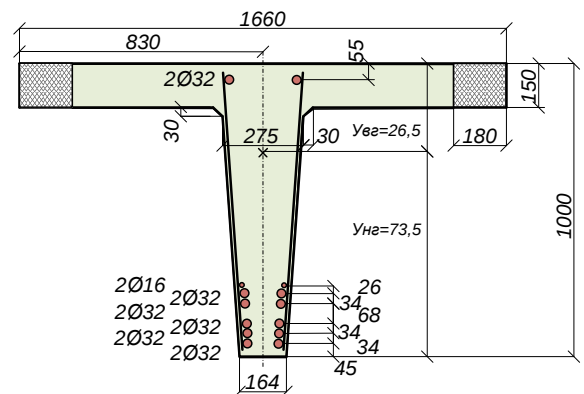


Рисунок 9 – Конструкція балок 16,76 м

Прогонові будови, згідно з типовими проектами «Випуск 384/43» відносяться до залізобетонних збірних прогонових будов з попередньо напруженою арматурою, прольотами 12,0 м, 15,0 м, 18,0 м, 21,0 м, 24,0 м та 33,0 м. Схеми армування балок наведено на рис. 10 – 15.

При реконструкції або капітальному ремонті мостів дуже часто використовують одночасне збільшення габариту проїзду, ширини тротуарів та несучої здатності прогонових будов.

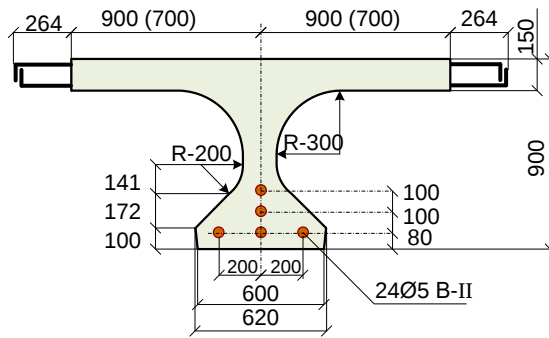


Рисунок 10 – Конструкція балок
12,0 м

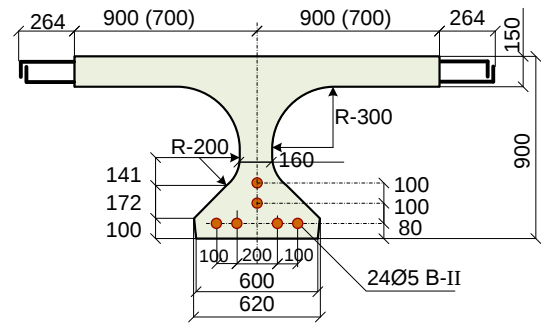


Рисунок 11 – Конструкція балок
15,0 м

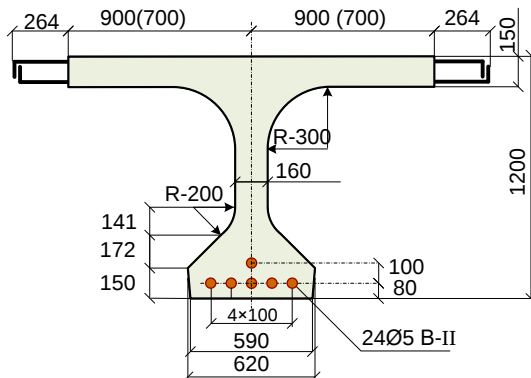


Рисунок 12 – Конструкція балок
18,0 м

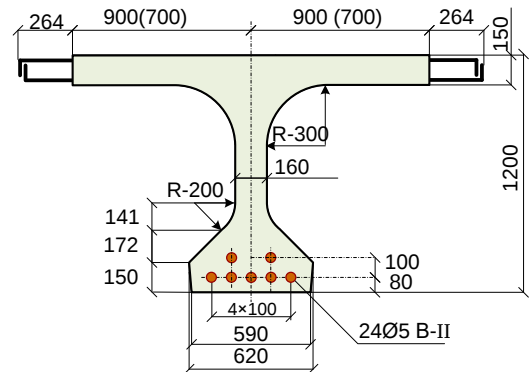


Рисунок 13 – Конструкція балок
21,0 м

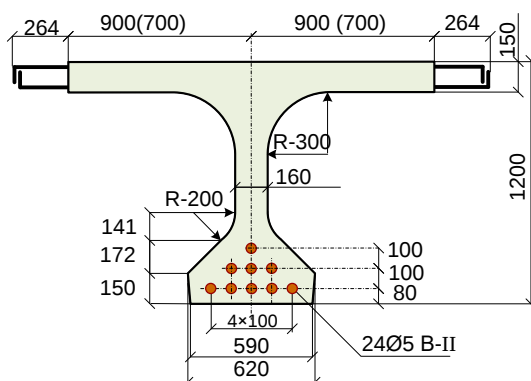


Рисунок 14 – Конструкція балок
24,0 м

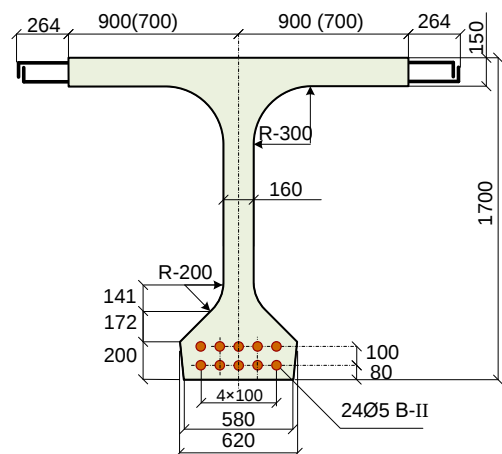


Рисунок 15 – Конструкція балок
33,0 м

Основними схемами розширення та підсилення мостів є:

- збільшення ширини тротуарів за рахунок бетонування консолей або збірних накладних тротуарів;
- використання монолітної, збірної або збірно-монолітної накладної плити, яка включається в сумісну роботу з головними балками;

- добудова додаткових блоків прогонової будови з одночасним поширенням опор.

При виборі схем необхідно враховувати ступень збільшення класу елементів за вантажопідйомністю [7-9].

Поширення за рахунок накладної плити не вимагає встановлення додаткових балок. При збільшенні габариту на 1,0-3,0 м у прогонових будовах необхідно передбачати видалення всіх елементів мостового полотна.

Перевіримо збільшенні вантажопідйомності прогонової будови за типовим проектом «Випуск 56» за рахунок монолітної накладної плити різної товщини. При влаштуванні додаткового шару монолітної плити необхідно забезпечити сумісну роботу конструкції головної балки з накладною плитою за рахунок металевих упорів.

Розглянемо три варіанти збільшення товщини плити, на 10, 15 і 20 см (рис. 16).

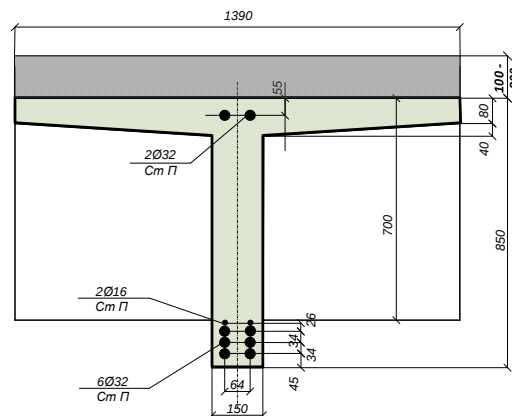


Рисунок 16 - Схема влаштування накладної плити для прольоту 14,06 м

Слід відзначити, що одночасно зі збільшенням товщини плити, можливе збільшення класу бетону. Несуча здатність прогонової будови збільшується за рахунок збільшення висоти головної балки. Одночасно збільшується зусилля (згинальний момент) від власної ваги накладної плити. Що, в свою чергу зменшує вантажопідйомність прогонової будови. Аналіз розрахунків несучої здатності прогонової будови за рахунок влаштування монолітної накладної плити для прогонової будови за типовим проектом «Випуск 56» приведено на рис. 17-21. Несуча здатність головної балки

прогонової будови з урахуванням накладної плити і збільшення класу бетону (В 40) плити для прогону 22,16 м наведено на рис. 22.

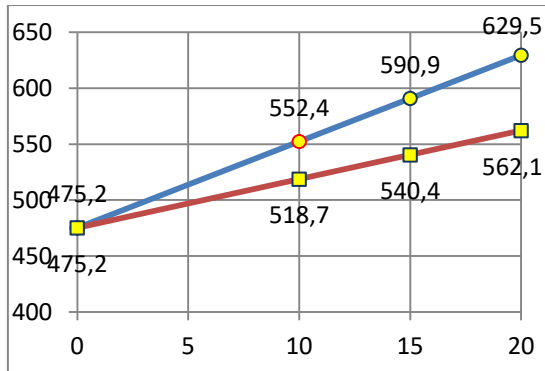


Рисунок 17 – Несуча здатність прогону 8,66 м

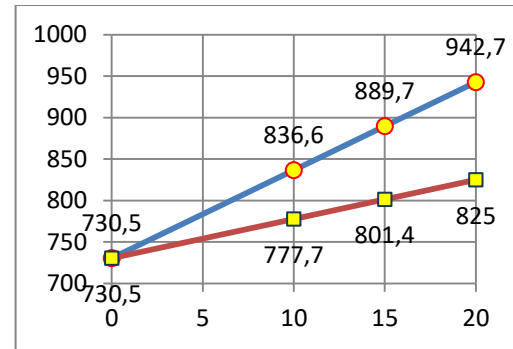


Рисунок 18 – Несуча здатність прогону 11,36 м

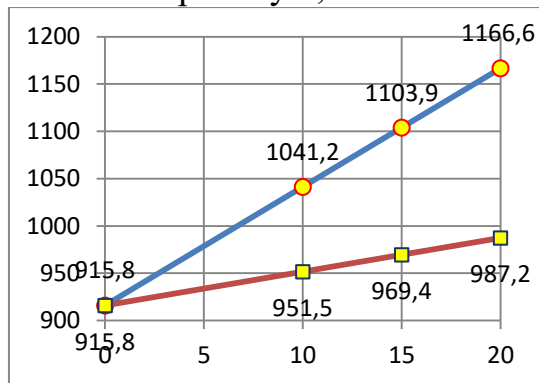


Рисунок 19 – Несуча здатність прогону 14,06 м

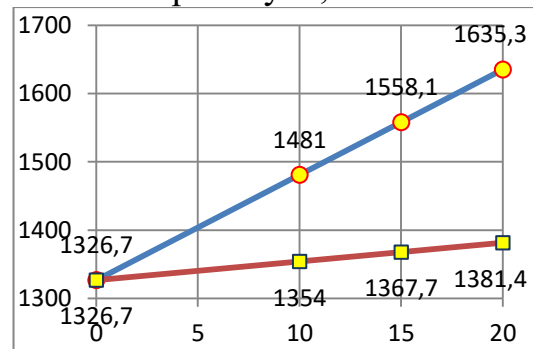


Рисунок 20 – Несуча здатність прогону 16,76 м

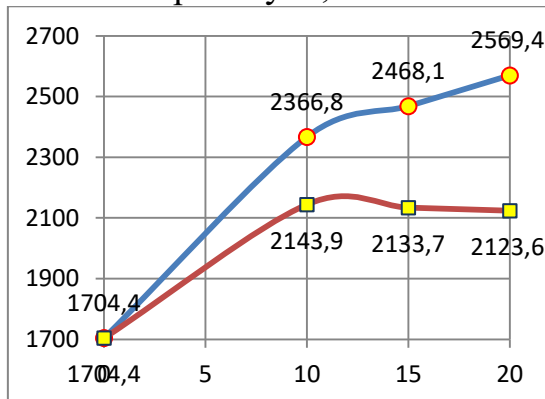


Рисунок 21 – Несуча здатність прогону 22,16 м

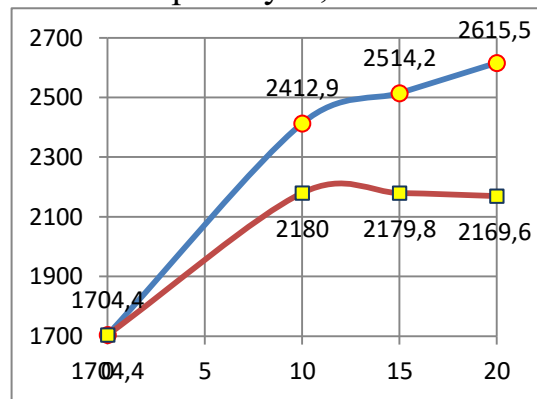


Рисунок 22 – Несуча здатність прогону 22,16 м

Аналіз розрахунків несучої здатності прогонової будови за рахунок влаштування монолітної накладної плити для прогонової будови за типовим проектом «Випуск 384/43» приведено на рис. 23-28.

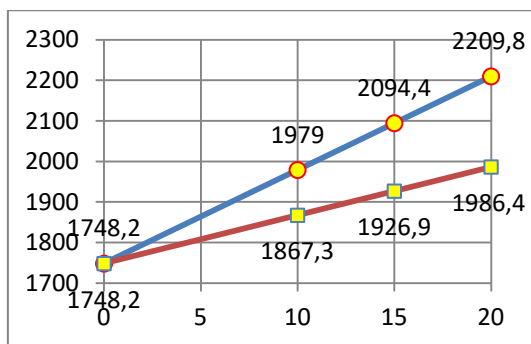


Рисунок 23 – Несуча здатність прогону 12,0 м

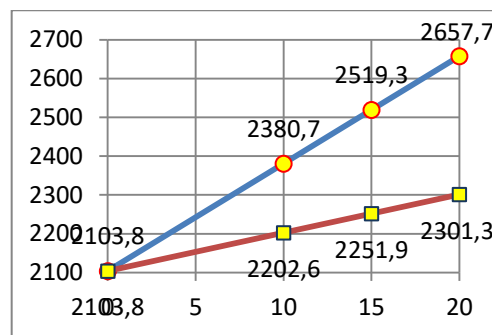


Рисунок 24 – Несуча здатність прогону 15,0 м

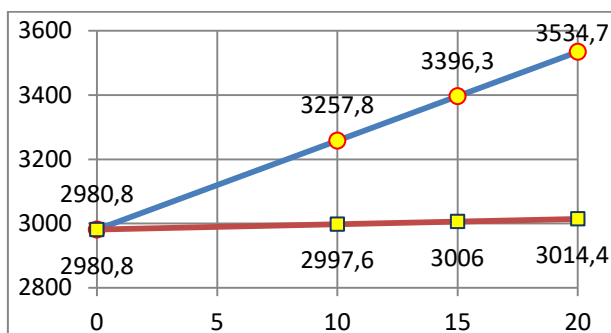


Рисунок 25 – Несуча здатність прогону 18,0 м

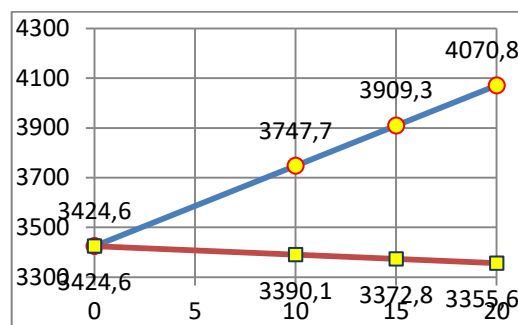


Рисунок 26 – Несуча здатність прогону 21,0 м

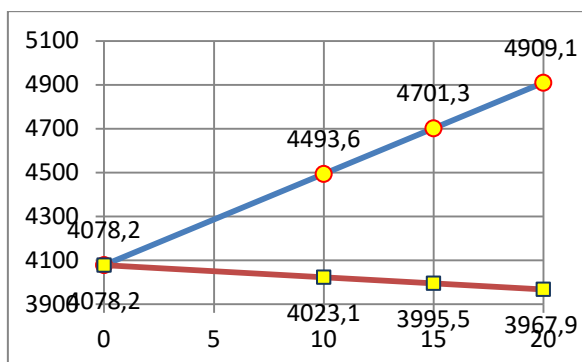


Рисунок 27 – Несуча здатність прогону 24,0 м

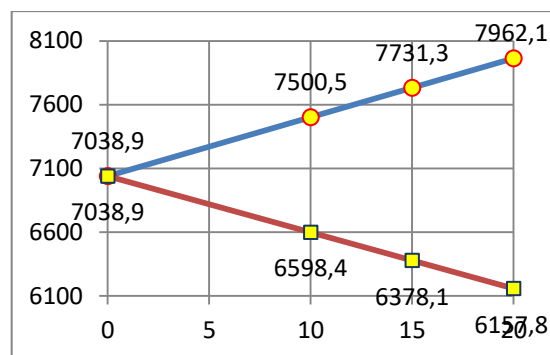


Рисунок 28 – Несуча здатність прогону 33,0 м

Примітка. Умовні позначення на графіках:
 —●— несуча здатність прогону будови з урахуванням збільшення висоти балок;
 —■— несуча здатність прогону будови з урахуванням додаткової ваги накладної плити.

Висновки:

1. Збільшення висоти балки за рахунок накладної плити раціонально для прольотів довжиною яка не перевищує 20,0 м.

2. Використання бетону більшої міцності (В 40) для прогонових будов за типовим проектом «Випуск 56» та «Випуск 56» (доповнення) збільшує їх несучу здатність приблизно на 1-2%.

3. Використання монолітної накладної плити раціонально виконувати з одночасним збільшенням кількості робочої арматури.

4. Для прогонових будов за типовим проектом «Випуск 384/43» збільшення відстані в осях балок приводить до незначного зменшення вантажопідйомності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Експлуатація і реконструкція мостів / Страхова Н.С., Голубєв В.О., Ковальов П.М., Тодіріка В.В. – 2-е вид., випр.. – К., 2002.-408с.
2. Сайт Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України. <http://ukravtodor.gov.ua/>.
3. ДБН В.2.3-22:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с.
4. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. – К.: Мін. Архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 368 с.
5. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. - Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 83 с.
6. Аналіз типових проектів найбільш поширених залізобетонних прогонових будов мостів на автодорогах України / Л.П. Боднар, С.С Завгородній, В.Л. Яструбінецький. Збірник наукових праць «ДОРОГИ І МОСТИ», випуск 22, 2020 р. С 176-186. www.dorogimosti.org.ua.
7. Рекомендації щодо конструктивних рішень для відбудови пошкоджених мостів і труб. https://nidi.org.ua/ua/rekomendaciyi-dlya-vidnovlennya-mostiv_Eu.

8. Проєктування мостів. Залізобетонні мости: навчальний посібник / С.О. Бугаєвський, К.В. Бережна, С.М. Краснов, Ю.В. Бугаєвська. – Кременчук: Видавництво «НОВАБУК», 2023. – 324 с.
9. Аналіз впливу підсилення діафрагмових прогонових будов на їх просторову роботу / К.В. Бережна, С.М. Краснов // Вісник ХНАДУ.- Харків: ХНАДУ, 2021. - Вип.93.- С.93-97.

АНАЛІЗ РОБОТИ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ ЗА ТП 122-62 НА СУЧАСНІ НАВАНТАЖЕННЯ

Володченко Є., Середа М. ДМ-36т1-22

*Науковий керівник: канд. техн. наук, доцент Краснов С.М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Актуальність проблеми. У теперішній час на дорогах загального користування України експлуатується 93% - кам'яних та залізобетонних штучних споруд, 6% - металевих (залізничні мости) та 1% - дерев'яних. Залізобетонні мости поділяються на монолітні (30%), збірно-монолітні (5%) та збірні (65%). Збірні в свою чергу поділяють на плитні, коробчасті та ребристі. Близько 43% прольотних будов є ребристими. Найпоширенішими є прольотні будови зі збірних попередньо напружених залізобетонних балок, зведених за типовими проектами, з них майже 40% відносяться до ребристих прольотних будов які об'єднуються в сумісну роботу за допомогою поперечних балок – діафрагм і біля 60% - які об'єднуються по плиті [1-3]. Кількість мостів, побудованих з використанням прогонових будов за типовим проектом «Випуск 122-62» складає близько 160 штук.

Більшість мостів та шляхопроводів на дорогах України були побудовані за технічними нормами 1962 року та попередніми, і на теперішній час не відповідають вимогам сучасних норм „Мости та труби” [4-6], як по вантажопідйомності так і по габаритам проїзної частини.

Тому при експлуатації та необхідності проведенні реконструкції штучних споруд, актуальним є питання розрахунку конструкцій споруди на сучасні навантаження. Використання для цього сучасних програмних комплексів є спрощенням процесу розрахунку.

Предмет дослідження: Мостові споруди, побудовані з ребристих, попередньо напружених прогонових будов за типовим проектом «Випуск 122-62» [7].

Задачі дослідження:

- 4 Визначення геометричних характеристик елементів прогонових будов.
- 5 Аналіз методів просторового розрахунку, та обґрунтування обраного методу для розрахунків ребристих прогонових будов, об'єднаних по діафрагмах.
- 6 Розрахунок несучої здатності і вантажопідйомності прогонових будов на дію сучасних навантажень.

Основні дані типового проекту.

Прогонові будови, згідно з типовим проектом «Випуск 122-62», відносяться до залізобетонних збірних з натягінням криволінійної арматури до бетонування, прольотами 10 м, 12,5 м, 15 м та 20 м [4].

В проекті прийнято:

- а) габарити проїзної частини Г-7, Г-8, Г-9 та Г-10.5;
- б) ширина тротуарів 1,0 та 1,5м ;
- в) тимчасові вертикальні навантаження Н-30 та НК-80, натовп на тротуарах в розмірі 400 кг/м^2 в сполученні з навантаженням Н-30.

В поперечному перерізі прогонова будова складається з двох крайніх та декількох середніх балок. Кількість середніх балок залежить від габариту прогонової частини й ширини тротуарів. Крайні балки відрізняються від середніх наявністю односторонніх ребер-діафрагм, а для прогонових будов прогонами в світі 15 та 20 м, й кількістю арматури, що натягується. Крайні та середні балки виготовляються в однаковій опалубці.

В крайніх балках прогонових будівель при Г-7 з шириною тротуарів по 1,0 м та Г-8 м з шириною тротуарів по 1,5 м передбачаються закладні частини для кріплення тротуарних блоків. Для прогонових будов з прогонами 10,0 та 12,5 м в просвіті прийняти однакові бетонні поперечні перерізи балок.

Для балок прогонової будівлі та тіла валків опорних частин призначено бетон М - 400, для плит та блоків тротуарів М - 200 та М -300. Попередньо напружена арматура головних балок прийнята з дротів діаметром 5 мм з границею міцності 17000 кг/см^2 . Армування діафрагм для варіанту об'єднання балок з допомогою зварних стиків виконується з сталі класу А-II

(марки В ст.5). Інша арматура головних балок, тротуарних блоків та плит проїзної частини прийнята круглою гладкою зі сталі класу А-І (марки В Ст.3). Каркасно-стержневі анкери пучків повздожнього натягіння виконуються зі сталі марки В Ст.3.

Попередньо напружена арматура балок складається з пучків, зібраних з 24 дротів діаметром 5мм, а для балок прогонових будівель прогоном 10,0 м в світі – з 20 дротів. Кожний пучок має два каркасно-стержневих анкера. Розташування каркасно-стержневих анкерів прийнято за розрахунком. Кінцеві ділянки пучків від анкеру до торця балки ізолюються паклею, яка пропитується бітумом, або обмоткою з щільного паперу по бітумній обмазці, чи іншим способом, який виключає зчеплення високоміцних проволокон з бетоном.

Ненапружена арматура плит та ребер балки складається з плоских зварних сіток. Для зручності збірки арматурний каркас нижнього поширення балок складається з верхньої та нижньої половин. Крок стержнів у кожній зварної сітці прийнято однаковим для можливості зварити сітки на станках-автоматах. При необхідності зменшити або збити крок стержнів сітки (наприклад, в торцях балки), додаткові стержні підварюються на станках або вручну.

Армування високоміцною та ненапруженою арматурою крайніх та середніх балок прогонових будов з прогонами в світу 10,0 та 12,5 м прийняти однаковим. Середні балки прогонових будов з прогонами в світу 15,0 та 20,0 м мають меншу кількість пучків, що напружуються, ніж крайні балки, армування ненапруженою арматурою середніх й крайніх балок однакове (рис. 1-6).

Поперечне з'єднання балок між собою запроектовано тільки за діафрагмами за допомогою приварювання сталених накладок до планок, які випущені по кінцям діафрагм.

Для прогонових будов з прогоном 10,0 м в світу опорні частини не передбачені. Для прогонових будов з прогонами 12,5 та 15,0 м в світу розроблені однакові рухомі й нерухомі тангенціальні сталеві опорні частини.

Нерухомі опорні частини для балок прогонових будівель прогоном 20,0 м в світу прийняти сталі тангенціальні, а рухомі – залізобетонні валкові зі сталеними подушками.

Обґрунтування методу просторового розрахунку. Вибір моделі для розрахунку прогонової будови визначається декількома факторами, серед яких – якомога більш точний збіг теоретичних результатів розрахунку з даними випробування мостів і мінімізація витрат часу на проектування. Для того, щоб зробити висновок про можливість впровадження моделі, що пропонується для розрахунку реальних прогонових будов з діафрагмами, необхідне підтвердження його здатності отримувати результати розрахунків з відхиленням від реальних в допустимих межах [8, 9].

З метою тестування методу виконувалось порівняння результатів розрахунків прогонової будови шляхопроводу у м. Суми, отриманих за різними методиками, та результатів випробування, яке було виконано кафедрою мостів, конструкцій та будівельної механіки ім. В.О. Російського ХНАДУ.

Для випробування було обрано другий прогін шляхопроводу довжиною 22,16 м. В якості випробувального навантаження використовувались чотири автомобілі КрАЗ та два автомобілі КАМАЗ. Середина прольоту №2 та опора завантажувались шістьма автомобілями, поставленими задніми бортами один до одного. При випробуванні прогонової будівлі, використані три схеми завантаження: схема №1 – установка двох автомобілів біля бордюрної огорожі (автомобілі №1 и №2); схема №2 – установка додатково двох автомобілів приблизно по осі мосту (автомобілі №3 и №4); схема №3 – установка додатково ще двох автомобілів біля іншого огороження проїзної частини (автомобілі №5 и №6). Маса автомобілів було визначено шляхом їх зважування.

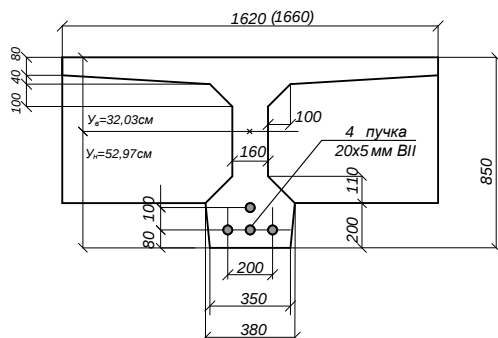


Рисунок 1 – Поперечний переріз балок прогонової будови довжиною 11,36 м

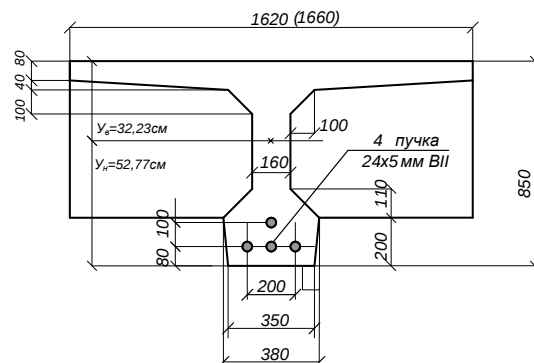


Рисунок 2 – Поперечний переріз балок прогонової будови довжиною 14,06 м

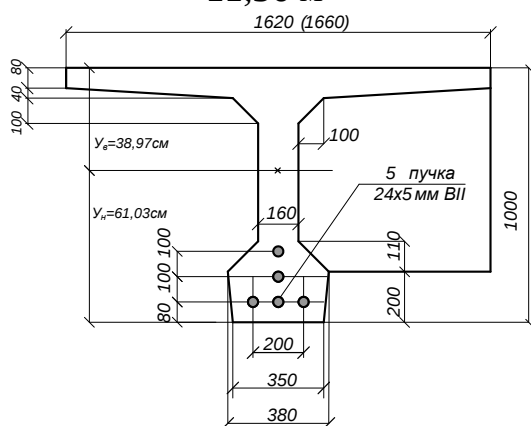


Рисунок 3 – Поперечний переріз крайній балок прогонової будови довжиною 16,76 м

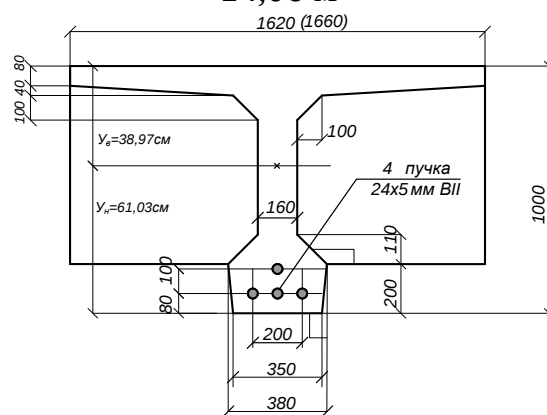


Рисунок 4 – Поперечний переріз середніх балок прогонової будови довжиною 16,76 м

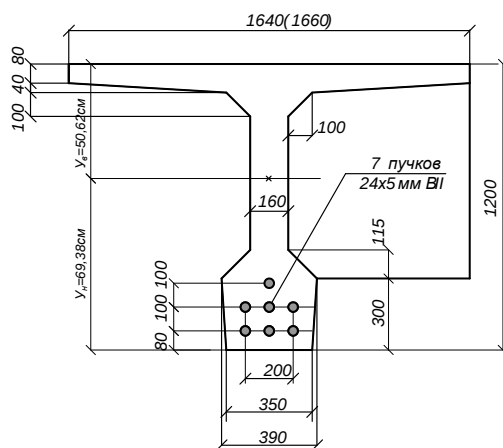


Рисунок 5 – Поперечний переріз крайній балок прогонової будови довжиною 22,16 м

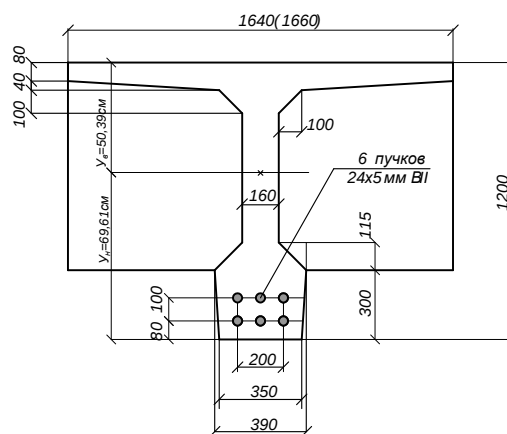


Рисунок 6 – Поперечний переріз середніх балок прогонової будови довжиною 22,16 м

За результатами випробувань було побудовано лінії прогинів, які потім об'єднанні з лініями прогинів, отриманими декількома теоретичними методами (рис. 7 - 9).

З метою вибору основного методу розрахунку виконано порівняння результатів отриманих за методами проф.. М.П. Лукіна, проф.. В.П. Кожушка та метода скінченних елементів реалізованого в програмному комплексі ПК «ЛІРА-САПР» [10].

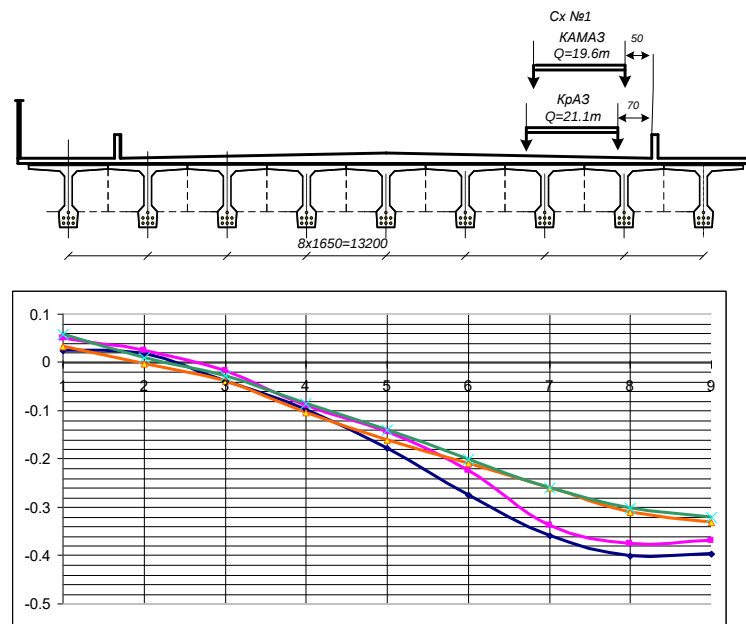


Рисунок 7 – Лінії прогинів за схемою завантаження №1

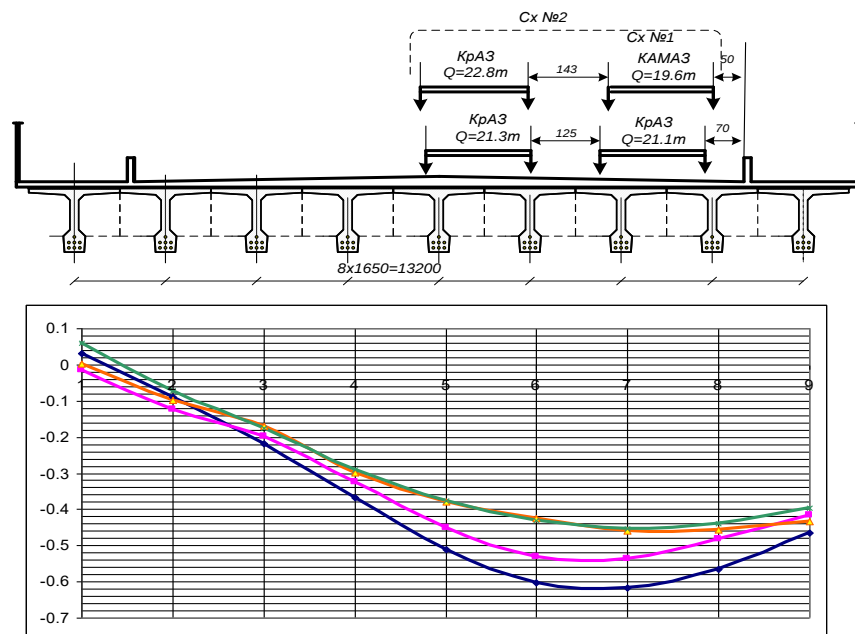


Рисунок 8 – Лінії прогинів за схемою завантаження №2

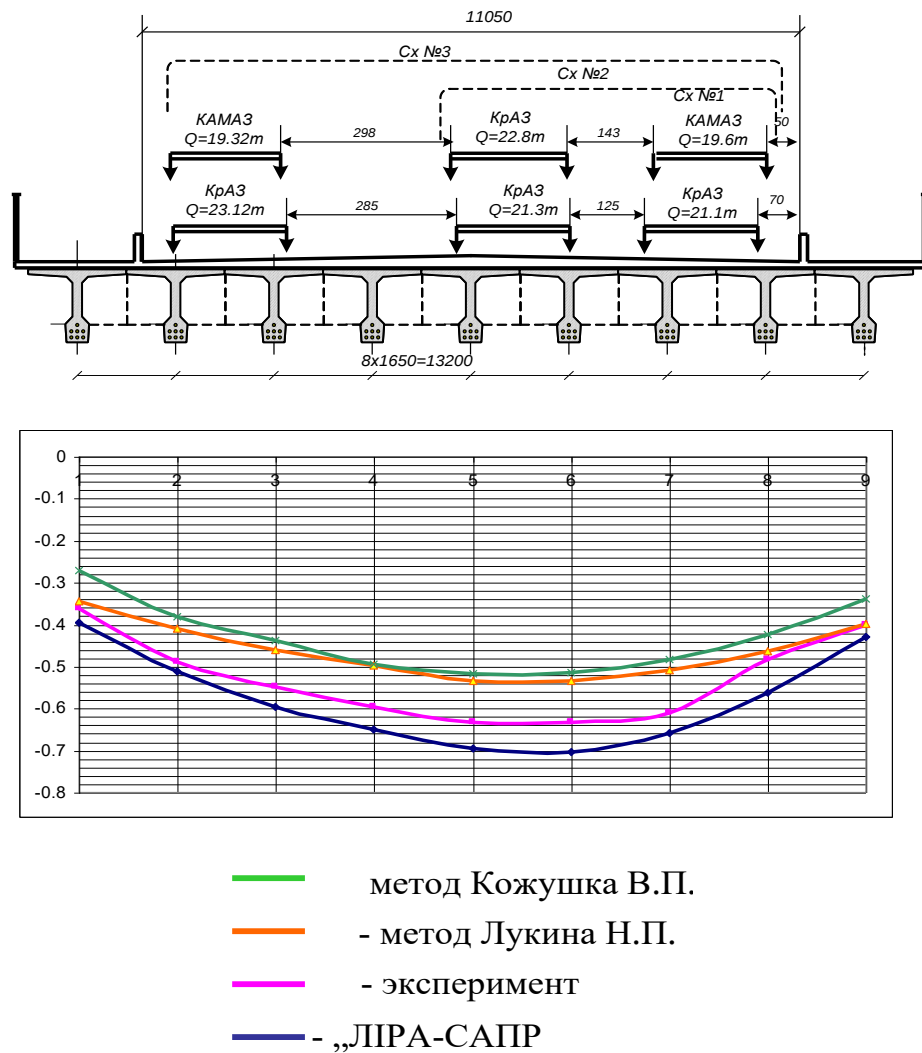


Рисунок 9 – Лінії прогинів за схемою завантаження №3

Характер експериментальних та теоретичних прогинів, визначених за декількома методиками, ідентичний, що свідчить про адекватність обраної моделі для розрахунку за допомогою ПК «ЛІРА-САПР» для визначення напружено-деформованого стану прогонової будови.

Відповідно типового проекту для габариту Г-10,5 та з усіма прольотами, які розроблені в проекті: 10,0 м, 12,5 м, 15,0 м та 20,0 м, були розроблені скінченно-елементні моделі прогонової будови, які завантажувались сучасними рухомими навантаженням, які передбачено діючими нормами [2]. У роботі розглянуто навантаження НК-100, НК-80, А 15 та А 11 (по два розрахункових випадки). В результаті вибору та компоновці варіантів схем, що будуть розраховуватися обрані наступні:

- прольотна будова з габаритом Г-10,5 прольотом 10,0 м (6 схем завантаження);
- прольотна будова з габаритом Г-10,5 прольотом 12,5 м (6 схем завантаження);
- прольотна будова з габаритом Г-10,5 прольотом 15,0 м (6 схем завантаження);
- прольотна будова з габаритом Г-10,5 прольотом 20,0 м (6 схем завантаження).

В основі обраної скінченно-елементної моделі лежить уявлення прольотної будови у вигляді елементів балкового розтерку, у якому поперечний переріз поздовжніх балок (ребер) задається у вигляді двотаврів відповідного до типового перерізу балок, а поперечних балок (діафрагм) у вигляді прямокутника з шириною та висотою відповідно перерізу діафрагми. Для цього розрахунку, в скінченно-елементну модель, переріз поздовжніх балок задано відповідно рисункам 10 - 13. Модуль деформації матеріалу балок задано з урахуванням арматури, тобто $E_{прив} = E_b \cdot n$.

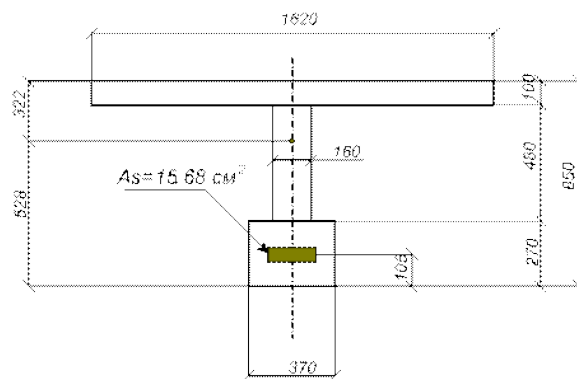


Рисунок 10 – Приведений переріз головної балки прогонової будівлі довжиною 11,36 м

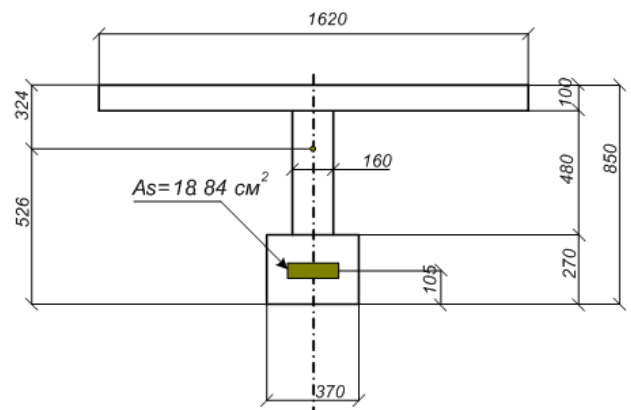


Рисунок 11 – Приведений переріз головної балки прогонової будівлі довжиною 14,06 м

Для знаходження перехідного коефіцієнту n , було розраховано моменти інерції приведенного поперечного перерізу балок, різних прольотів, з урахуванням арматури.

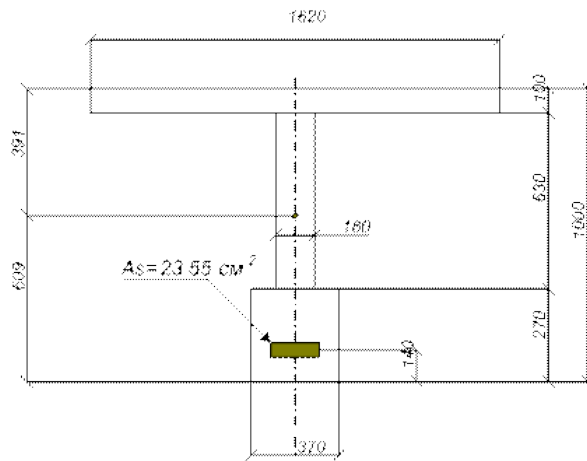


Рисунок 12 – Приведений переріз
головної балки прогонової будівлі
довжиною 17,76 м

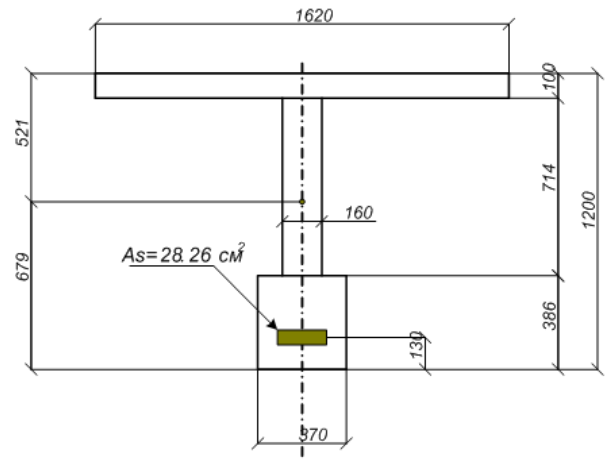


Рисунок 13 – Приведений переріз
головної балки прогонової будівлі
довжиною 22,16 м

Для балок прольотом 10,0 м $J_{прив} = 2124420 \text{ м}^4$, $J_{прив арм} = 31058968 \text{ см}^4$

$$n = \frac{31058968}{2124420} = 1,46 \quad E_{прив} = 3600000 \cdot 1,46 = 5263180 \text{ м} / \text{м}^2$$

Для балок прольотом 12,5 м $J_{прив} = 2124420 \text{ м}^4$, $J_{прив арм} = 31340789 \text{ см}^4$

$$n = \frac{31340789}{2124420} = 1,475 \quad E_{прив} = 3600000 \cdot 1,475 = 5310950 \text{ м} / \text{м}^2$$

Для балок прольотом 15,0 м $J_{прив} = 3361680 \text{ м}^4$,

$$J_{прив арм} = 48006606 \text{ см}^4$$

$$n = \frac{48006606}{3361680} = 1,428 \quad E_{прив} = 3600000 \cdot 1,428 = 5140990 \text{ м} / \text{м}^2$$

Для балок прольотом 20,0 м $J_{прив} = 5591333 \text{ м}^4$, $J_{прив арм} = 81163939 \text{ см}^4$

$$n = \frac{81163939}{5591333} = 1,45 \quad E_{прив} = 3600000 \cdot 1,45 = 5225770 \text{ м} / \text{м}^2$$

В результаті розрахунків всіх схем завантаження, отримано згинальні моменти в усіх елементах прольотної будови та переміщення вузлів кінцево-елементної моделі по осі Z (прогини). Для прикладу розрахункові схеми та епюри згинальних моментів для прольотної будови 22,16 м з навантаженням А-15 та НК-100 наведені на рисунках 14 - 15. Загальні результати для усіх

навантажень та їх несуча здатність зведені в таблиці 1, а результати прогинів наведені в таблиці 2.

Стиснута зона x в балках, що розглядаються, знаходиться у полиці, тому несуча здатність балок визначалась, як для прямокутного перерізу за формулою:

$$M_{пред} = R_b \cdot b'_f \cdot x(h_0 - 0,5x)$$

Прольот 10,0 м $h_0 = 74,5\text{см}$ $x = 4,2\text{см}$ $M_{пред} = 83,29\text{тм}$.

Прольот 12,5 м $h_0 = 74,5\text{см}$ $x = 5,2\text{см}$ $M_{пред} = 102,46\text{тм}$.

Прольот 15,0 м $h_0 = 86\text{см}$ $x = 6,0\text{см}$ $M_{пред} = 117,5\text{тм}$.

Прольот 20,0 м $h_0 = 107\text{см}$ $x = 7,7\text{см}$ $M_{пред} = 217,55\text{тм}$.

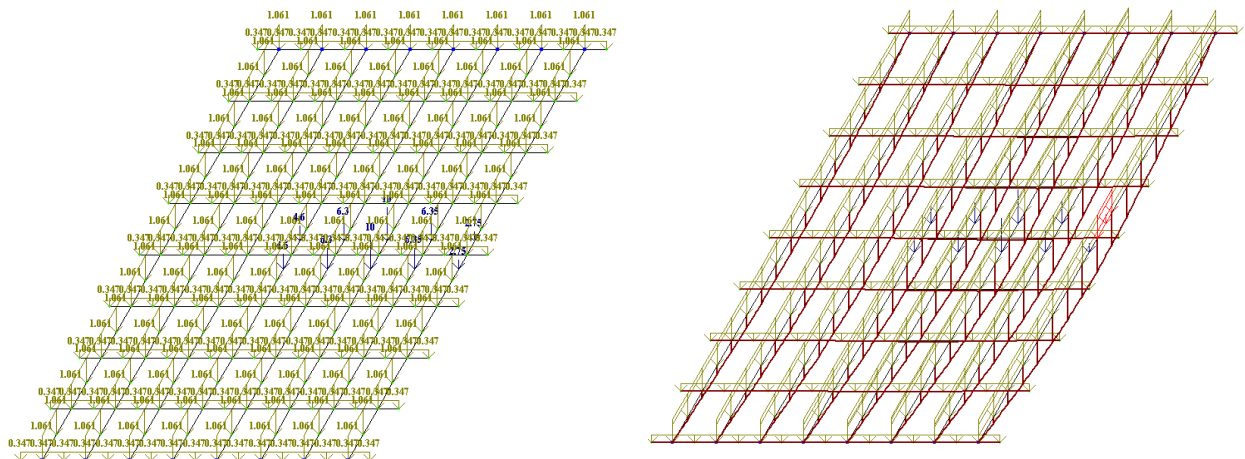


Рисунок 14 – Розрахункова схема прогонової будівлі з прольотом 20,0 м (навантаження А 15) та епюри моментів

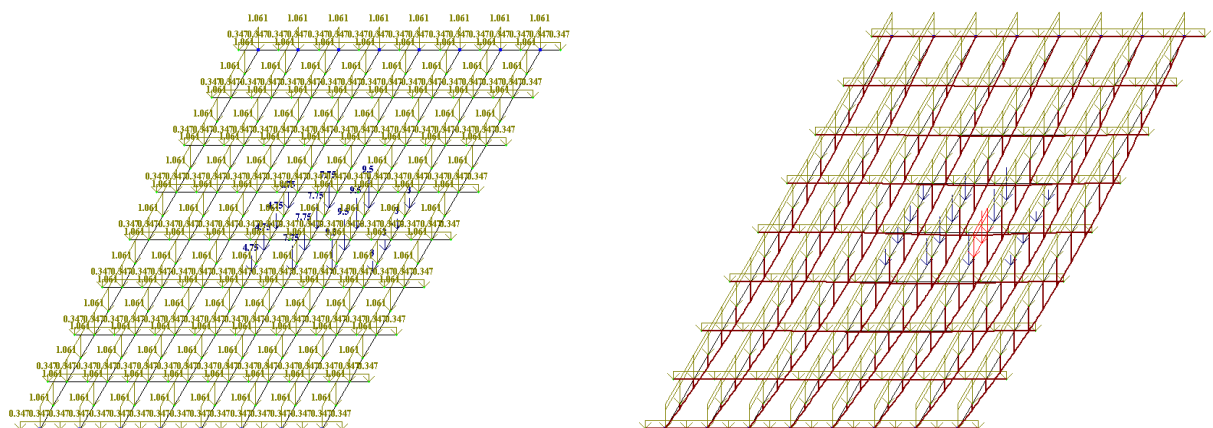


Рисунок 15 – Розрахункова схема прогонової будівлі з прольотом 20,0 м (навантаження НК-100) та епюри моментів

Таблиця 1 - Максимальні згинальні моменти, які виникають в балках від сучасних навантажень

Прольоти у просвіті	Максимальний згинальний момент від навантажень, М, т·м				Несуча здатність, М _{гран.} , т·м
	А 11	А 15	НК- 80	НК- 100	
10,0 м	82,2	102,35	67,75	78,1	100,98
12,5 м	110,6	135,4	91,3	103,6	124,17
15,0 м	144,9	174,25	119,85	133,8	165,39
20,0 м	240,64	283,7	194,1	212,05	282,12

Таблиця 2 - Максимальні прогини, що виникли в балках від сучасних навантажень

Прольоти у просвіті	Максимальний прогин від навантажень, мм				Максимальний прогин, мм
	А 11	А 15	НК- 80	НК-100	
10,0 м	8,26	10,2	7,16	8,23	27,75
12,5 м	16,95	20,5	14,25	16,1	34
15,0 м	21,3	25,4	17,64	19,52	40,75
20,0 м	38,63	45,35	29,9	32,3	53,75

Висновки. Аналіз результатів розрахунків прогонових будов свідчить про те, що їх несуча здатність головних балок прогонових будов, без урахування дефектів, які зменшують їх вантажопідйомність достатня для пропуску розрахункових навантажень Н-30, НК-80 та тимчасових навантажень за схемами А11 та НК-100. Для пропуску сучасного навантаження за схемою А15 – несуча здатність даних прогонових будов недостатня.

ЛІТЕРАТУРА

1. Експлуатація і реконструкція мостів / Страхова Н.Є., Голубєв В.О., Ковальов П.М., Тодіріка В.В. – 2-е вид., випр.. – К., 2002.-408с.
2. Сайт Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України. <http://ukravtodor.gov.ua/>.
3. Аналіз типових проектів найбільш поширених залізобетонних прогонових будов мостів на автодорогах України / Л.П. Боднар, С.С Завгородній, В.Л.

- Яструбінецький. Збірник наукових праць «ДОРОГИ І МОСТИ», випуск 22, 2020 р. С 176-186. www.dorogimosti.org.ua.
4. ДБН В.2.3-22:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с.
 5. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. – К.: Мін. Архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 368 с.
 6. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. - Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 83 с.
 7. Типовой проект сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 122-62, часть 1. Пролетные строения железобетонные сборные с натяжением прямолинейной арматуры до бетонирования. – М.: Мин. Транспортного строительства СССР, «Главтранспроект», «Союздорпроект», 1969. – 155 с.
 8. Проектування мостів. Залізобетонні мости: навчальний посібник / С.О. Бугаєвський, К.В. Бережна, С.М. Краснов, Ю.В. Бугаєвська. – Кременчук: Видавництво «НОВАБУК», 2023. – 324 с.
 9. ДБН В.2.3 – 6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування. – Київ: Мінрегіонбуд України 2009. – 63 с.
 10. Бережна К.В. Аналіз впливу підсилення діафрагмових прогонових будов на їх просторову роботу / К.В. Бережна, С.М. Краснов // Вісник ХНАДУ.- Харків: ХНАДУ, 2021. - Вип.93.- С.93-97.

АНАЛІЗ РІЗНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПРОГОНОВИХ БУДОВ

Загорулько І.В. ДМ-51-24

Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. МКБМ Бережна К.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Аналіз методів розрахунку прогонових будов виконано на прикладі розрахунку прольотної будови, що компонується з шістьох балок, виготовлених за типовим проектом № 3.503. 1-81 (випуски 5-7), і об'єднаних залізобетонною плитою товщиною 20 см. Габарит моста Г 10+2×1,0 м, довжина балок 24 м, розрахунковий прольот 23,4 м, висота балок 1,25 м. Відстань між осями балок складає 210 см. Тротуари влаштовують на консолях плити проїзної частини бар'єрною огорожею висотою 75 см, а зовні перильною огорожею висотою 110 см, яка кріпиться до металевих закладних деталей.

Для збірних попередньо напружених прольотних будов використовують бетон класу не менш В30 і високоміцну арматуру класу В-II або Вр-II у пучках та канатах. Приймаємо для балок бетон класу В35, ненапружена арматура сталь класів А-II, напружена – пучки з дротів діаметром 5 мм, клас В-II.

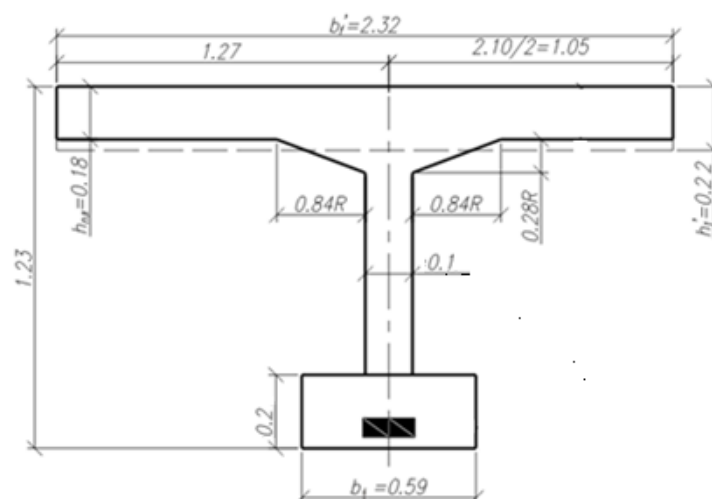


Рисунок 1 – Приведений поперечний переріз крайньої балки

Постійне навантаження рівномірно розподіляється по всій площі мосту. Нормативна/ розрахункова вага асфальтобетону:

$$g_H^H = 1582 \cdot 2,4 = 3796,8 \text{ Н/м}, \quad g_H = g_H^H \cdot \gamma_\alpha = 2373 \cdot 2,4 = 5695,2 \text{ Н/м}.$$

Нормативна/ розрахункова вага гідроізоляції: $g_H^H = 147 \cdot 2,4 = 352,8 \text{ Н/м}$,

$$g_H = g_H^H \cdot \gamma_\alpha = 191 \cdot 2,4 = 458,4.$$

Нормативна/ розрахункова вага вирівнюючого шару: $g_h^H = 940 \cdot 2,4 = 2256 \text{ Н/м}$,

$$g_n = g_n^H \cdot \gamma_\alpha = 1222 \cdot 2,4 = 2932,8 \text{ Н/м}.$$

Нормативна/ розрахункова вага захисного шару бетону: $g_h^H = 1175 \cdot 2,4 = 2820 \text{ Н/м}$,

$$g_n = g_n^H \cdot \gamma_\alpha = 1528 \cdot 2,4 = 3667,2 \text{ Н/м}.$$

Нормативна/ розрахункова вага з/б плити проїзної частини: $g_h^H = 4410 \cdot 2,4 = 10584 \text{ Н/м}$,

$$g_n = g_n^H \cdot \gamma_\alpha = 4851 \cdot 2,4 = 11642,4 \text{ Н/м}.$$

Нормативна/ розрахункова вага огорожі безпеки: $g_n^H = 1,33 \text{ кН/м}$; $g_n = g_n^H \cdot \gamma_\alpha = 1,33 \cdot 1,1 = 1,46 \text{ кН/м}$.

Нормативна/ розрахункова вага перильного огородження і карниза:

$$g_h^H = 1,65 \text{ кН/м}; \quad g_n = g_n^H \cdot \gamma_\alpha = 1,65 \cdot 1,1 = 1,82 \text{ кН/м}.$$

Нормативна/ розрахункова вага балки: $g_b^H = 0,67 \cdot 24,5 = 16,57 \text{ кН/м}$;

$$g_b = g_b^H \cdot \gamma_\alpha = 16,57 \cdot 1,1 = 18,22 \text{ кН/м}.$$

Постійне навантаження на 1 погонний метр балки:

– нормативне:

$$\sum g_i = 3,79 + 3,53 + 2,26 + 1,33 + 1,65 + 16,57 = 29,13 \text{ кН/м}$$

– розрахункове:

$$\sum g_i \cdot \gamma_\alpha = 5,69 + 0,46 + 2,93 + 1,46 + 1,82 + 18,22 = 30,58 \text{ кН/м}$$

Рухомі навантаження приймаємо відповідно діючого нормативного документу при проектуванні автодорожніх мостів [1].

Скінчено-елементну модель створено в ПК «Ліра» [2]. Обрана прольотна будова складається у поперечному перерізі з шістьох балок.

Геометричні розміри балки наведено на рис. 1. Загальна висота двотавра 125 см, ширина верхньої полиці 210 см (тобто крок балок 2,1 м), товщина плити 20 см, товщина ребра 16 см, висота нижньої полиці ≈ 27 см, ширина 60 см. Спирання прольотної будови з одного боку шарнірно-нерухоме, а з другого боку шарнірно-рухоме. Для розрахунків будемо використовувати другу скінченно-елементну модель. Ця модель створена з «СЕ-41 – універсальний прямокутний елемент оболонки нульової гаусової кривизни», які моделюють плиту проїзної частини та «СЕ-10 – універсальний просторовий стержньовий елемент», які моделюють головні балки. Загальний вигляд скінченно-елементної прольотної будови наведено на рисунку 2, а 3-D модель наведена на рисунку 3. Зручність цієї моделі полягає в зручності завдання навантаження на елементи пластин. Розрахунок моделі виконано за трьома схемами навантаження: А-15 + натовп на тротуарах; А-15; НК-100. Також враховане навантаження від перильної та бар'єрної огорожі, навантаження на плиту проїзної частини від покриття, власна вага балок. Загальний вигляд моделей з навантаженням наведено на рисунках 4÷6.

Результати розрахунку наведені у вигляді епюр моментів в головних балках прольотної будови (рис. 7).

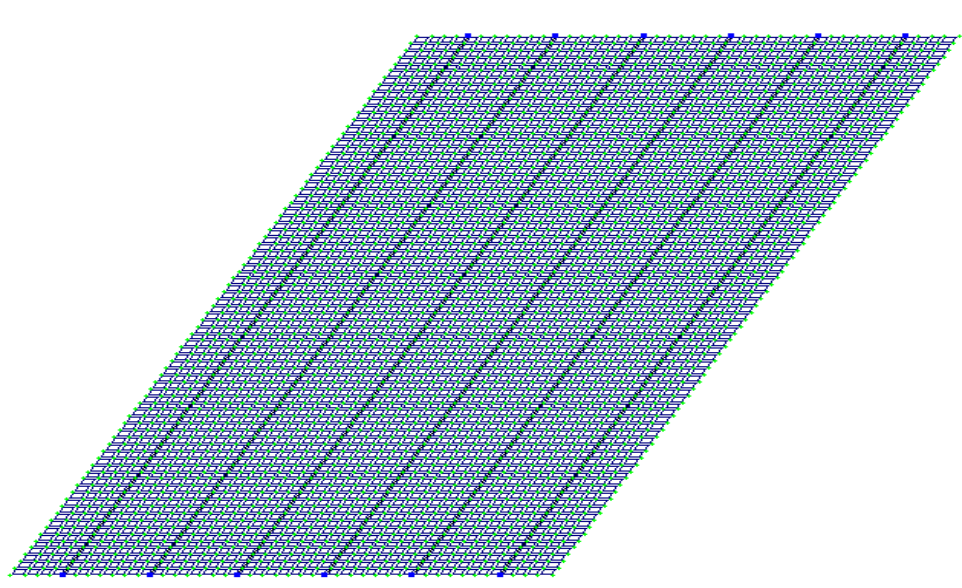


Рисунок 2 – Загальний вид скінченно-елементної моделі прольотної будови

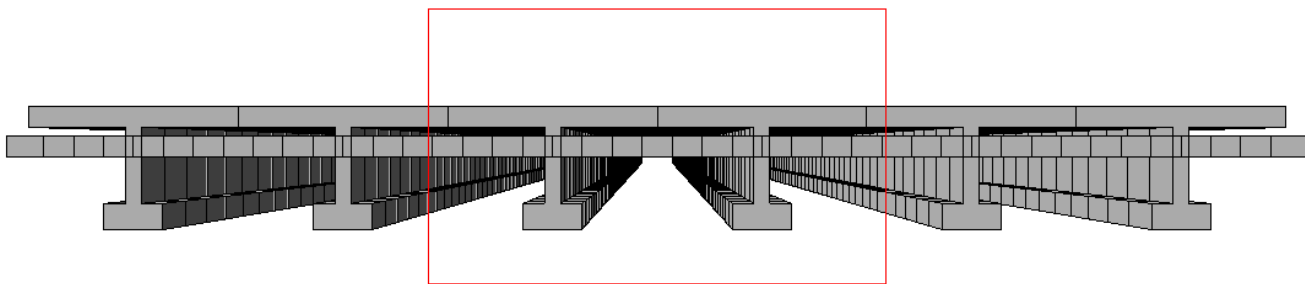


Рисунок 3 – Загальний 3-D вид скінченно-елементної моделі прольотної будови

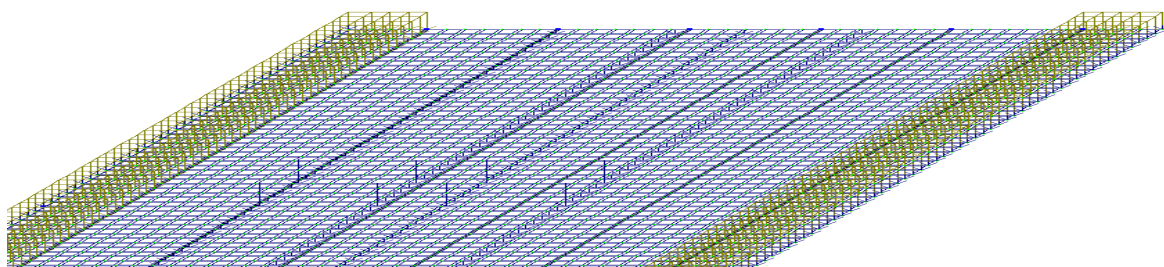


Рисунок 4 – Навантаження А-15 + натовп на тротуарах на скінченно-елементну модель прольотної будови (1 схема)

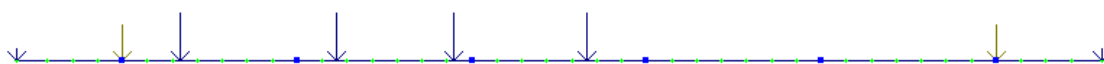
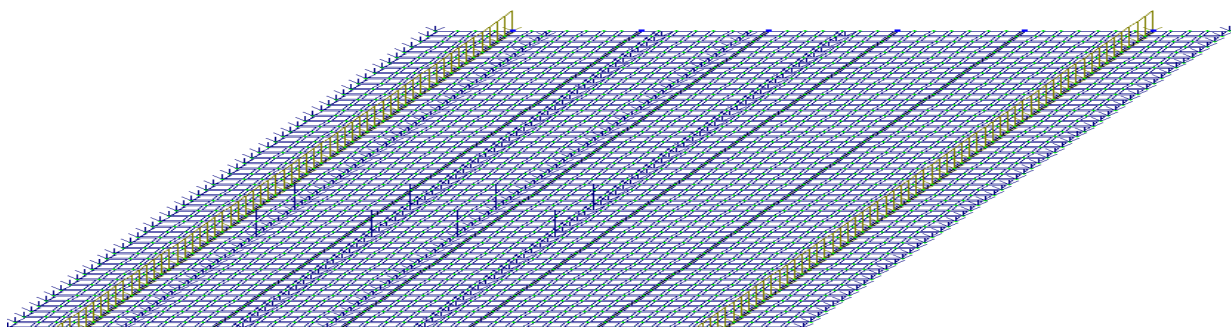


Рисунок 5 – Навантаження А-15 на скінченно-елементну модель прольотної будови (2 схема)

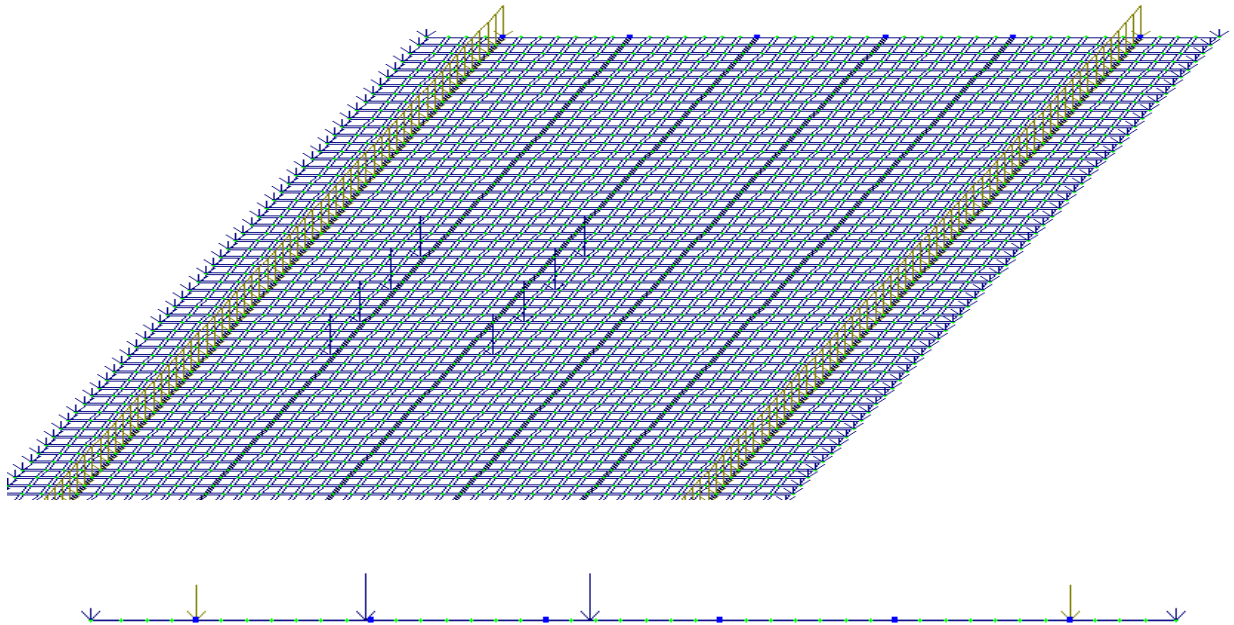


Рисунок 6 – Навантаження НК-100 на скінченно-елементну модель
прольотної будови (3 схема)

Результати розрахунку прогонової будови за методом позацентрового тиску та за допомогою програми М-5а (енергетичний метод Лукіна Н.П.) візьмемо з роботи [3]. Проведемо порівняння отриманих результатів згинальних моментів для всіх схем навантаження у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння результатів згинальних моментів

Результати розрахунку	Схеми навантаження		
	А-15 + натовп	А-15	НК-100
Методом позацентрового стиску	3491	3593	3506
Енергетичний метод Лукіна М.П.	3468,41	3511,14	3497,78
ОК «Ліра»	3386,9	3463,2	3483,9

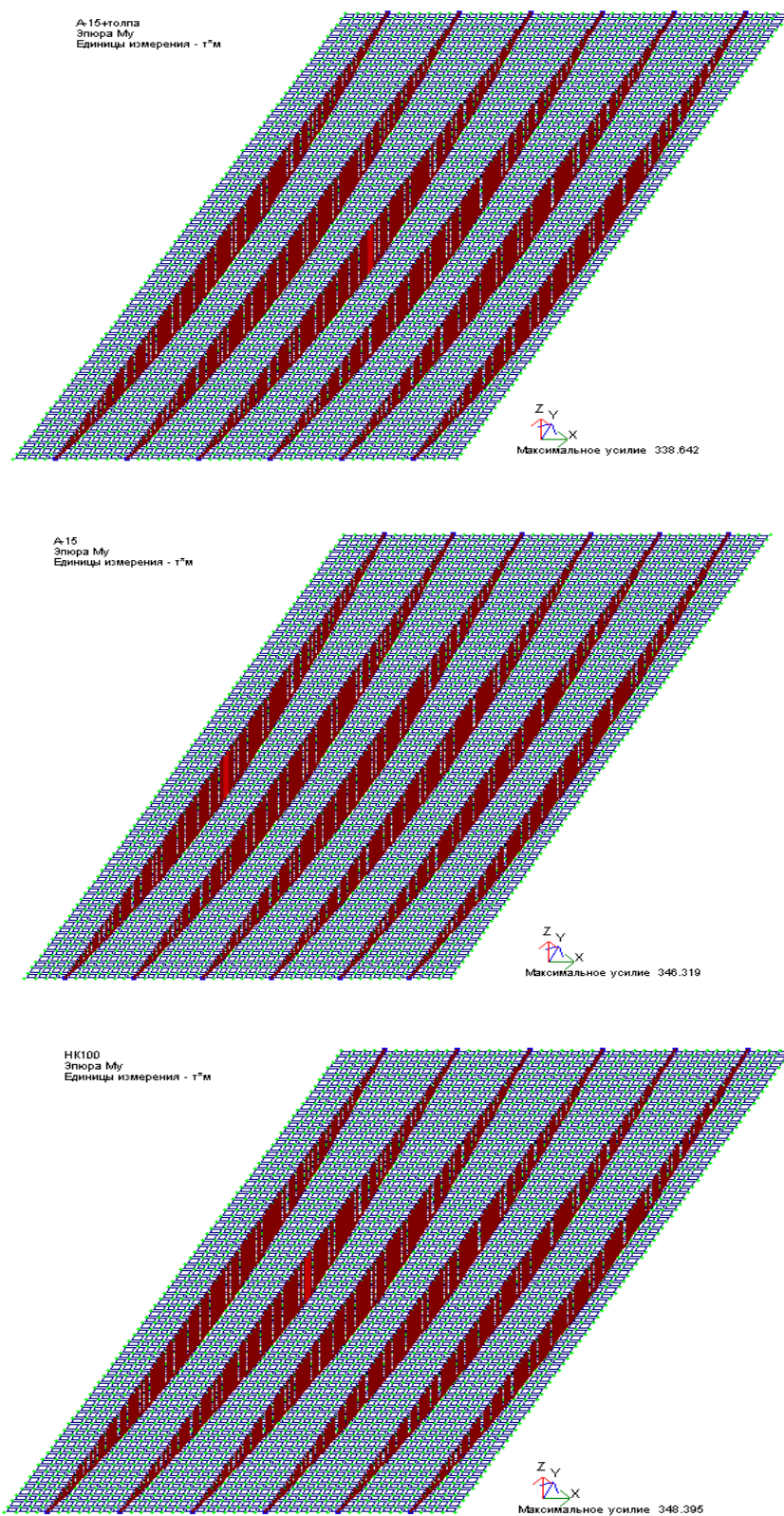


Рисунок 7 – Епюри згинальних моментів в головних балках прольотної будови від трьох схем навантаження

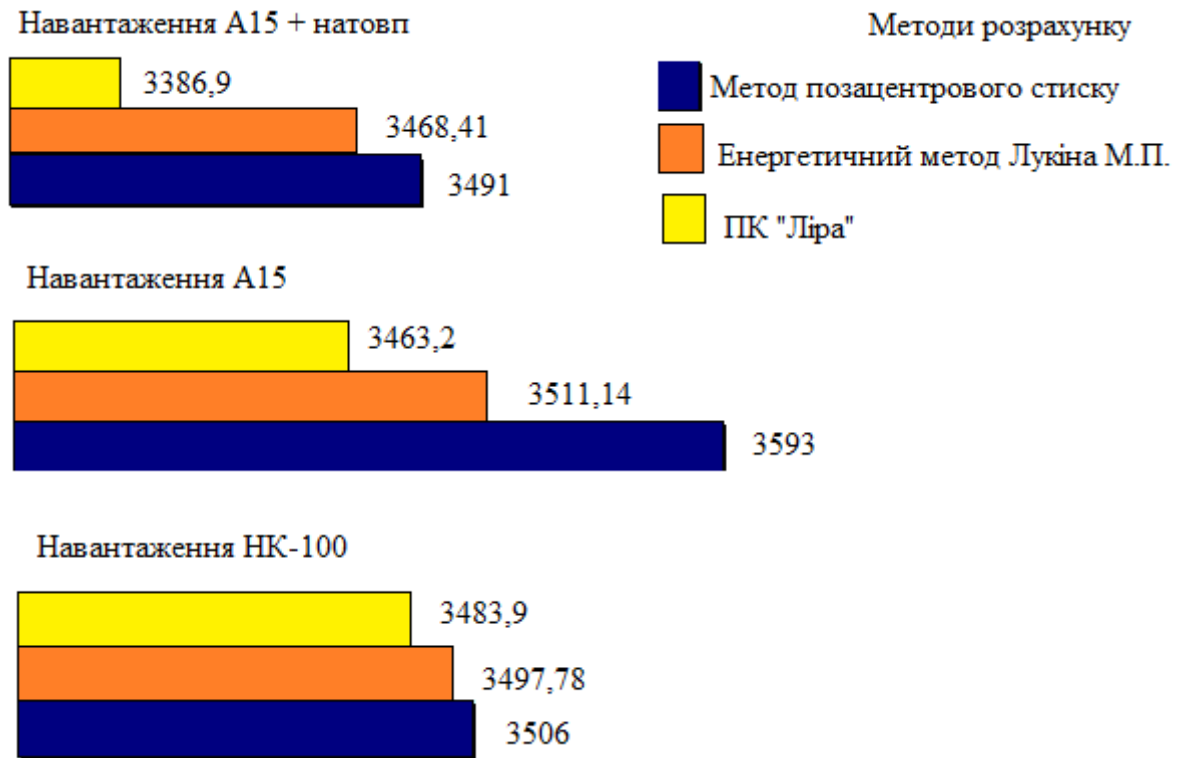


Рисунок 9 – Порівняння згинальних моментів, що отримані за різними методиками розрахунку, в головних балках прогонових будов

Аналіз результатів розрахунку прольотної будови різними методами дає можливість зробити висновки, що розбіжність складає не більш 4%. Результати, які отримано розрахунком за допомогою ПК «Ліра» є найменшими, що пояснюється урахуванням просторової роботи конструкції. Більша розбіжність між результатами простежується при завантаженні A15, що можливо пов'язано з неточністю розміщення навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.2-15: 2009 «Мости та труби. Навантаження і впливи» - Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 83с.
2. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
3. Аналіз скінчено-елементних моделей балкових прольотних будов. Атестаційна випускна робота / Ю.Г. Кім - Харків: ХНАДУ, 2013. – 55 с.

ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА ЕСТАКАД

Плем'яник Є.В. ДМ-51-24

*Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. МКБМ Бережна К.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Архітектурно-планувальні, розрахунково-конструктивні, економічні та виробничо-експлуатаційні вимоги до естакадів, шляхопроводів та складних транспортних перетинів такі ж, як і для міських мостів. Однак, окрім них, повинні бути задоволені додаткові вимоги, специфічні для кожного виду споруд.

Додаткові вимоги до естакадів зводяться в основному до наступного:

1. Для естакад, розташованих на перетині вулиць, довжини прольотів визначають шириною вулиць у межах лише деякої частини їхньої довжини. Рациональну довжину прольотів естакад, а також для споруд, що знаходяться в інших умовах, визначають з умов їхньої найменшої вартості з урахуванням архітектурних вимог.

2. Будівельна висота прогонових будов має визначатися архітектурно-планувальними та конструктивно-технологічними вимогами.

3. Опори естакад повинні бути легкими, мінімально обмежувати подестакадний простір, гармоніювати з навколишньою забудовою. Високим вимогам має задовольняти обробка поверхонь опор та прогонових будов, що покращує естетичний зовнішній вигляд споруди.

4. Розташування опор естакад та вибір типу фундаментів мають бути узгоджені з розміщенням існуючих міських підземних мереж та по можливості зі зменшенням робіт з їх прокладання.

5. На естакадах повинні задовольнятися підвищені вимоги безпеки руху, тому що аварії на них призводять до більш тяжких наслідків, ніж на мостах. Покриття проїжджої частини на естакадах повинно забезпечувати надійне зчеплення з колесами транспортних засобів протягом усього терміну експлуатації. По краях проїжджої частини повинні бути передбачені

огороження, що оберігають автомобілі від наїзду на тротуари та падіння з естакад.

6. Естакади повинні якнайменше сприяти забрудненню навколишнього середовища. Розташування естакад у міській забудові має бути таким, щоб не порушувалися норми рівня шуму та загазованості у найближчих до естакадів будівель та на прилеглій території. Висвітлення естакад не повинне заважати мешканцям поблизу розташованих будівель.

7. Водовідведення на естакадах в окремих випадках слід підключати до міської стічної мережі, не допускаючи природного водоскиду.

Вертикальне планування естакад виконують відповідно до чинних норм. Поздовжні ухили не повинні перевищувати 40 ‰. Вільна висота під естакадами повинна бути не менше 5 м. Для проходу пішоходів під естакадами у місцях сполучення прогонових будов з насипами підходів слід забезпечувати вільну висоту під естакадами, рівну не менше 2,5 м. Мінімальні радіуси горизонтальних кривих міських естакадів становлять близько 10 м. Відгалуження ці радіуси можуть бути зменшені до 20-30 м.

Проектування міського мосту, естакади чи шляхопроводу розпочинається з техніко-економічного обґрунтування необхідності будівництва споруди. У мостах ця необхідність визначається потребою пропуску руху через річку та економічними втратами за відсутності споруди. У міських естакадах, шляхопроводах або багатоярусних транспортних перетинах техніко-економічне обґрунтування ґрунтується на необхідності виключити втрати від простою транспорту на перехрестях, перевитрату паливно-мастильних матеріалів, додаткове зношування гуми та дорожнього одягу на ділянках гальмування, втрати часу пасажирів, витрати на влаштування та утримання автомобілів.

Будівництво перетину на різних рівнях вважається за доцільне, якщо термін його окупності не перевищує 10 років. Після виявлення необхідності будівництва споруди складають його робочий проект, що є першою стадією проектування, на якій визначають такі дані, як ширина несучої конструкції, її прольоти, вид матеріалу, і тип конструкції, методи організації будівництва,

його трудомісткість та кошторисну вартість. На цій же стадії вирішуються загальні питання щодо планування споруди.

Найважливішим компонентом робочого проекту є варіантне проектування, що забезпечує порівняння варіантів спорудження витрат матеріалів, вартості і трудомісткості їх зведення. При виборі варіантів міських транспортних споруд необхідний облік умов їх планування та зв'язку з прилеглими вулицями та забудовою. Після вибору планувального рішення визначають раціональні прольоти несучої конструкції та наближену вартість варіантів. Слід зауважити, що прийняте планувальне рішення часто істотно впливає на вибір типу несучої конструкції.

Широке поширення у сучасному будівництві знаходять естакади зі збірного залізобетону. Методи зведення збірних естакад спрямовані на скорочення трудових витрат на монтаж, круглосезонне ведення робіт з використанням блоків максимальної заводської готовності.

Конструкція збірних залізобетонних естакад та їхнє армування залежать від прийнятого способу будівництва.

Прогонові будови залізобетонних естакад можна монтувати зі збірних суцільно-прогонових балок, що встановлюються на зведені раніше капітальні або часові опори. При цьому залежно від вантажопідйомності кранового обладнання збірним блоком може бути одна балка, кілька з'єднаних у поперечному напрямку балок або навіть розрізна ціла прогонна будова. Такий спосіб монтажу застосовують найчастіше в естакадах балочно-розрізної або балочно-нерозрізної системи (рис. 1, а).

Монтаж здійснюється різними механізмами в залежності від місцевих умов. Якщо дозволяє вантажопідйомність, монтаж ведуть стріловими кранами на пневмоколісному або гусеничному ході (рис. 1, а). Установку в прольот суцільнопрогонових балок можна проводити порталними кранами, що переміщаються спеціальними шляхами вздовж естакади на поверхні землі (рис. 1, б). При великій довжині і висоті естакади або неможливості використання порталних кранів застосовують шлюзові крани, що

пересуваються по готовій частині естакади і балки, що монтують перед собою (рис. 1, в). Якщо естакади проходять над водою, балки можна доставляти до місця монтажу на плаву.

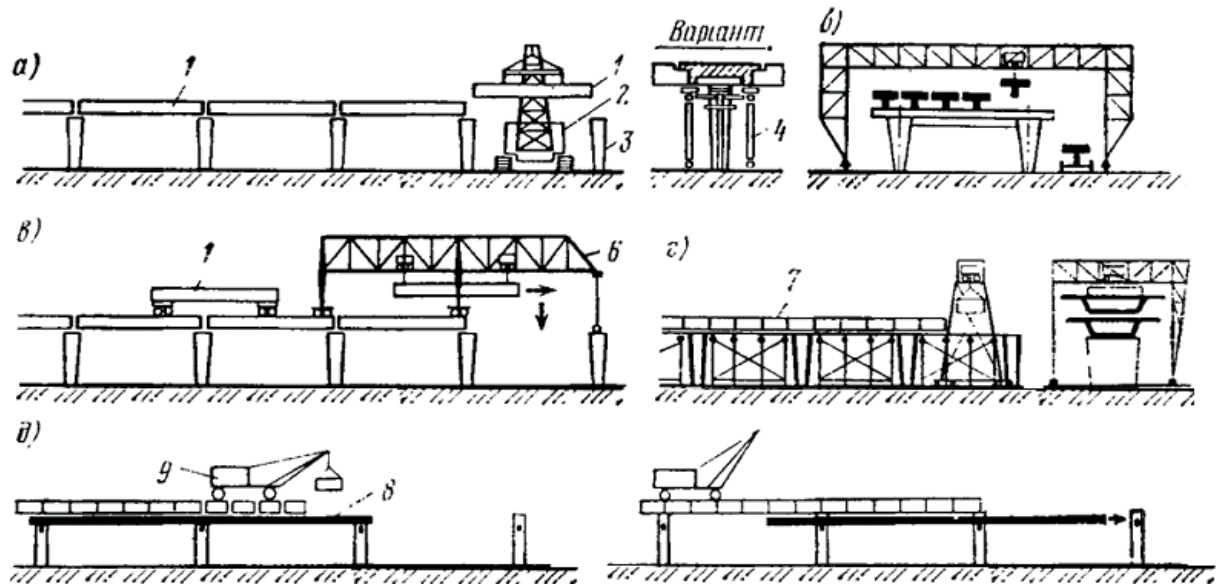


Рисунок 1 – Схеми монтажу прогонових будов з цільнопрогонових балок та блоків на підмостях: 1 – балка прогонової будови; 2 - стріловий кран; 3 - капітальна опора; 4 - тимчасова опора; 5 - порталний кран; 6 - шлюзовий кран; 7 - блок прогонової будови; 8 - рештування, що переміщаються; 9 - монтажний кран

Збірні елементи довжиною понад 30 м менш зручні під час транспортування, і тому їх поділяють по довжині на короткі блоки. На будівельному майданчику потім ведуть укрупнювальне складання, після чого зібрані балки встановлюють у проектне положення кранами. Прогонові будови естакад нерозрізної або рамної системи з прольотами понад 30-40 м монтують з коротких блоків, які безпосередньо встановлюються в прольот. Найпростіший спосіб такого монтажу блоків на суцільних рештуваннях з подальшим їх об'єднанням шляхом омоноличування стиків і натягу поздовжньої арматури (рис. 1, г). Такий спосіб, однак, вимагає зведення великої кількості рештування і зайвого використання подестакадного простору.

Перевага способу полягає в можливості одночасного включення в роботу всієї споруди за статичною схемою, що відповідає його роботі в процесі експлуатації.

Подмості, що переміщаються, застосовують при великому діапазоні прольотів 30-84 і навіть 105 м. Економічнішим слід вважати пристрій риштування тільки в одному прольоті. Після монтажу прогонової будови в цьому прольоті риштування розбирають і переміщають у наступний проліт.

Удосконаленням різновидом цього способу будівництва є метод прогонового складання. Підмостки являють собою, в цьому випадку, спеціальний агрегат, який переміщається з прольоту в проліт, спираючись на опори естакади та зібрану частину конструкції (рис. 1, д). Тут конструкція прогонової будови повинна бути такою, щоб забезпечувалося безперешкодне переміщення риштування в черговий проліт. Обидва останні способи монтажу включають спорудження в роботу поступово по одному прольоту, що впливає на остаточний розподіл зусиль у прогонових будовах.

Поздовжнє насування залізобетонних прогонових будов застосовують при прольотах 40-60 м. За цим методом прогонову будову збирають з окремих коротких блоків і висувають в проектне положення системою лебідок або домкратними штовхаючими установками без використання або з використанням тимчасових проміжних опор (рис. 1, а, б). Цей спосіб застосовується для балочно-нерозрізних прогонових будов з постійною висотою. Складання на підходах прогонових будов на всю довжину вимагає достатньо протяжного будівельного майданчика, що в умовах міста не завжди здійсненне.

Більш раціональне насування з одночасним тиловим складанням, при якому конструкція нарощується по одному блоку і виштовхується в проліт (рис. 2, б) або збирається на цілий проліт і тільки потім висувається на опори (рис. 2, в). При всіх різновидах методу насування робота прогонових будов на стадії монтажу та експлуатації значно відрізняється. Це потребує встановлення

спеціальної тимчасової або постійної арматури, іноді її перестановки під час насування, що ускладнює конструкцію та збільшує витрату матеріалів.

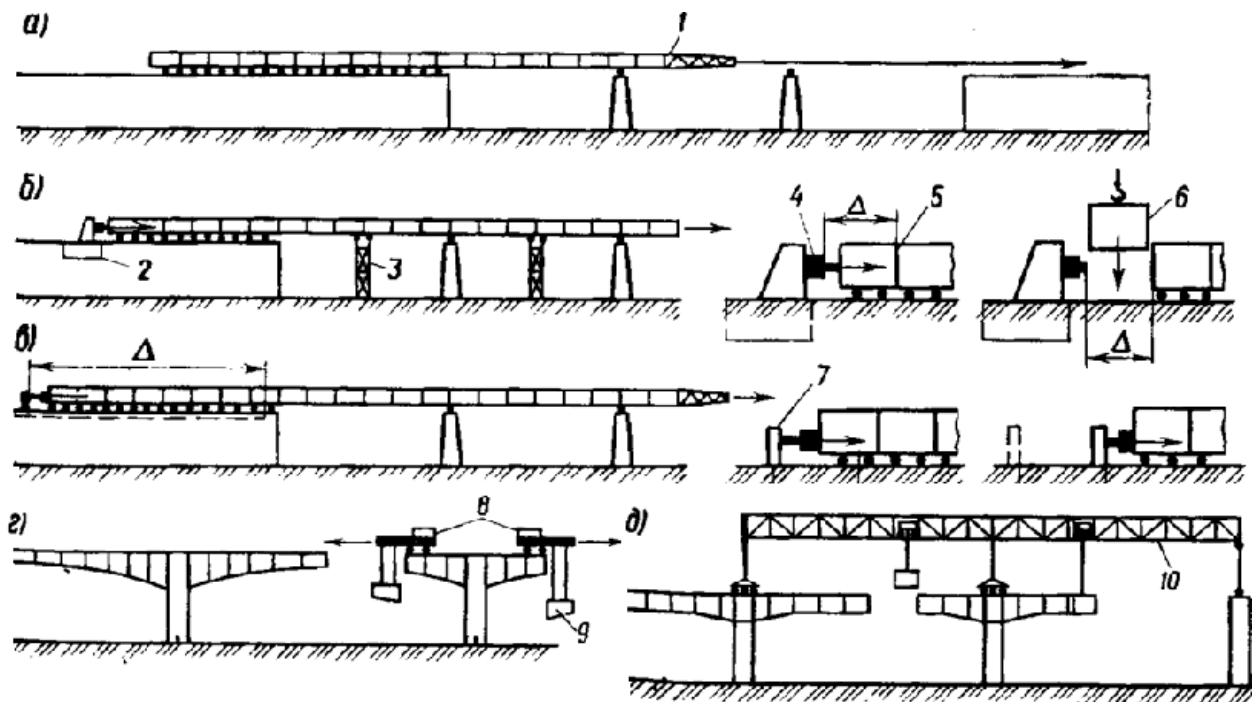


Рисунок 2 – Схеми монтажу прогонових будов поздовжнім насуванням та навісним способом: 1 – аванбек; 2 – нерухомий упор; 3 – тимчасова опора; 4 – гідравлічний домкрат; 5 – останній блок виштовхуваної прогонової будови; 6 – встановлений блок; 7 – переставний упор; 8 – крани для навісного складання; 9 – монтується блок, 10 – шлюзовий кран

Несучі конструкції естакад балково-нерозрізної та рамної систем при прольотах понад 50 – 60 м та їх змінній висоті доцільно монтувати з блоків методом навісного монтажу. Навісний монтаж ведуть від опор врівноважено в обидві сторони до середини прольотів.

Напружену арматуру в консолях встановлюють уздовж верхньої плити. Після закінчення монтажу консолей в серединах прольотів їх кінці об'єднують і встановлюють нижню арматуру, що напружується.

Статичні схеми конструкції в процесі монтажу і при роботі під експлуатаційними навантаженнями тут теж різні, хоча ця відмінність позначається менше через великі прольоти і, отже, більшу частку зусиль від постійного навантаження порівняно з тимчасовим.

Навісний монтаж можна проводити кранами, що пересуваються по готовій частині консолей і навішують блоки перед собою (рис. 2, г). Однак у варіанті довгих естакад потрібна велика кількість таких кранів або обмежена кількість, але з перестановкою їх з опори на опору, що дуже трудомістко і неекономічно. У зв'язку з цим, для навісного монтажу багатопрогонних естакад застосовують порталні або шлюзові крани (рис. 2, д). Шлюзові крани з однієї позиції встановлюють по чергові блоки праву і ліву консоль до середин прольотів за допомогою пересувного вантажного візка, а потім переміщують по готовій частині естакади в наступну монтажну позицію.

Залежно від наявного монтажного устаткування можливі різні комбінації перерахованих методів будівництва, і навіть інші методи.

При проектуванні збірних прогонних будов естакад необхідно знати передбачуваний спосіб її зведення, щоб враховувати його вплив на подальшу роботу всієї конструкції.

Конструкцію прогонних будов естакад з монолітного та збірно-монолітного залізобетону багато в чому визначають методи їхнього зведення.

Прогонові будови естакад, можливо, бетонувати в опалубці на суцільних риштуваннях (рис. 3, а). Напружену і ненапружену арматуру в цьому випадку розташовують на всю довжину прогонової будови. Після натягу напруженої арматури на затверділий бетон прогонова будова починає працювати за статичною схемою, що відповідає стадії експлуатації споруди. При значній протяжності естакади її прогонові будови бетонують багатопрогонними секціями, переставляючи риштування і опалубку в міру готовності частин споруди. По кінцях секцій прогонові будови переривають, влаштовуючи деформаційні шви, або роблять монтажний стик напруженої арматури.

Зведення методом бетонування на суцільних підмостках доцільно використовувати для криволінійних прогонних будов з шириною, що змінюється по довжині споруди. Метод зведення малоіндустріальний, викликає необхідність захищення подестакадного простору. Більш технологічний спосіб прогонового бетонування. Прогонову будову в цьому випадку

бетонують в опалубці, підвішеній до підмостей, що переміщається (рис. 3, б). Підмостки в міру готовності прогонової будови переміщуються вздовж осі естакади. У цьому вони мають довжину двох прольотів естакади, а опалубка захоплює довжину одного прольоту чи трохи більше. Підмостки, що мають ходові частини, спираються на готову частину прогону і попереду розташовану опору. Подестакадний простір при цьому способі зведення залишається вільним.

Метод прогонового бетонування найбільш раціональний при спорудженні довгих естакад. Стики ділянок бетонування доцільно розміщувати в межах зони, де моменти від власної ваги мінімальні за абсолютним значенням. У цих місцях найбільш зручно стикувати арматуру, що напружується, бетонованої ділянки з арматурою, встановленою раніше. Цей спосіб не впливає на форму поперечного перерізу прогонової будови, схему її розбивки на прольоти та систему армування. При попролетному бетонуванні застосовують коробчасті, плитно-ребристі, ребристі та плитні конструкції, пасму, дротяну, стрижневу арматуру. Бажано за умовами будівництва застосовувати постійну висоту прогонової будови. Під час проектування конструкції слід враховувати зміну статичної схеми споруди. Довжини прольотів естакади мають бути однаковими. У процесі будівництва змінюється статична схема споруди, що має враховуватися під час проектування. Естакади з монолітного залізобетону можна споруджувати шляхом поздовжнього насування. При цьому прогонову будову бетонують секціями на підходах, а потім насувають на опори (рис. 3, в). Статична схема прогонової будови в ході насування відрізняється від остаточної, що часто викликає необхідність встановлення тимчасової напруженої арматури. Насування прогонових будов можливе лише за їх постійної висоті.

Естакади рамних систем з прольотами понад 40 м та високими опорами зводять методом навісного бетонування.

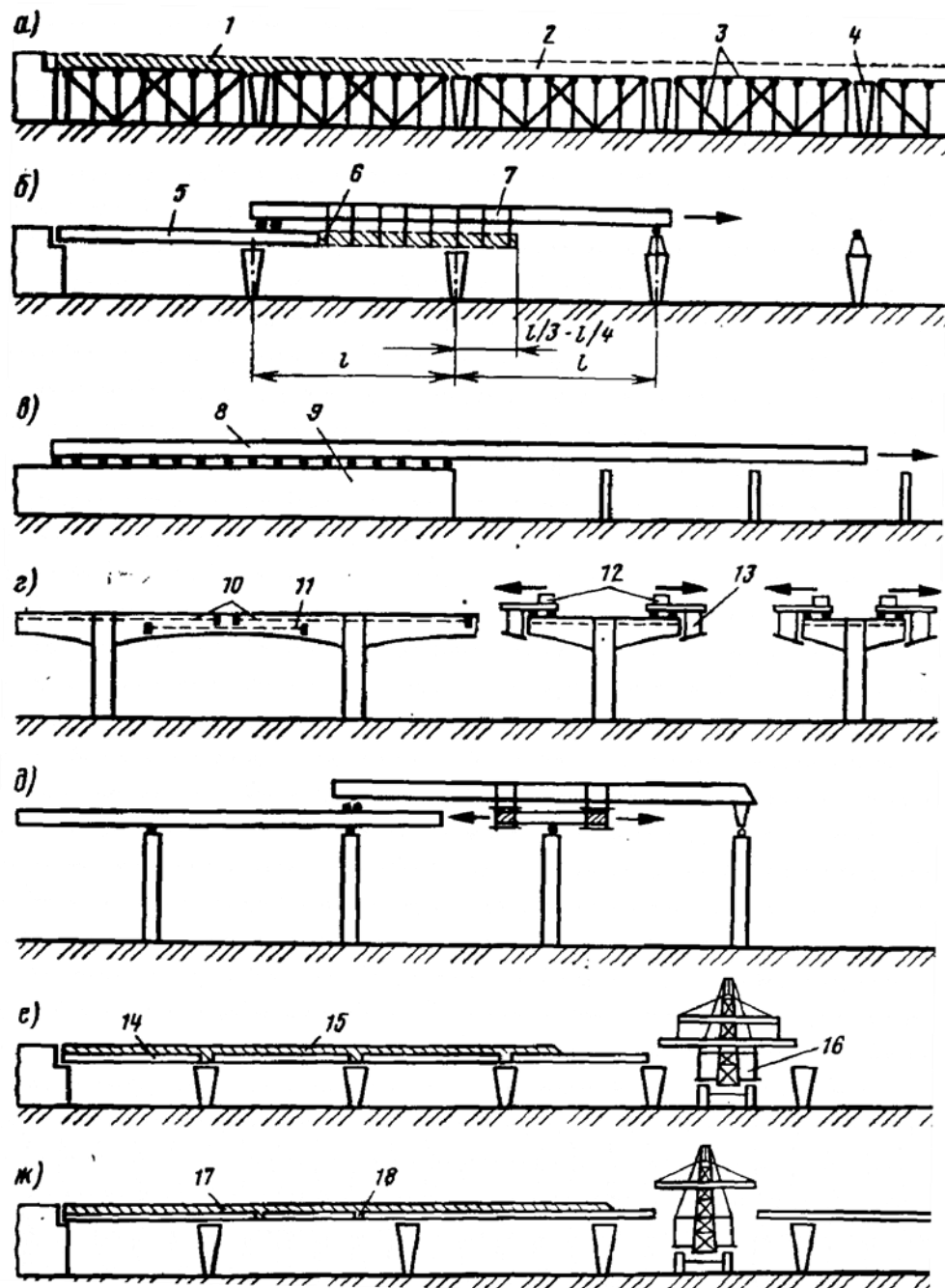


Рисунок 3 – Схеми зведення прогонових будов естакад з монолітного та збірно-монолітного залізобетону: 1 – бетонована монолітна конструкція; 2 – опалубка;

3 підмостки; 4 – опори естакади; 5 – готова частина конструкції; 6 – стик бетонованих ділянок; 7 – пересувний агрегат для бетонного бетонування; 8 – просувна будова, що насувається; 9 – насип підходу; 10 – верхня арматура, що встановлюється при навісному бетонуванні; 11 – нижня арматура, яка встановлюється після з'єднання консолей у середині прольоту; 12 – пересувні візки; 13 – опалубка та підмості для навісного бетонування; 14 – збірні елементи прогонової будови; 15 – бетон омоноличування; 16 – монтажний кран; 17 – балка підвісної прогонової будови; 18 – стик підвісної прогонової будови з консолями

При рівних прольотах естакади бетонування у підвісній опалубці ведуть урівноваженим способом від опор до середин прольотів (рис. 3, г). Можливе навісне врівноважене бетонування, яке здійснюється при спорудженні нерозрізних прогонових будов. У цьому випадку опалубку на довжину секції бетонування підвішують до підмості праворуч і зліва від проміжної опори (рис. 3, д). При навісному бетонуванні прогонові будови можуть мати змінну висоту. Після твердіння бетону забетонованих секцій їх обтискують елементами арматури, що напружується.

Збірно-монолітні прогонові будови споруджують методами, що залежать від типу збірних елементів естакади. Найбільш поширені збірні балкові елементи, що перекривають весь проліт і об'єднують у поперечному напрямку монолітним бетоном (рис. 3, е). Таким методом зводять балкові розрізні, нерозрізні, температурно-нерозрізні та рамні естакади. Так як пристрій стику збірних елементів над опорою в найбільш напруженій частині нерозрізних або рамних прогонових будов важко, то його виносять у проліт у зону мінімальних за абсолютним значенням згинальних моментів. За такої конструкції одну частину збірних елементів роблять із консолями, а іншу — підвісними (рис. 3, ж). Установку проліт збірних елементів здійснюють кранами на гусеничному або пневматичному ході.

Статична схема збірно-монолітних естакад завжди змінюється під час будівництва. Збірні елементи працюють як розрізні або консольні балки, а після твердіння бетону омонолічування система, що утворилася, починає працювати як нерозрізна або рамна. Збірно-монолітні конструкції прогонових будов дозволяють часто відмовлятися від риштування, що прискорює темпи будівництва. Однак при складній криволінійній або розгалуженій формі естакад застосовувати збірно-монолітні конструкції складніше.

ЛІТЕРАТУРА

5. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування: ДБН В.2.3 – 22:2009. – [Чинний від 2009-11-11]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с. – (Державні будівельні норми України).
6. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2 – 15:2009. – [Чинний від 2009-11-11]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 66 с. – (Державні будівельні норми України).
7. Настанова з виконання робіт при будівництві мостів та труб: ДСТУ-Н Б В.2.3-34:2016. – [Чинний від 2017-01-01] К. Мінрегіон України, 2016. – 64 с. - (Державний Стандарт України).
8. Розрахунок деяких елементів залізобетонних автодорожніх мостів: навчальний посібник; під ред. В.П. Кожушко / В.П. Кожушко, С.М. Краснов, С.О. Бугаєвський та ін. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 520 с.
9. Інженерні споруди : навч. посіб. / О.В. Інкін ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 219 с.
10. Barker R. M., Puckett J. A. Design of highway bridges. – American: John Wiley & Son, 1997. – 1169 p.

ВІДНОВЛЕННЯ МОСТІВ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ПІСЛЯ РУЙНУВАННЯ

Ищенко М.М. ДМ-36т1-22

*Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. МКБМ Бережна К.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Військові дії, які почались у лютому 2022 року, призвели до значних руйнувань транспортної інфраструктури, в тому числі мостів на автомобільних дорогах Київської області. З того часу, як було звільнено територію Київської області, за допомогою інвесторів різних країн, почалась відбудова зруйнованих споруд. На сьогодні відбудовано вже багато мостів але ще залишилося багато роботи. Наприклад у жовтні 2024 році Київська обласна державна адміністрація та французька компанія MATIERE підписали меморандум про взаєморозуміння. Взаємодія буде спрямована на відбудову Київщини, зокрема, в рамках співпраці партнери ведуть перемовини щодо реалізації проєктів з відновлення мостових споруд на території області. В межах спільної роботи планується відремонтувати 5 мостів. Мости розташовані у Вишгородському, Білоцерківському, Фастівському, Броварському та Бучанському районах.

Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України упродовж 2024 року відновило на Київщині 8 мостових переходів через річки Трубіж, Жерева, Здвиж, Ірпінь, Тетерів та 1 мостовий перехід через суходіл.

Обстеження зруйнованих споруд є першим кроком у їх відновленні. Як приклад такого етапу, розглянемо обстеження мосту через р. Здвиж.

Технічне обстеження мосту через р. Здвиж на автомобільній дорозі О101301 Гостомель-Берестянка-Мирча-/М-07/ км 16+017 Київської області, було виконане у зв'язку з пошкодженням його конструкцій в результаті військових дій, що відбувалися в березні 2022 р у зв'язку з агресією РФ.

Метою даного обстеження було встановлення виду та характеру руйнування конструкцій мосту та складання рекомендацій щодо його відновлення.

У звіті, відповідно існуючих норм, прийнято наступну нумерацію:

- опор від №1 до №8 починаючи від с. Здвижівка;
- прогонових будов за номерами опор.

Міст через р. Здвиж біля с. Берестянка розташований на км 16+017 дороги IV категорії О101301 Гостомель-Берестянка-Мирча-/М-07/ у Бучанському районі Київської області – рис. 1.

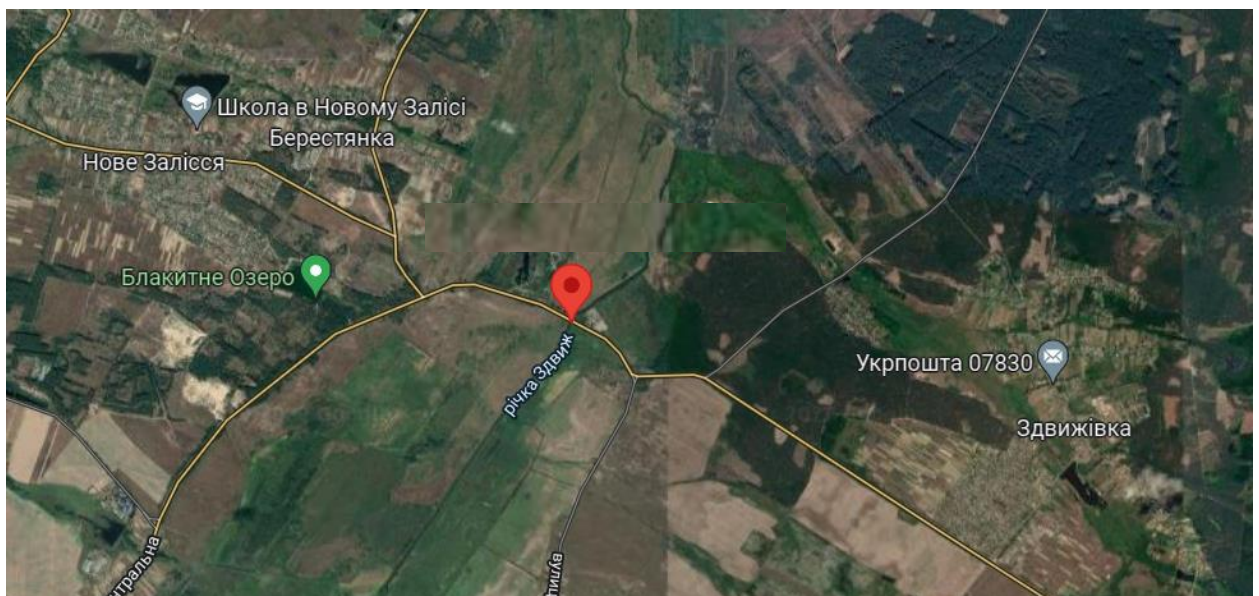


Рисунок 1 – Положення мосту на карті з координатами

Під мостом в прольоті 5-6 протікає р. Здвиж з шириною дзеркала ріки в межах до 20 м, в паводок річка розтікається по широкій заплаві. Міст має сім прогонів за схемою 7х16,76м під дві смуги руху, повна довжина мосту 118,22 м, габарит проїзної частини 8,5+2х0,9 (м). Міст орієнтовно збудовано у 1970 році під навантаження Н-30 та НК-80.

Проміжні опори мосту стовпчасті, ймовірно на пальовій основі. Стояни обсіпні, їх конструкція не встановлена.

Прогонові будови розрізні повною довжиною 16,76 м. в поперечному перерізі кожної прогонової будови встановлено 12 діафрагменних балок, геометричні характеристики яких відповідають типовому проекту ВТП-16 (струнобетонні балки).

Тротуари на мосту влаштовані з обох сторін на плитних блоках з колесовідбійним парапетом висотою 0,45 м. Перильне огороження металеве висотою 1,0 м (рис.2).



Рисунок 2 – Вид мосту від опори №1

Клас наслідків (відповідальності) об'єкта обстеження – СС2 (середні наслідки).

За результатами натурного обстеження мосту було встановлено наступне:

- Прогонові будови в прольотах 6-7 та 7-8 повністю зруйновані (рис. 3).
- Тіло опори №7 зруйноване, стан опори №8 не встановлено (засипана ґрунтом) рисунок 4.
- В прольотах 1-2-3-4-5-6 балки прогонових будов мають локальні корозійні дефекти, в тому числі напруженого армування (рис. 5).
- В прольотах 6-7-8 в межах габариту прогонової будови влаштовано насип, при цьому балки зруйнованої прогонової будови 6-7 виконують роль

перехідних плит – вони одним кінцем спираються на ригель опори №6, а іншим на ґрунт.

- Дорожній одяг має численні руйнування, гідроізоляція по плиті проїзної частини зносилася.



Рисунок 3 – Фасад мосту, вид від опори №8



Рисунок 4 – Вид на опору №6 та зруйновані прольоти



Рисунок 5 – Пошкодження балок прогонових будов

Аналіз результатів натурального обстеження дозволив зробити наступні висновки:

1. Ступінь руйнування мосту за МР В.2.3-218-03450778-771:2010 оцінюється як слабкий (20%). Технічний стан мосту за ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 на момент обстеження з урахуванням відсіпки насипу у зруйнованих прольотах - обмежено працездатний (4-й стан).

2. Згідно додатку 3 «Методики обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів, від 28.04.2022», категорія пошкодження об'єкта – II, що передбачає проведення капітального ремонту споруди.

3. Влаштування тимчасового переходу шляхом відсіпки насипу у прольотах 6-7-8 слід розглядати лише як тимчасове відновлення. При цьому стійкість насипу у прольоті 6-7 є невизначеною, оскільки залежить від

стійкості обвалених балок прогонової будови, які з часом під тиском насипу можуть отримати додаткові деформації та руйнування. Для підтримки цих балок рекомендується влаштувати додаткову тимчасову опору.

4. Враховуючи термін експлуатації вцілілих конструкцій мосту та низьку, у порівнянні з чинними нормами, вантажопідйомність струнобетонних балок, які, як показала практика їх експлуатації, є проблемними, рекомендується відновлення споруди із заміною прогонових будов. Для можливості використання існуючих опор доцільно розглянути більш легкі конструкції прогонових будов, наприклад, сталі-залізобетонні.

За результатами цього обстеження був розроблений проект капітального ремонту цього мосту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів: ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. (Чинні від 2013-12-01). – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 45с. (Національний стандарт України).
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування ДБН В.2.3-6:2009. (Чинні від 2010-03-01). – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 43с. – (Державні будівельні норми України).
3. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування: ДБН В.2.3-14: 2006. (Чинні від 2007-02-01). – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 359с. – (Державні будівельні норми України).
11. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування: ДБН В.2.3-22: 2009. (Чинні від 2010-03-01). – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52с. – (Державні будівельні норми України).

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ТА СПОСОБУ ПІДСИЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТА ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ МОСТОВОЇ СПОРУДИ ПРИ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*Дорожко І.О., Костенко А.В. ДМ-31-22,
Барабаш К.О. ДМ-26т1-23*

*Науковий керівник: к.т.н., проф. Кіслов О.Г.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

У системі дорожнього господарства мостові споруди належать до найбільш складних, відповідальних і високовартісних технічних систем.

Мостові споруди, що знаходяться в експлуатації, мають різні технічні параметри і експлуатаційні показники, різноманітні за конструктивними схемами, матеріалами, технологією будівництва, вантажопідйомністю, пропускною здатністю і фізичним станом несучих конструкцій.

Основне завдання утримання мостових споруд вбачається в постійному підтриманні їх нормованих експлуатаційних показників, а при їх втраті – у реабілітації і модернізації у вигляді ремонту, підсилення або повної реконструкції споруди.

При оцінюванні міцності та жорсткості існуючих мостових споруд використовуються Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [1]. Наведені в цих Нормах навантаження і впливи забезпечують розрахунок транспортних споруд: на міцність за першим граничним станом – втрата несучої спроможності; жорсткість за другим граничним станом – непридатність до нормальної експлуатації.

Розглянемо роботу сталеві статично визначеної балки двотаврового перерізу та підсилення її, як елемента несучої конструкції прогонової будови мосту на автомобільній дорозі IV категорії.

В якості вертикального навантаження приймається: постійне – власна вага елементів мосту; тимчасове – навантаження від автотранспорту за схемою

АК [1] (рис. 1). Навантаження від автотранспортних засобів приймається у вигляді рівномірно розподіленого з інтенсивністю $V=0,98K$ кН/м та тандему з навантаженням на вісь $P=9,81K$ кН, де K – клас навантаження, що приймається в залежності від технічної класифікації автомобільних доріг.

В нашому випадку $K=11$ (IV категорія дороги), тоді $V=0,98 \cdot 11=11$ кН/м, $P=9,81 \cdot 11=108$ кН.

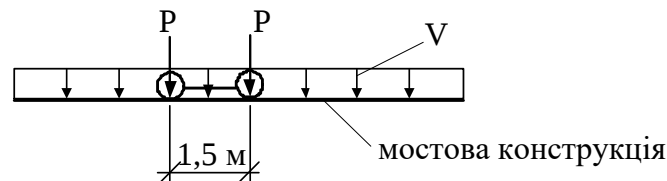


Рисунок 1 – Модель навантаження від рухомого складу за схемою АК

Виконаємо розрахунок сталевій двотавровій балки на міцність за першим граничним станом.

Умова міцності

$$\sigma_{max} = M_{max} \cdot \gamma_f / W \leq \gamma_c R_{zg}, \quad (1)$$

де M_{max} – максимальний згинальний момент від вертикального навантаження;

γ_f – коефіцієнт надійності за навантаженням;

γ_c – коефіцієнт умови роботи балки;

R_{zg} – розрахунковий опір матеріалу балки при згині.

В нашому випадку приймаємо: $\gamma_f = 1$, $\gamma_c = 1$, $R_{zg} = 215$ МПа.

Оскільки вертикальне навантаження складається з постійного та тимчасового навантаження визначення максимального згинального моменту виконуємо за допомогою методу ліній впливу (статичний метод).

Досліджувана балка (рис. 2, а) навантажується одиничним зосередженим безрозмірним рухомим вантажем постійного напрямку.

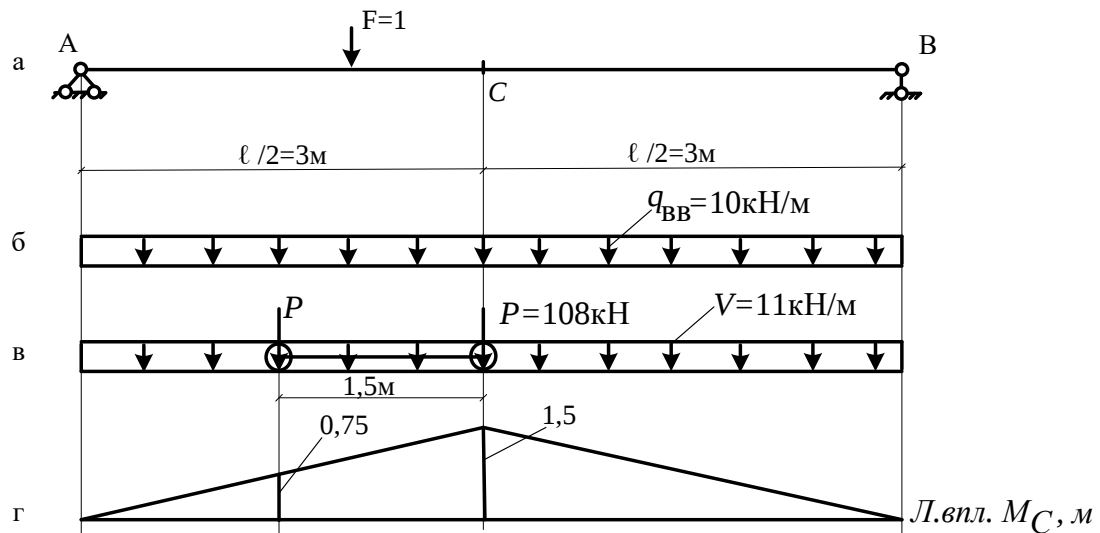


Рисунок 2 – До визначення максимального згинального моменту:
балка завантажена силою $F=1$ (а), власна вага (б),
тимчасове навантаження за схемою АК (в), лінія впливу M_c (г)

Максимальний згинальний момент виникає посередині прольоту, ордината лінії впливу якого має значення $Y = 3 \cdot 3 / (3 + 3) = 1,5\text{м}$ (рис. 2, г).

Завантажимо побудовану *л.впл.* M_c вертикальним навантаженням: власна вага (рис.2, б) і тимчасове за схемою АК – навантаження від автотранспорту, що створює найбільш несприятливі навантажувальні ефекти (рис.2, в).

Максимальний згинальний момент визначимо за формулою

$$M_C^{max} = M_{BB} + M_{AK}^{max}, \quad (2)$$

де $M_{BB} = q_{BB} \cdot \omega_{AB} = 10(1/2 \cdot 1,5 \cdot 6) = 45\text{кНм}$ (від власної ваги);

$M_{AK}^{max} = P(Y_1 + Y_2) + V\omega_{AB} = 108(1,5 + 0,75) + 11(1/2 \cdot 1,5 \cdot 6) = 292,5\text{кНм}$ (від тимчасового навантаження).

Тоді $M_C^{max} = 45 + 292,5 = 337,5\text{Нм}$.

З умови міцності (1) маємо

$$W \leq M_C^{max} \cdot \gamma_f / \gamma_c R_{зг} = 337,5 \cdot 10^3 \cdot 1/1 \cdot 215 \cdot 10^6 = 1,57 \cdot 10^{-3}\text{м}^3 = 1570\text{см}^3.$$

З сортаменту (ГОСТ 8239-89) знаходимо двотавр №50 з більшим значенням моменту опору $W = 1589\text{см}^3$, тому момент інерції $I = 39727\text{см}^4$.

При перевірці міцності балки за дотичними напруженнями, якщо $R_{3c} = 130 \text{ МПа}$, маємо $\tau_{max} = 58,3 \text{ МПа} < \gamma_c R_{3c} = 130 \text{ МПа}$ (в опорному перерізі) – міцність за дотичними напруженнями забезпечена.

Оскільки досліджувана балка виготовлена з пластичного матеріалу та має двотавровий переріз, також була виконана перевірка балки на міцність за головними напруженнями за IV теорією міцності.

В небезпечному перерізі балки та небезпечній точці перерізу маємо $\sigma = 172 \text{ МПа}$, $\tau = 29 \text{ МПа}$.

Тоді $\sigma_{екв} = 179,2 \text{ МПа} < \gamma_c R_{3г} = 215 \text{ МПа}$. Тобто двотавр №50 задовольняє умові міцності за головними напруженнями.

Жорсткість балки оцінювалась за другим граничним станом.

Умова жорсткості

$$y_{max} = f \leq [f], \quad (3)$$

де $[f]$ – допустима стріла прогину балки

(Приймаємо $[f] = \ell/400 = 6/400 = 0,015 \text{ м} = 1,5 \text{ см}$);

y_{max} – максимальний прогин балки.

Максимальний прогин балки, що виникає посередині балки обчислимо за формулою Сімпсона-Корноухова [2]

$$\Delta_{iF} = \ell/6EI (\bar{M}_i^\Lambda \cdot M_F^\Lambda + 4\bar{M}_i^{\text{сер}} \cdot M_F^{\text{сер}} + \bar{M}_i^{\text{пр}} \cdot M_F^{\text{пр}}), \quad (4)$$

$\bar{M}_i^\Lambda$, $\bar{M}_i^{\text{сер}}$, $\bar{M}_i^{\text{пр}}$ – лівий, середній та правий згинальні моменти на ділянці епюри від одиничної сили;

M_F^Λ , $M_F^{\text{сер}}$, $M_F^{\text{пр}}$ – лівий, середній та правий згинальні моменти на ділянці епюри від зовнішнього навантаження.

Епюра згинальних моментів від зовнішнього навантаження побудована за принципом суперпозиції (рис. 3, а), тобто сумування епюр згинальних моментів побудованих окремо від кожної складової вертикального навантаження: власна вага з інтенсивністю $q_{\text{вв}} = 10 \text{ кН/м}$, рівномірно розподілене з інтенсивністю $V = 11 \text{ кН/м}$ та тандему з завантаженням на

вісь $P=108$ кН. Також побудована епюра згинальних моментів від одиничної сили, що прикладена в перерізі С (рис. 3, б).

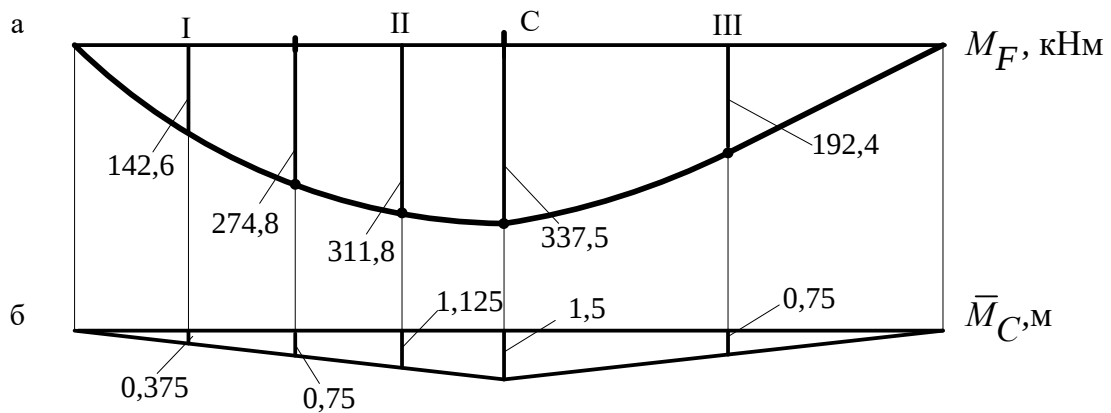


Рисунок 3 – До визначення максимального прогину балки:

епюра згинальних моментів від вертикального навантаження (а),
одинична епюра згинальних моментів від $F=1$, прикладеної в перерізі С (б)

Епюра M_F (рис. 3, а) має три ділянки, тому обчислимо ординати епюр на границях та посередині ділянок. На епюрі $\bar{M}_C$ (рис. 3, б) також обчислимо ординати на границях та посередині ділянок.

Формула Сімпсона-Корноухова має три доданки, оскільки епюра M_F має три ділянки

$$\begin{aligned} \Delta_{CF}^y &= 1,5/6EI(4 \cdot 142,6 \cdot 0,375 + 274,5 \cdot 0,75) + 1,5/6EI(274,5 \cdot 0,75 + \\ &+ 4 \cdot 311,09 \cdot 1,125 + 337,5 \cdot 1,5) + 3/6EI(337,5 \cdot 1,5 + 4 \cdot 192,4 \cdot 0,75 = \\ &= (104,95 + 528,03 + 541,73)/EI = 1174,7/EI. \end{aligned}$$

Тоді

$$\begin{aligned} \Delta_{CF}^y &= 1174,7 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 39727 \cdot 10^{-8} = \\ &= 1174,7 \cdot 10^3 / 7,9454 \cdot 10^7 = 0,0148\text{м} = 1,48\text{см}. \end{aligned}$$

На підставі обчислень маємо

$$1,48\text{см} < 1,5\text{см} - \text{жорсткість балки забезпечена.}$$

Висновок: геометричні та міцнісні характеристики сталевій двотавровій балки, що використовується як елемент несучої конструкції прогонової

будови мосту відповідає Державним будівельним нормам за першим і другим граничними станами.

Продовжимо дослідження - зменшимо максимальний прогин балки, жорсткість якої EI , шляхом її підсилення.

Основне завдання підсилення балки, що досліджується, це зменшення максимального прогину балки в два рази.

Підсилення зробимо за допомогою шпренгеля, тобто трьох стержнів, жорсткість яких EA , з'єднаних шарнірами. Шпренгелі використовуються в фермах з простою решіткою, стержні яких працюють тільки на розтяг-стиск [2].

Для розрахунку сталеві балки із шпренгелем (рис.4, а) представимо її як балку, що спирається в перерізі C на пружно-податливу опору (рис. 4, б), а впливом деформації стиску балки будемо нехтувати. Вертикальне навантаження позначимо q .

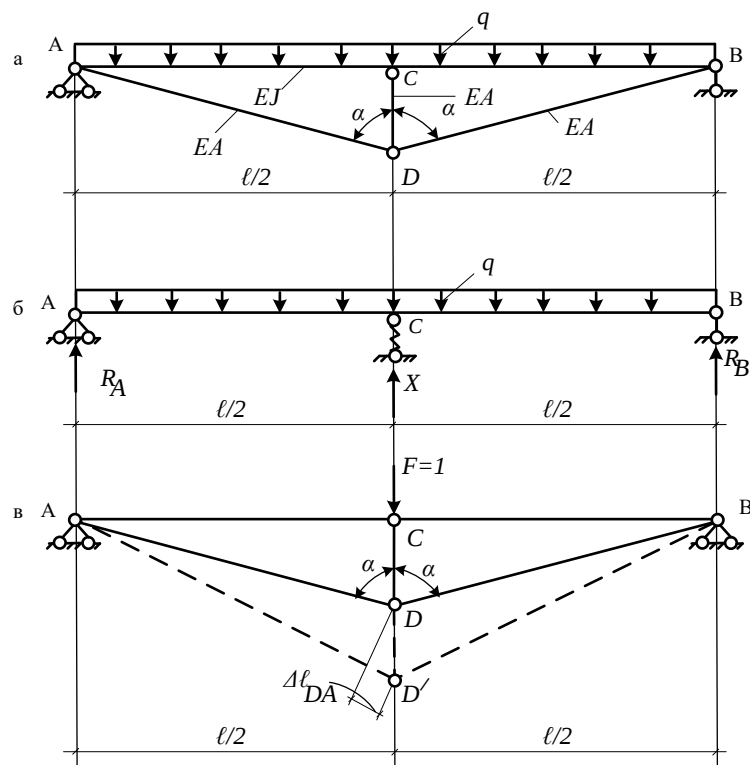


Рисунок 4 – До розрахунку шпренгеля:
розрахункова схема балки, що підсилена шпренгелем (а),
балка, що спирається на пружно-податливу опору (б),
деформація шпренгеля, завантаженого одиничною силою (в)

Податливість опорі C дорівнює переміщенню шарніра C при дії на шпренгель одиничної сили, розташованої у вузлі C (рис. 4, в).

Запишемо формулу для визначення δ_c

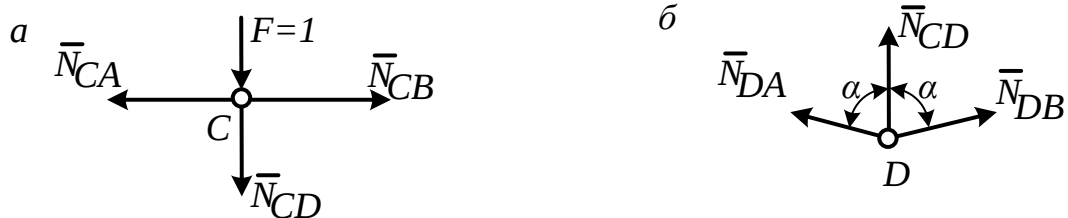
$$\delta_c = \Delta \ell_{CD} + \Delta \ell_{DA} / \cos \alpha = \bar{N}_{CD} \ell_{CD} / EA + \bar{N}_{DA} \ell_{DA} / EA \cos \alpha, \quad (5)$$

де $\ell_{CD} = \ell / 2 \operatorname{tg} \alpha$; $\ell_{DA} = \ell / 2 \sin \alpha$.

Визначимо зусилля в стержнях шпренгеля від одиничної сили методом вирізування вузлів шпренгеля (рис. 4, в).

Виріжемо вузол C і розглянемо його рівновагу (рис. 5, а)

Виріжемо вузол D і розглянемо його рівновагу (рис. 5, б).



$$\begin{aligned} \sum Y = 0, 1 + \bar{N}_{CD} = 0, \bar{N}_{CD} = -1. \quad \sum X = 0, -\bar{N}_{DA} + \bar{N}_{DB} = 0, \bar{N}_{DA} = \bar{N}_{DB} \\ \sum Y = 0, \bar{N}_{CD} + (\bar{N}_{DA} + \bar{N}_{DB}) \cos \alpha = 0, \\ \bar{N}_{DA} = \bar{N}_{DB} = 1 / 2 \cos \alpha. \end{aligned}$$

Рисунок 5 – До визначення зусиль в стержнях шпренгеля:
рівновага вузла C (а), рівновага вузла D (б)

Підставимо знайдені величини зусиль та довжини стержнів шпренгеля в (5), виконаємо деякі перетворення та отримаємо

$$\begin{aligned} \delta_c &= 1 \cdot \ell / 2 EA \operatorname{tg} \alpha + 1 \cdot \ell / 4 \sin \alpha \cos \alpha EA \cos \alpha = \\ &= \ell (\cos \alpha + 1/2 \cos^2 \alpha) / 2 EA \sin \alpha = \quad (6) \\ &= \ell (1 + 2 \cos^3 \alpha) / 2 EA \sin 2 \alpha \cos \alpha. \end{aligned}$$

Визначимо величину невідомої опорної реакції X .

Запишемо рівняння спільності деформацій балки і шпренгеля в перерізі C , тобто визначимо прогин балки із шпренгелем, що виникає від вертикального навантаження і від X що дорівнює деформації пружно-податливої опорі від X

$$f_C^q - f_C^X = \Delta_C, \quad (7)$$

де $f_C^X = X\ell^3/48EI$; $\Delta_C = X\delta_C$.

Підставимо ці значення в (7) та отримаємо рівняння спільності деформацій

$$f_C^q - X\ell^3/48EI = X\delta_C. \quad (8)$$

Рішення рівняння (8)

$$X = f_C^q / (\ell^3/48EI + \delta_C). \quad (9)$$

Відповідно до умови дослідження, прогин балки із шпренгелем має дорівнювати половині прогину балки без шпренгеля. Прогин балки із шпренгелем визначимо як переміщення перерізу C за рахунок деформації пружно-податливої опори при дії X , тобто

$$X\delta_C = 0,5f_C^q. \quad (10)$$

Підставимо значення X (9) у (10) та одержимо

$$f_C^q \cdot \delta_C / (\ell^3/48EI + \delta_C) = 0,5f_C^q.$$

Скоротимо на f_C^q і запишемо δ_C

$$\delta_C = \ell^3/96EI + 0,5\delta_C,$$

або

$$\delta_C = \ell^3/48EI. \quad (11)$$

Підставимо в (6) значення δ_C (11) та отримаємо

$$\ell(1 + 2\cos^3\alpha/2EA\sin 2\alpha \cos\alpha = \ell^3/48EI. \quad (12)$$

де A - шукана площа поперечного перерізу стержнів шпренгеля.

З (12) визначимо площу перерізу стержнів шпренгеля

$$A = 24I(1 + 2\cos^3\alpha)/\ell^2\sin 2\alpha \cos\alpha.$$

Підставимо вихідні дані балки із шпренгелем:

Прольот балки $\ell = 6\text{м}$, переріз балки двотавр №50 $I = 39727\text{ см}^4$, кут $\alpha = 70^\circ$, $\sin 2\alpha = 0,643$, $\cos\alpha = 0,3420$.

Тоді

$$\begin{aligned} A &= 24 \cdot 39727(1 + 2 \cdot 0,342^3)/(6 \cdot 10)^2 \cdot 0,643 \cdot 0,342 = \\ &= 1023727/79166 = 13\text{ см}^2. \end{aligned}$$

Приймаємо переріз стержнів шпренгеля у вигляді двох рівнополичних кутиків, площа одного кутика $A_L = 13/2 = 6,5 \text{ см}^2$.

З сортаменту (ГОСТ 8509-93) знаходимо кутик №7 (70x5), у якого $A = 6,86 \text{ см}^2$.

Стержні шпренгеля між собою та з балкою з'єднуються зваркою, конструктивно за допомогою фасонки.

Висновок: підібраний переріз стержнів шпренгеля, якій влаштовується для посилення балки, дозволяє зменшити максимальний прогин балки в два рази, що підвищує її жорсткість і покращує нормальну експлуатацію мостової споруди.

Висновки дослідження:

Такий спосіб підсилення несучих елементів мостової споруди дозволяє підвищувати не тільки їх жорсткість, а й несучу спроможність, що дає змогу мати можливість транспортувати вантаж різними видами автотранспорту, а також реконструювати постійні мостові споруди.

ЛІТЕРАТУРА

1. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. В.1.2-15:2009.(Чинні від 2010-03-01) .- К.:Мінрегіонбуд України,2009.-66с.-(Державні будівельні норми України).
2. Статично визначені системи інженерних споруд на автомобільних дорогах/Навчальний посібник, В.О.Голеско, О.Г.Кіслов.-Харків: 2001.-133с.

ІСТОРІЯ БУДІВНИЦТВА МОСТА ПАТОНА

Воровік О.А. ДМ-41-21

*Науковий керівник :к.т.н., доцент Синьковська О.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Мости відіграють важливу роль у транспортній системі будь-якого міста, забезпечуючи сполучення між різними його частинами. Наприкінці 1930-х років Київ мав декілька основних мостів через Дніпро, які забезпечували одночасно і автомобільне, і залізничне сполучення. Проте більшість із них була в незадовільному стані за рядом причин.

Ланцюговий міст [1] свого часу забезпечував перехід через Дніпро в районі сучасного моста Метро. Сьогодні про нього нагадують лише старі листівки та фотографії (рис. 1).



Рисунок 1 – Миколаївський ланцюговий міст на старовинній листівці XIX століття

Зведенням ланцюгового мосту займався ірландський інженер Чарльз Віньоль, а до цього на цьому місці існував плавучий Спаський міст.

Ланцюговий міст був збудований у стилі англійської готики та став єдиним у світі шестипролітним мостом через водойму. Його довжина становила 776 метрів, ширина – 16 метрів, а маса одного кільця – 192 кілограми. Міст стояв на гранітних опорах-"биках", мав дерев'яне покриття, а його ґратчасті балки кріпилися до ланцюгів за допомогою залізних прутів. Металеві частини моста виготовили у Бірмінгемі, після чого 16 кораблів доправили їх до Одеси через Ліверпуль, а далі волами перевезли до Києва.

Урочисте освячення моста відбулося 28 вересня 1853 року – у той самий день, коли освячували пам'ятник князю Володимиру. Будівництво розпочалося ще 30 серпня 1848 року із закладення першого каменя навпроти Аскольдової могили. Через рік міст офіційно ввели в експлуатацію, але повноцінний рух транспорту дозволили лише в 1855 році. Проїзд однокінного екіпажу коштував 20 копійок, двокінного – 40 копійок.

У 1889 році міст переобладнали на розвідний. Опівночі його частина розходилася, щоб пропускати судна з високими щоглами. На час закриття моста переправа через Дніпро здійснювалася за допомогою двохпаромної системи. У 1912 році по мосту почав курсувати трамвай.

У 1920 році польські війська підірвали Ланцюговий міст, а в 1921 році його залишки демонтували, щоб вони не заважали судноплавству. Пізніше на його місці Євген Патон побудував новий міст – переправу імені Євгенії Бош. Вона частково використовувала збережені опори Ланцюгового моста, які попередньо модифікували для збільшення висоти споруди. Однак 9 червня 1920 року, відступаючи, польські війська підірвали першу від правого берега опору Миколаївського ланцюгового мосту. Руйнування спричинило обрив ланцюгів, які потягнули за собою всю конструкцію.

У 1921 році підірвали залишки ланцюгів, що заважали судноплавству, вони затонули, і міст більше не відновлювали. У 1921—1923 роках розглядалися різні варіанти його реконструкції: від підйому та ремонту

ланцюгів із відновленням зруйнованої опори до кардинальної перебудови пілонів.

Остаточний проєкт капітальної реконструкції, фактично нової споруди, Євген Патон представив лише в січні 1924 року. Новий міст будували з двотаврових балок, що залишилися на берегах Дніпра після демонтажу стратегічних шосейних мостів Київського району в 1919 році.

Будівництво тривало 10 місяців, і 10 травня 1925 року новий міст відкрили (рис. 2). Його назвали на честь революціонерки та учасниці Громадянської війни в Україні Євгенії Бош [2]. Одночасно з відкриттям мосту відновили рух бензотрамвая до Дарниці, а 1 червня 1926 року трамвайну лінію на лівий берег електрифікували. 19 вересня 1941 року Міст імені Євгенії Бош був знищений радянськими військами при відступі. Після Другої світової війни не відновлювався.

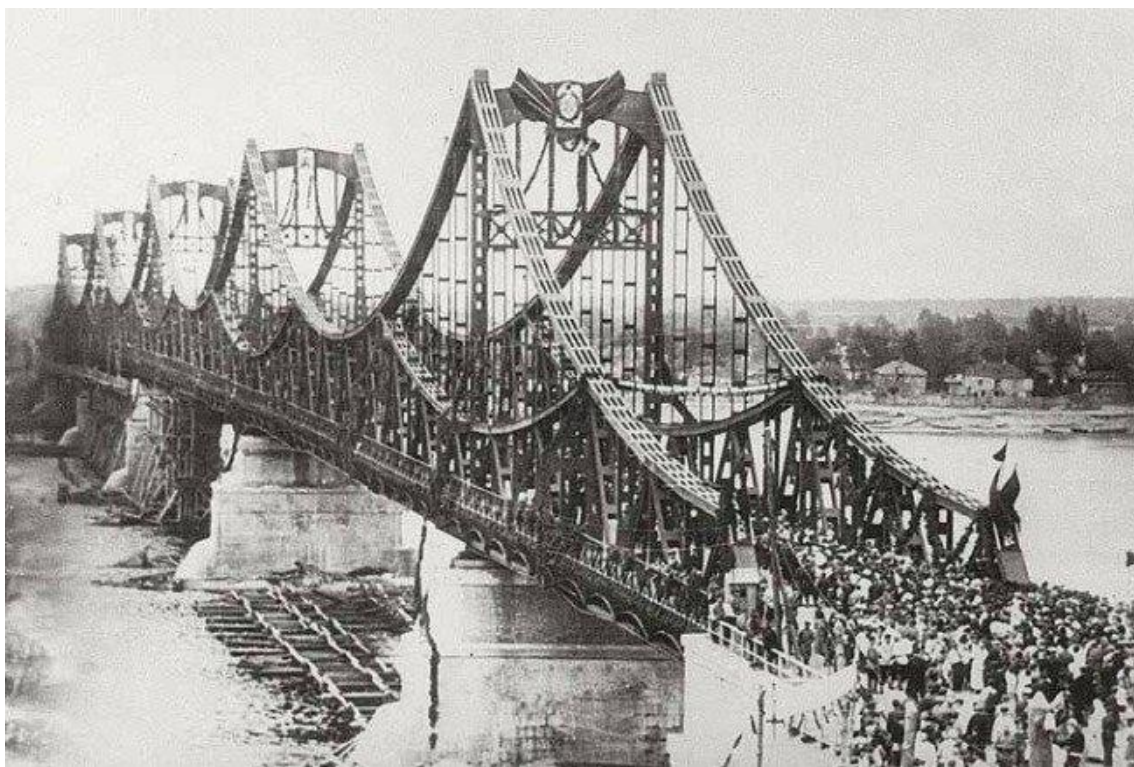


Рисунок 2 – Міст імені Євгенії Бош

З розвитком Києва та збільшенням чисельності його населення в 1930-х роках зростала потреба у новому мосту, який би міг забезпечити ефективне

транспортне сполучення між берегами Дніпра. Існуючі мости вже не справлялися з навантаженням, а їхній стан погіршувався. Окрім того, економічна політика індустріалізації вимагала розширення транспортної інфраструктури для підтримки економічного зростання.

Одним із головних ініціаторів будівництва нового мосту був інженер Євген Патон, який запропонував застосувати передові на той час технології зварювання для створення суцільнометалевого моста.

Перший міст у Києві інженер Євген Патон спорудив ще у 1910 році (рис. 3). Це був пішохідний Парковий міст [3], який з'єднував Царський та Купецький сади (нині – Міський сад і Хрещатий парк). На той час Патон вже очолював кафедру мостобудування Київського політехнічного інституту. Його наступним великим проєктом став міст через Дніпро, названий на честь революціонерки Євгенії Бош, будівництво якого завершилося у 1925 році.



Рисунок 3 – Парковий міст в Києві, 1910-ті роки

Наприкінці 1920-х років Патон захопився розробкою технологій електрозварювання. У 1929 році він організував у Академії наук України

кафедру інженерних споруд, на основі якої в 1934 році було створено Інститут електрозварювання. Патон залишався його директором до кінця життя.

Після років експериментів із металами та технологіями у Патона та його молодого наукового колективу з'явилася ідея об'єднати мостобудування та зварювання — замінити клепані конструкції на суцільнозварні.

У лабораторії, створеній та очолюваній академіком Патоном, проводили експериментальні дослідження, порівнюючи результати випробувань ідентичних зварних і клепаних зразків, балок та конструкцій за статичних, змінних і ударних навантажень [4]. Було підтверджено рівномірність стикових з'єднань зі зняттям «підсилення швів» та основного металу під час змінних навантажень.

Будівництво нового мосту розпочалося у 1939 році. Однак його перервали через Другу світову війну. Повернутися до реалізації проекту вдалося лише після завершення війни, у 1945 році.

Заводське виготовлення металоконструкцій для мосту, загальна маса яких становила приблизно 10 тисяч тон, тривало з грудня 1951 року по квітень 1953 року, а монтажні роботи виконувалися з квітня 1952 року до жовтня 1953 року.

5 листопада 1953 року відбулося введення в експлуатацію цільнозварного автомобільного мосту через Дніпро в Києві. Таким чином, завершився відповідальний і найскладніший етап розвитку зварного мостобудування. 18 грудня 1953 року постановою новозбудованому мосту було присвоєно ім'я Є. О. Патона.

У 1995 році Американська асоціація зварників включила цільнозварний міст у Києві через Дніпро до списку видатних інженерних споруд світу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горчинська О. Миколаївський ланцюговий міст в Києві. *Київ – моє улюблене місто*. URL: <https://the-city.kiev.ua/ua/article/nikolaevskiy-tsepnoy-most-v-kieve-chudo-tehniki-128>.
2. Міст імені Євгенії Бош. Історія. *Київ – від минулого до майбутнього*. URL: <https://kyivpastfuture.com.ua/mist-imeni-yevgeniyi-bosh-istoriya/>.
3. Пивоваров С. 67 років тому у Києві відкрили міст Патона. Його збудували з третьої спроби за унікальною технологією, а творець не дожив кілька місяців до відкриття – як це було в архівних фото. *Бабель | Розповідаємо про політику, культуру і суспільство в Україні. Останні новини детально і неупереджено*. URL: <https://babel.ua/ru/texts/54136-67-let-nazad-v-kieve-otkryli-most-patona-ego-postroili-s-trety-popytki-po-unikalnoy-tehnologii-a-sozdatel-ne-dozhil-neskolko-mesyacev-do-otkrytiya-kak-eto-bylo-v-arhivnyh-foto#>.
4. Лобанов Л., Кірьян В. І. Шістдесят років цільнозварювального мосту ім. Е. О. Патона. *Автоматичне зварювання*. С. 35–40. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=njuu_all&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21COLORTERMS=0&S21P03=I=&S21STR=Ж26970/2013/12.

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЗАХИСТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ БЕТОННИХ ПОВЕРХОНЬ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Кучерук Я.В. ДМ-41-21

*Науковий керівник :к.т.н., доцент Синьковська О.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Перспективним напрямком сьогодні є не тільки створення нових конструкцій, а й збереження вже існуючих. З цього приводу, в першу чергу, спробуємо звернутися до нормативної документації. Так при пошуку нормативної документації, перше, що впадає в око, це змістовна нормативна база з приводу захисту та відновлення бетонних поверхонь залізобетонних конструкцій, яка викладена в стандарт EN 1504 [1], що складається з 10 частин.

Детальніше стандарт EN 1504 складається з наступних підрозділів під основним заголовком «Вироби та системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій – визначення, вимоги, контроль якості та оцінка відповідності»:

- EN 1504-1 Частина 1: Визначення - визначає терміни, пов'язані з ремонтними виробами та системами для використання в технічному обслуговуванні та захисті, відновленні та зміцненні бетонних конструкцій;
- EN 1504-2 Частина 2: Системи захисту поверхні для бетону – описує вимоги до ідентифікації продуктів і систем, що використовуються для захисту поверхні бетону, оцінки їх ефективності, безпеки та придатності, включаючи аспекти довговічності, а також підвищення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій, а також нового бетону. та технічне обслуговування та ремонтні роботи;
- EN 1504-3 Частина 3: Конструкційний і не конструкційний ремонт – описує вимоги до визначення, продуктивності та безпеки, включаючи довговічність, продуктів і систем, що використовуються для структурного та не конструкційного ремонту бетонних конструкцій. Цей стандарт також охоплює ремонтні розчини та бетони, які використовуються

разом з іншими продуктами та системами для відновлення або заміни дефектного бетону та захисту арматури, необхідної для продовження терміну служби бетонної конструкції, що руйнується;

EN 1504-4 Частина 4: Конструкційне склеювання – описує вимоги до експлуатаційних характеристик і безпеки, включаючи довговічність, визначення структурних кріпильних виробів і систем, що використовуються для структурного скріплення арматурних матеріалів до існуючої бетонної конструкції. Сфера застосування цього стандарту включає: приклеювання до поверхні бетонної конструкції з метою посилення, включаючи ламінування зовнішніх пластин зі сталі або інших відповідних матеріалів; приклеювання затверділого бетону до затверділого бетону; заливка свіжого бетону в затверділий бетон за допомогою клейового з'єднання, де він є частиною конструкції і повинен діяти як композит;

EN 1504-5 Частина 5: Вливання бетону – описує вимоги та критерії відповідності для визначення, продуктивності та безпеки ін'єкційних продуктів, що використовуються для ремонту та захисту бетонних конструкцій, що використовуються для: силопровідний наповнювач для заповнення тріщин і пустот у бетоні; пластичне заповнення тріщин і пустот у бетоні; заповнення тріщин і пустот у бетоні шляхом набухання;

EN 1504-6 Частина 6: Анкерування арматури – описує вимоги до експлуатаційних характеристик і безпеки, включаючи довговічність, виробів і систем, що використовуються при анкеруванні арматурної сталі (арматурного заліза), що використовується для армування конструкції для забезпечення безперервності залізобетонних конструкцій. У цьому стандарті передбачається, що відповідну структурну оцінку елементів конструкції, які підлягають ремонту, проводять кваліфіковані інженери, і що проект, а також вибір використовуваних продуктів і систем базуються на цій оцінці;

EN 1504-7 Частина 7: Посилювальний захист від корозії – описує вимоги до експлуатаційних характеристик, включаючи аспекти довговічності, продуктів і систем для активних і бар'єрних покриттів для

захисту наявної без покриття сталевій арматури та закладної сталі в бетонних конструкціях, що ремонтуються. Цей стандарт не поширюється на продукти для захисту від корозії попередньо напружених і нержавіючих сталей;

EN 1504-8 Частина 8: Оцінка та перевірка контролю якості та сталості продуктивності (AVCP) – відповідно до стандартів EN 1504 2 до EN 1504-7 описані процедури відбору проб, контролю якості, оцінки та перевірки сталості експлуатаційних характеристик, включаючи маркування та маркування продуктів і систем для захисту та ремонту бетону;

EN 1504-9 Частина 9: Загальні принципи використання продуктів і систем – описує основні аспекти захисту та ремонту залізобетонних і не залізобетонних конструкцій, наприклад тротуарів, злітно-посадкових смуг, плит перекриття та попередньо напружених конструкцій, виготовлених із застосуванням продуктів і систем, зазначених в інших частинах цього стандарту. Сфера застосування цього стандарту включає: необхідність огляду, випробування та оцінки до і після ремонту; профілактика дефектів бетонних конструкцій та їх ремонт; усунення дефектів, викликаних неналежним дизайном, специфікаціями або конструкцією, або використанням невідповідних будівельних матеріалів; забезпечення необхідної конструктивної потужності; гідроізоляція як невід'ємна частина захисту та ремонту;

EN 1504-10 Частина 10: Польове застосування продуктів і систем та контроль якості робіт – описує такі вимоги: стан поверхні до і під час застосування систем і продуктів; зберігання систем і продуктів; стійкість конструкції під час підготовки, захисту та ремонту; методи захисту та ремонту; контроль якості виконання робіт; обслуговування конструкції.

В Україні ситуація ускладнюється тим, що на даному етапі ми користуємося європейськими нормами, і тільки починаємо шлях розвитку своєї нормативної документації, а саме: каталог «Сучасні засоби захисту поверхні залізобетонних транспортних споруд від корозії» [2];

Так в [2] розглядається захист залізобетонних і бетонних транспортних споруд, що експлуатуються в умовах дії знакозмінних температур, атмосферних опадів, розчинів протиожеледних матеріалів, вібраційно-динамічних навантажень. Виховуються інтенсивні фізико-хімічні та фізико-механічні впливи на захисний шар бетону, що викликають його активну корозію й руйнування споруд. В даному документі передбачається та роз'яснюється застосування різноманітних засобів захисту поверхні бетону від корозії, з метою підвищення довговічності та надійності залізобетонних конструкцій, та економії коштів на їх утримання та ремонт в дорожній галузі.

Сьогодні будівельний ринок України представлений великою кількістю компаній та фірм, що пробілюються на питанні відновлення та захисту бетонних поверхонь, за допомогою суттєвого переліку різноманітних матеріалів. Даний аспект дещо ускладнює пошук необхідних та одночасно найбільш раціональних захисних матеріалів, саме з метою полегшення етапу пошуку і створено каталог «Сучасні засоби захисту поверхні залізобетонних транспортних споруд від корозії» [2].

Каталог [2] вміщує відомості про засоби вторинного захисту бетону від корозії, які поставляють ведучі вітчизняні та зарубіжні виробники будівельних матеріалів.

В ДСТУ Б В.2.6-145-2010 Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги [3]. Наведено «технічні рішення щодо захисту від корозії бетонних і залізобетонних конструкцій, а також елементів їх сполучення, які повинні бути самостійною частиною проектів будівель і споруд».

Згідно з [3], для забезпечення захисту від руйнування бетону, а також залізобетону і конструкцій з цих матеріалів, в наслідок дії корозії, представленими нормативами передбачені наступні види захисту:

- 1) «первинний, що полягає у виборі конструктивних рішень, матеріалу конструкції або у створенні його структури з тим, щоб забезпечити стійкість цієї конструкції під час експлуатації у відповідному агресивному середовищі;

2) вторинний, що полягає в нанесенні захисного покриття, просоченні і застосуванні інших заходів, які обмежують або виключають вплив агресивного середовища на бетонні та залізобетонні конструкції;

3) спеціальний, що полягає у здійсненні технічних заходів, не згаданих у переліках 1) і 2), але які дозволяють захистити бетонні та залізобетонні конструкції та матеріали від корозії».

Згідно [3] «до заходів первинного захисту відносяться:

- 1) застосування бетонів, стійких до впливу агресивного середовища;
- 2) застосування добавок, що підвищують корозійну стійкість бетонів та їх захисну здатність по відношенню до сталевих арматури, сталевих закладних деталей та з'єднувальних елементів;
- 3) зниження проникності бетонів;
- 4) дотримання додаткових розрахункових та конструктивних вимог при проектуванні бетонних і залізобетонних конструкцій.

До заходів вторинного захисту відноситься захист поверхонь бетонних і залізобетонних конструкцій:

- 1) лакофарбовими, у тому числі товстошаровими (мастичними), покриттями;
- 2) обклеювальною ізоляцією;
- 3) обмазувальними і штукатурними покриттями;
- 4) облицюванням штучними або блочними виробами;
- 5) ущільнювальним просочуванням поверхневого шару конструкцій хімічно стійкими матеріалами;
- 6) обробкою гідрофобізуючими складами;
- 7) обробкою препаратами - біоцидами, антисептиками тощо.

Вторинний захист застосовується у випадках, якщо захист від корозії не може бути забезпечений заходами первинного захисту. Вторинний захист, як правило, вимагає періодичного відновлення.

Під час проектування первинного захисту від корозії за вимогами [3] необхідно враховувати вплив заходів, що забезпечують захист від корозії, на

клас вогнестійкості конструкції. Під час проектування вторинного захисту від корозії необхідно враховувати сумісність цих покриттів із вогнезахисними покриттями та їх спільний вплив на захист від корозії та здатність підвищувати клас вогнестійкості до нормованих значень».

Захист поверхонь конструкцій [3] слід призначати в залежності від виду та ступеня агресивного впливу середовища.

У технічних умовах на конструкції, для яких передбачається вторинний захист від корозії, слід вказувати:

- 1) вимоги до поверхні, що захищається (шорсткість, міцність, чистоту, допустиму вологість у момент нанесення покриття тощо);
- 2) вимоги до форми конструктивного елемента, що захищається, і твердості його поверхневого шару з визначенням допустимого розкриття тріщин і необхідної герметичності захисного покриття;
- 3) вимоги до матеріалів захисного покриття з урахуванням можливої його взаємодії з матеріалом конструкції;
- 4) вимоги до спільної роботи матеріалу конструкцій і захисного покриття в умовах змінних температур;
- 5) періодичність огляду стану конструкцій та відновлення їх захисту.

Таким чином представлений аналіз нормативної документації підтверджує масштабність та важливість представленого питання.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.eurolab.net/uk/testler/malzeme-testleri/en-1504-beton-yapilarin-korunmasi-ve-onarimi-icin-urunler-ve-sistemler-tanimlar-gereksinimler-kalite-kontrol-ve-uygunlugun-degerlendirilmesi/>
2. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=80268
3. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=26721

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОГО АРМУВАННЯ В ТРАНСПОРТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Бердак К.С. ДМ-36т1-22

*Науковий керівник :к.т.н., доцент Синьковська О.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Як відомо будь яке будівництво мостової споруди тісно пов'язано з діючими національними нормативними документами. Сьогодні Українська нормативна база, доволі широко представлена нормативними документами різного рівня, що дозволяють застосовувати композитне армування в транспортному будівництві, в тому числі при будівництві мостових споруд.

Саме тому наша робота представляє зі знайомством в першу чергу, саме зі нормами України в галузі застосування неметалевого армування.

Наприклад в Р А.2.2 – 218 - 02070915-529:2006 Рекомендації з проектування прогонових будов автодорожніх мостів (прогонами 24-42м) із сталі як основної несучої конструкції та захисної антикорозійної оболонки з композитного матеріалу [1], наведено відповідний альбом розроблених конструктивних рішень.

Областю застосування [1] є проектування нових та існуючих, що підлягають реконструкції, мостів, що викликано наступним:

- інтенсивним проектуванням та будівництвом нових мостових споруд та необхідністю реконструкції певної частини існуючих мостів із заміною прогонових будов під сучасні навантаження та габарити, зважаючи, що до 60% існуючих мостів не відповідають Державним будівельним нормам;
- потребою створення, полегшених конструкцій, порівняно з існуючими бетонними та сталезалізобетонними, прогоновими будовами, підвищенням стійкості прогонових будов, до корозії;
- удосконаленням технології виготовлення прогонових будов та їх монтажу, будівництвом мостів з різноманітними габаритами на основі монтажних блоків стандартних розмірів;

- створенням конструкції для застосування гірських місцевостях, в умовах стисненого проїзду, в першу чергу на дорогах місцевого значення;
- застосуванням як інвентарних конструкцій, в якості тимчасових мостів, а також мостів, що будуються з технологічної необхідності в процесі дорожніх робіт та при ліквідації наслідків стихійних лих.

Так Р А.2.2-218-02070915-529:2006. Типова технологічна карта використання сіток полімерних композитних у бетонних конструкціях та виробках [2], розповсюджується на процес використання сіток полімерних композитних в бетонних конструкціях, покриттях та виробках. Вона містить вимоги до сіток і описує технологію їх використання в якості протиусадкового матеріалу.

Збільшення транспортного потоку та маси транспортних засобів, вібраційних та динамічних впливів, використання хлоридних протиожеледних матеріалів знижує протекторні властивості захисного шару цементобетону та викликає корозію арматури, що в свою чергу призводить до скорочення строків експлуатації та надійності автодорожніх бетонних та залізобетонних споруд і доріг з жорстким покриттям.

Сфера застосування полімерних композитних сіток [2] визначається комплексом їх фізико-механічних властивостей, та передбачає їх використання в якості протиусадкових сіток:

- при ремонті та облаштуванні поверхневого шару елементів бетонних конструкцій, що піддаються впливу агресивних середовищ (хлоридні солі, агресивні гази, в тому числі підвищених концентрацій);
- при виготовленні конструкцій, які будуть експлуатуватися в умовах агресивного впливу протиожеледних матеріалів (парапетне огороження, прикромочні лотки, бортові камені тощо);
- при виготовленні та ремонті бетонних конструкцій, коли відсутня можливість забезпечити нормативну товщину захисного цементобетонного шару (тонкостінні шумозахисні панелі, огорожі, конструкції архітектурного призначення тощо);

- в бетонах, при виконанні ремонтів у зимовий період, коли в розчин вводять прискорювачі тверднення та протиморозні добавки (хлориди натрію та кальцію), що викликають корозію металевої арматури.

Р В.3.2-03450778-830:2013. Рекомендації із застосування неметалевої стержневої арматури для армування конструкцій плит прогонових будов мостів [3], можуть бути застосовані при проектуванні та виготовленні плит прогонових будов, армованих композитною неметалевою арматурою для будівництва автодорожніх мостів на автомобільних дорогах загального користування.

Плити проїзної частини автодорожніх мостів зазнають активного впливу агресивного середовища, тому проблема захисту арматури від корозії для них є особливо актуальною. Застосування композитної арматури для армування бетонних плит прогонових будов мостів дозволяє усунути проблеми корозії.

На даний час найбільше збудовано мостів із застосуванням композитної арматури в Японії, де з початку 1990-х років впроваджено більше 100 проектів. В Європі композитну арматуру вперше було застосовано в 1986 р. при будівництві шляхопроводу в Німеччині. Досвід експлуатації таких мостів є позитивним.

Безпека, експлуатаційна придатність, довговічність конструкцій з неметалевою композитною арматурою та інші вимоги, які встановлені завданням на проектування, повинні бути забезпечені дотриманням [3]:

- вимог до бетону та його складових;
- вимог до неметалевої композитної і сталевий арматури;
- вимог до розрахунків конструкцій;
- технологічних вимог;
- вимог до експлуатації.

Вибір конструктивних рішень конструкцій плит прогонових будов мостів з неметалевою композитною арматурою слід здійснювати виходячи з техніко-економічної доцільності їх застосування з урахуванням

довговічності, максимального зниження матеріалоемності, трудомісткості, енергоемності і вартості будівництва.

Р В.2.3-218-02070915-775:2010. Рекомендації з розрахунку композитної шаруватої плити проїзної частини сталевих прогонових будов [4] розроблені для використання при проектуванні сталевих прогонових будов мостів із застосуванням композитних матеріалів на автомобільних дорогах загального користування.

У практиці створення нових, реконструкції і підсиленні ушкоджених конструкцій можливо застосовувати композитні шаруваті плити типу “сандвіч” (ПТС), які являють собою тришарові системи з зовнішніми сталевими листами та шаром поліуретанового заповнювача всередині.

Рекомендації базуються на застосуванні одного з найбільш поширеного чисельного методу - методу скінченних елементів (МСЕ), при використанні якого необхідно застосовувати сучасні обчислювальні комплекси, наприклад, вітчизняні ЛІРА, SCAD тощо.

Р В.2.7-02070915_31911658-805_2012. Рекомендації із застосування композитної перильної огорожі на мостах [5] установлюють відомості про властивості, сферу застосування і утримання огорож перильного типу із композитних матеріалів на мостових спорудах автомобільних доріг, застосовуються до перильної огорожі на мостових спорудах і для облаштування огорожі на тротуарі мостової споруди, а також для влаштування її на сходах підходів до мосту і як тимчасову огорож у небезпечних місцях на стадії будівництва споруд тощо.

Перильна огорожа (огороджувальні конструкції) з композитних матеріалів має такі переваги:

- мала маса конструкцій у порівнянні з традиційно вживаними сталевими конструкціями, чавунним литвом (найчастіше використовується на міських мостах) і залізобетонними конструкціями;

використанні сумішей проти ожеледиці - композитні матеріали інертні до дії кислот і лугів);

- комфортність - через низьку теплопровідність композитних матеріалів на поручень огорожі можна обпіратися відкритою рукою при низьких від'ємних температурах;

- значне збільшення міжремонтних строків, мінімальні витрати на утримання, низькі витрати на технічне обслуговування по відношенню до всього терміну служби в цілому;

- простота заміни елементів конструкцій після аварійних ситуацій;

- мала маса конструкцій, що виключає необхідність у застосуванні при будівництві і ремонті вантажопідйомних механізмів і засобів, спрощення і зменшення вартості та оперативності транспортування, ремонту і монтажу;

- електробезпека - полімерні композитні матеріали є діелектриками і у разі аварій ліній електропередач не становлять небезпеки для пішоходів.

В даній роботі представлені далеко не всі можливості застосування композитного армування в мостовому будівництві, але вже представлені нормативні документи повністю підтверджують актуальність подальших досліджень та перспективність використання композитного армування в різних елементах мостових споруд.

ЛІТЕРАТУРА

1. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=25020
2. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=26343
3. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=56837
4. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=26359
5. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=53139

ДЕЯКІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПОВЕРХОНЬ

Олійник В.С. ДМ-51-24

*Науковий керівник :к.т.н., доцент Синьковська О.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

На підставі ряду чинників [1], таких як зовнішнє середовище, механічні пошкодження, використання неякісних будівельних матеріалів, недотримання чіткого технологічного регламенту виконання робіт, а також у результаті помилок при проєктуванні, залізобетонні конструкції будинків та споруд руйнуються. У підсумку дії всіх перелічених чинників, конструкції не відповідають вимогам відповідних нормативних документів тобто, втрачають своє функціональне призначення.

В більшості джерел описують два види ремонту залізобетонних конструкцій, що залежать, в першу чергу, від характеру та глибини пошкодження [2], а саме «не конструкційний – ремонт поверхневих дефектів для відновлення захисного шару бетону (пори, каверни, тріщини шириною розкриття до 0.2 мм); конструкційний – відновлення несучої здатності залізобетонних конструкцій (відколи, вибоїни, оголення арматури, тріщини, розкриття більше 0.2 мм)».

Слід розуміти, що ремонтні роботи слід починати тільки після [3]: обстеження стану конструктивних елементів, складання дефектних відомостей та виявлення причин виникнення дефектів і пошкоджень; узгодження з замовником дефектної відомості та встановлення ремонтних термінів; розробки технічних рішень по ремонту споруди або її окремих елементів.

Основною задачею при відновленні залізобетонних конструкцій, вважають: вибір системних рішень в яких сукупність матеріалів та технологія їх нанесення дасть можливість забезпечити довговічність відремонтованих конструкцій.

Згідно з ДСТУ Б В.3.112:2016 "Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд" [4] для ремонту та підсилення залізобетонних конструкцій в залежності від основного їх призначення з урахуванням виду старого бетону.

Зазначимо, що будь який ремонт завжди починається з підготовчих робіт: огороження місця проведення робіт; забезпечення освітлення робочого місця; завезення на об'єкт підготовлених до експлуатації механізми, пристосування, інструменти та інвентар; за необхідності доставити та встановити підмостки та ліса; організувати місце для складання матеріалів; провести вся необхідні інструктажі.

Відновлення захисного шару може проводитись, наприклад нанесенням ремонтної суміші методом бетонування набризком, сухе чи мокре торкретування, а при підсиленні конструкцій – методом оббетонування (влаштуванням залізобетонної обойми) та торкретування [1]. Зазначимо, що враховуючи актуальність даного напрямку, а саме відновлення залізобетонних елементів, що знаходяться в експлуатації, з цього напрямку спостерігається значна кількість наукових робіт, аналіз яких є перспективним дослідженням.

Найпростіша технологія ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій нанесенням на пошкоджені поверхні ремонтного розчину вручну (рис. 1).

Технологія відновлення залізобетонних конструкцій, описана в багатьох наукових роботах, та включає наступні процеси: підготовка поверхні під відновлення, тобто видалення пошкодженого (крихкого) шару бетону з очищенням від пилу та бруду; далі визначення стану оголеної арматури та її очищення від продуктів корозії, за необхідністю, нанесення антикорозійного та контактного покриття; влаштування відновлювальних шарів, де приготований ремонтний розчин зазвичай наносять на місця пошкодження за допомогою шпателя або терки. На завершальному етапі, за потреби виконують нанесення захисних покриттів.

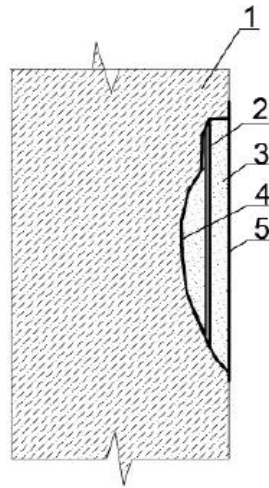


Рисунок 1 – Схема технології ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій нанесенням на пошкоджені поверхні ремонтного розчину вручну [1]: 1 – пошкоджена конструкція; 2 – арматура; 3 – ремонтний розчин; 4 – контактний шар; 5 – захисне покриття.

Наступна технологія ремонту та влаштування захисного шару, яку актуально згадати [1] – на вертикальних поверхнях (рис. 2), її досліджували Жолобов О.Л., Духанін П.В., Айрапетов Г.А., Белецький Б.Ф., Панченко А. І..

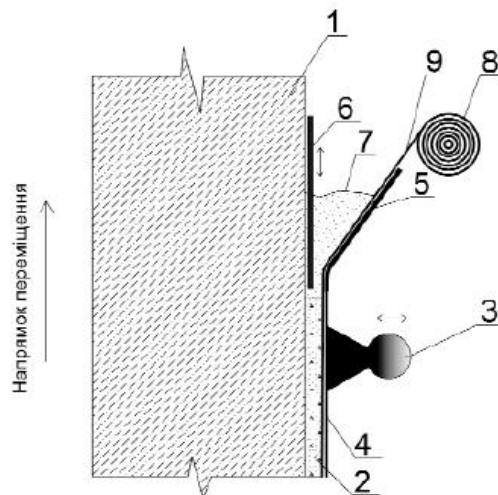


Рисунок 2 – Схема технології ремонту та наросування захисного шару на вертикальних поверхнях з використанням вібраційного щита [1]: 1 – пошкоджена конструкція; 2 – дрібнозернистий бетон; 3 – поверхневий вібратор; 4 – вертикальний щит ковзної опалубки; 5 – завантажувальний бункер; 6 – вібропластина; 7 – дрібнозерниста бетонна суміш; 8 – бобіна з повітро1водонепроникною плівкою; 9 – повітроводонепроникна плівка

Даний спосіб включає «нанесення бетонної суміші на пошкоджену поверхню та її поверхневе ущільнення з застосуванням вібраційного щита». В результаті даної технології ремонтний розчин повністю заповнює простір між поверхнею залізобетонної конструкції та вібраційним щитом, відзначається, що одночасно з поверхневим ущільненням ремонтної суміші здійснюється глибинне ущільнення в зоні контакту з поверхнею конструкції вібруючою пластиною. До початку твердіння ремонтного розчину на відновлену поверхню вкладають водонепроникну плівку з-під якої видаляють повітря.

Особливістю представленого методу, є те що підновлену поверхню необхідно тримати під плівкою 12 –96 годин, після чого її демонтувати. Дана технологія підвищує міцність зчеплення, корозійну стійкість та водонепроникність відновлювальної поверхні залізобетонної конструкції [1]. Але як і в будь якій технології, маємо деякі недоліки.

Основним недоліком даного способу вважають додаткові витрати на розігрів бетонної суміші або поверхневого шару, що тягне за собою підвищення енергозатрат та відповідно збільшення вартості ремонтних робіт, а також необхідність додаткового технологічного обладнання необхідного для виконання представлених робіт.

Ще одним поширеним методом ремонту залізобетонних конструкцій є метод торкретування (рис 3) [1]. Торкретування зазвичай проводиться двома методами: мокрим та сухим. Відмінність яких полягає у стані заповнювача, що впливає на консистенцію та вологість ремонтної суміші. Зазначимо, що при зруйнованому захисному шарі оголену арматуру необхідно очистити від бруду та іржі, а бетонну поверхню, перед нанесенням ремонтного розчину, продувають та промивають спеціальними установками. Для збільшення міцності покриття, ремонтний розчин можна наносити на металеву сітку, що об'єднується зі старим бетоном спеціальними штирями. Ремонтну суміш наносять на поверхню під тиском з використанням торкрет установки.

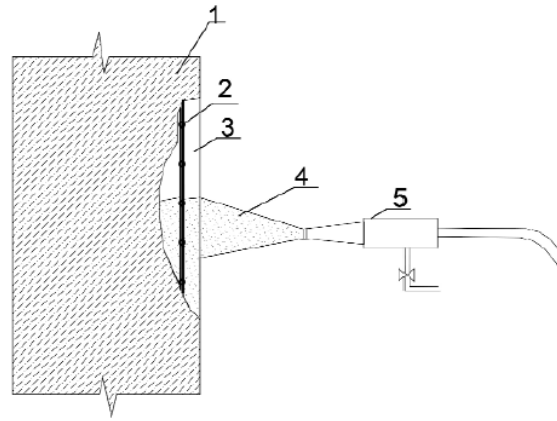


Рисунок 3 – Принципова схема ремонту методом торкретування [1]:
1 – відновлювальна конструкція; 2 – оголена арматура; 3 – зруйнована частина; 4 – ремонтний торкрет розчин; 5 – сопло торкрет установки

Перевагою способу торкретування [1] вважають наступні можливості: ремонт великих площ пошкоджень; подачу ремонтного розчину на великі відстані; простота технологічного обладнання; застосування на вертикальних та похилих поверхнях. Проте представлений спосіб має і свої недоліки: значні втрати ремонтного розчину за рахунок відскоку від основи, а при сухому методі торкретування, високе пилоутворення, що нажаль незадовільно впливає на навколишнє середовище та здоров'я робітників. Крім того, відмічається шороховата фактура відремонтованої поверхні.

Ще одна технологія відновлення бетонних та залізобетонних конструкцій основана на поєднанні полімерних та мінеральних шарів [1], що «включає нанесення на підготовлену поверхню почергово полімерних та мінеральних шарів». Так в місці дефекту рівномірним шаром товщиною 2 – 5 мм наноситься епоксидний композит, поверх нього наносять шар торкрет бетону до 40 мм, який покривають шаром полімерного композиту, внаслідок чого шари об'єднуються у монолітний ремонтний конгломерат. Відмічається що, представлений спосіб [1] «поліпшує умови твердіння цементно-піщаного торкрет бетону та скорочує термін введення конструкції в експлуатацію, а пошарове заповнення зони пошкодження дозволяє ремонтувати дефекти різних розмірів».

Відмічається, що даний спосіб представляє собою досить складну технологію пошарового нанесення ремонтного розчину, що підвищує трудомісткість робіт, вимагає застосування спеціального обладнання для торкретування, та вимагає чіткого дотримання часових рамок при проведенні робіт. Таким чином даний спосіб підходить тільки для відновлення великих поверхонь і, підтверджено, економічно не рентабельний для малих зон пошкоджень.

Слід згадати відновлення залізобетонних конструкцій способом вкладання в опалубку, застосовуючи безусадкову бетонну суміш наливного типу [1]. Підготовка бетонної поверхні та армування аналогічна до тих, що описані в попередніх технологіях. При цьому, обов'язковим є зволоження поверхні. Приготовану бетонну суміш вкладають в опалубку, яка повинна бути надійно закріплена та витримала тиск на стінки після вкладання ремонтного розчину. Стики опалубки потрібно герметизувати для запобігання витіканню суміші.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шарикіна Н. В. Технологічні особливості ремонту залізобетонних конструкцій. Будівельне виробництво. Київ: ДП «НДІБВ», 2020. № 69. С. 28–34.
2. Research Laboratory BUILDING MATERIALS ODM 218.3.100. (2017). Recommendations for the use of materials for the repair of concrete and reinforced concrete constructions of transport facilities.
3. Технологічна карта на ремонтно-відновлювальні роботи залізобетонних конструкцій в транспортному будівництві. Київ: ТОВ Мапеі Україна, 2019. 94с.
4. ДСТУ Б В.3.1_2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2017. 72 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ В МОСТОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

Швець І.С. ДМ-51-24

*Науковий керівник :к.т.н., доцент Синьковська О.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Зазначимо, що в сучасному світі штучні споруди з металевих гофрованих конструкції мають ряд переваг у порівнянні з аналогічними бетонними конструкціями. Металеві гофровані конструкції відносять до найбільш прогресивних видів шляхових штучних споруд, вони представляють собою багато листові конструкції замкнутого контуру, що збираються з окремих елементів (листів) заданого радіуса кривизни, які фіксуються болтами. Їх застосовують в якості водотоків під насипами залізниць та автомобільних доріг. Вони мають високі показники міцності, стійкості до агресивних середовищ, сейсмостійкості. Низька металоємність і відсутність експлуатаційних витрат надають переваги металевим гофрованим конструкціям перед залізобетонними та прогоновими мостами. В даний час гофровані металеві конструкції широко застосовують під час будівництва транспортних й промислових об'єктів [1,2].

При високому рівні проектування, а також під час виконання всіх технічних вимог під час будівництва, гофровані металеві конструкції забезпечують необхідний рівень надійності. У порівнянні з листовим матеріалом гофра володіє десятикратною жорсткістю. Фахівцями підтверджено, що металева гофрована труба характеризується надійністю навіть в сейсмічно активних регіонах [1].

Форма перетину, яку має металева гофрована металева труба, варіюється в залежності від конкретного призначення об'єкту, що будується: круглий профіль, арка, вертикальний еліпс, труба зниженою висоти і т.д. Згідно виданим сертифікатам гофровані конструкції мають термін служби до 107 років (з можливістю подальшого продовження строків) [1].

Завдяки своїм характеристикам металеві гофровані конструкції постійно розширюють області свого застосування при будівництві, ремонті та реконструкції транспортних, інженерних та промислових споруд. Серед основних об'єктів застосування: автодорожні та залізничні шляхопроводи; тунелі; пішохідні переходи; водопропускні труби.

Особливою привабливістю металевих гофрованих конструкцій є їх висока транспортабельність. Їх можна транспортувати будь-яким видом транспорту: водним, залізничним, повітряним, автомобільним. Елементи металевих гофрованих конструкцій зібрані в компактний транспортний пакет вагою 500 кг, металовироби поставляються в ящиках.

Технічні характеристики МГТ: марка сталі - 09Г2-4 ГОСТ 17066-94 – хладостійкість, можливе застосування при температурі нижче -40°C ; корисна довжина (п.д.) одного кільця по осі МГТ – 910 мм; захисне антикорозійне покриття – цинкове, нанесено гарячим способом, завтовшки ≥ 80 мкм; діаметри умовного проходу: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 м; товщина металу: 2,5; 3,0 мм; розмір гофра $130 \times 32,5$ мм; деталі кріплення: болт М16 і гайка М16 зі сферичними опорними поверхнями – оцинковані гальванічним способом, товщина покриття – 26-30 мкм; термін експлуатації, за даними Viascon [2] – 50 років.

Таким чином у порівнянні з залізобетоном це - великий вибір профілів конструкцій; зменшення трудовитрат; гнучкість, що дозволяє конструкції перерозподіляти напруження, що виникають в залежності від програми зовнішнього навантаження; міцність, яка забезпечується завдяки спільній роботі металевої гофрованої конструкції і ґрунту засипки; стійкість перед зовнішніми впливами; довговічність; простота і висока швидкість будівництва; зручність і економічність транспортування (металеві гофровані листи володіють малою вагою і складаються в пакети (палети), що значно економить місце і дозволяє перевозити їх будь-яким видом транспорту); економічність при експлуатації, витрати по утриманню таких конструкцій практично зведені до нуля; споруди надійні в будь-яких кліматичних умовах

(збірні металеві гофровані конструкції однаково добре працюють як в умовах арктичного холоду, так і в країнах з тропічної спекою); під замкнуті споруди з МГК не потрібно влаштовувати фундаменти; низька вартість споруди (застосування МГК дозволяє скоротити витрати в порівнянні з традиційно використовуваними на 15-40 відсотків).

Розглянемо застосування представленої конструкції на конкретному прикладі ділянки проєктування автомобільної дороги, що представляє собою існуючий мостовий перехід через широку балку з пологими бортами, який підлягає капітальному ремонту.

Робочим проєктом капітального ремонту було передбачено демонтаж існуючих конструкцій мостового переходу та влаштування штучної споруди у вигляді тривіркової водопропускної споруди із застосуванням металевих гофрованих конструкцій (МГК) отвором $3 \times (6,0 \times 2,52)$ м (рис. 1).

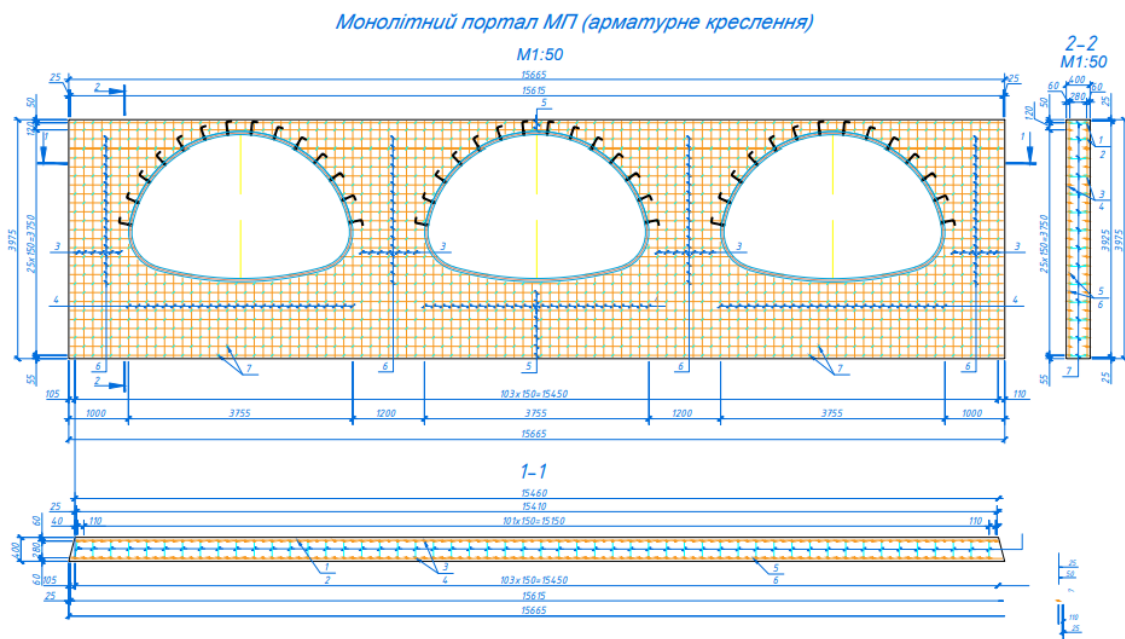


Рисунок 1 – Влаштування штучної споруди у вигляді тривіркової водопропускної споруди із застосуванням металевих гофрованих конструкцій отвором $3 \times (6,0 \times 2,52)$ м

Габарит проїзду прийнято для II технічної категорії з двома смугами руху 3,75 м та шириною узбіччя 3,75 м.

Металеві гофровані конструкції прийняті аркового перерізу з порталами на вході та виході (рис.1).

Споруда розрахована на пропуск повені з імовірністю перевищення 1% згідно [3]. Розрахункові витрати води під час весняних повеней та дощових паводків визначені за допомогою емпіричних регіональних формул Мокляка та Вишневського без врахування зарегульованості.

Майданчик будівництва представленої штучної споруди було розташовано у відносно рівнинній місцевості та дозволило облаштувати територію під монтажний майданчик, тимчасові будівлі і споруди, технологічні проїзди з незначними матеріальними витратами.

Зазначимо, що зазвичай будівництво металевих гофрованих труб об'єднує такі види робіт: - підготовка; - розбивка; - земляні роботи; - транспортні роботи; - влаштування основи; - монтажні роботи; - гідроізоляційні роботи; - укріпні роботи [4].

Після закінчення підготовчого періоду та робіт по повному демонтажу існуючої мостової споруди, з огляду на конструктивні особливості металевої гофрованої конструкції та проектні рішення основи споруди, будівництво моста виконується в такій технологічній послідовності:

- влаштування котловану під споруду;
- влаштування фундаментів споруди;
- монтаж збірних металевих конструкцій:

В залежності від вибраного способу монтажу труби на будівельний майданчик транспортують попередньо зібрані на полігоні секції труби або, як в нашому випадку, її елементи з заводу – виготовлювача [4].

Для елементів МГК слід застосовано листові хвилясті профілі з якісної конструкційної сталі. Основним елементом конструкції є оцинкований гофрований лист з гофром синусоїдальної форми зі сталей марки ВстЗсп5.

Монтаж труби виконують на спланованій основі (або поряд) чи на полігоні.

- монтаж гофрованих конструкцій труб (монтаж відбувається з попередньо укрупнених ділянок довжиною 10м);

Металеві гофровані елементи прийняті аркового перерізу. Довжина тривічкової труби МГК становить 19,89 м. відстань у просвіті між суміжними трубами становить 0,9м. Розміри аркового отвору труб: по ширині (прогін) – 6,0м, по висоті (стріла) – 2,52м. Нормативами на такі споруди дозволено зменшити довжину труби на підставі збільшення крутизни укосів насипу земляного полотна або встановлення підпірних стінок насипу [4].

Головним в технології влаштування гофрованої металевої труби є створення відповідної до проекту, цілісної споруди труба – ґрунтова призма засипки.

Основа під металеву гофровану трубу має чотири загальноприйнятих варіанти конструкцій: з влаштуванням верхньої частини подушки після укладання труби; з попереднім влаштуванням ложа труби; з відсипанням нульового шару і влаштуванням ложа; з заміною ґрунту.

Незалежно від вибраного варіанту необхідно забезпечити рівномірне і надійне спирання труби на ґрунт, який має коефіцієнт ущільнення 0,98 (0,95 – у виключних випадках).

Додатковий захист металевої гофрованої труби призначають на підставі інформації щодо агресивності води, ґрунтів основи та насипу земляного полотна. За необхідності додаткові захисні покриття наносять в заводських умовах або на будівельному майданчику.

- влаштування монолітних залізобетонних порталних стінок;
- пошарове відсипання засипки з ущільненням;
- влаштування захисного шару з геомембрани з подальшим відсипанням і ущільненням земляного полотна дороги над спорудою до проектних відміток;

Укоси насипу в зоні зрізаних порталів укріплені матрацами «Рено». Для укріплення укосів насипу перед спорудою на вході та виході

передбачено влаштування конструкції у вигляді підпірних стінок із застосуванням коробчастих габіонів.

Як свідчать літературні джерела металеві гофровані конструкції (МГК) були відомі ще з кінця XIX століття [5]. У США вперше МГК з'явилися у 1896 р. Спочатку будували труби невеликих отворів (до двох метрів), пізніше, в міру виготовлення потужнішого металевого профілю, стали зводити великі споруди: мости (типу арок), шляхопроводи, тунелі, потужні огорожі. Дослідивши довговічність, корозійну стійкість і надійність оцинкованих МГК, американці визнали їх придатними, як для суворих умов Канади та Аляски, так і для тропіків Африки, Азії та Південної Америки. В інших країнах гофровані труби знайшли широке застосування тільки в останні 50 р [5].

ЛІТЕРАТУРА

1. Антонюк С.І. Дослідження варіантів капітального ремонту мостового переходу км244+092 в Сумській області / кваліфікаційна робота магістра. ХНАДУ, Харків, 2020. 66с.
2. <http://viacon.ua/ctproduct/multiplate.html>
3. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. К.: Мін регіон буд. України, 2009. 73 с.
4. ВБН В.2.3 – 218 – 198: 2007. Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. К.: Державна служба автодоріг України (Укравтодор), 2007. 51 с.
5. Ковальчук В.В., Маркуль Р.В., Баль О.М., Мілянич А.Р. Дослідження міцності металевих гофрованих конструкцій залізничної колії. Східно-Європейський журнал провідних технологій. Прикладна механіка. Вип. 2/7 (86), 2017.

САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНІ БЕТОНИ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

Муравой М.А. ДМ-41-21

Науковий керівник: к.т.н., доцент Ігнатенко А.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Бетон на сьогоднішній день остається одним із самих розповсюджених будівельних матеріалів в світі. Міцність, довговічність, економічність, екологічна безпека, доступність сирцевих компонентів забезпечують бетону високу конкурентоздатність в будівельній галузі. В ряду різновидів бетонів особливе місце займають самоущільнюючі бетони (СУБ).

Необхідність реалізації в світовій практиці унікальних проєктів (протяжні підвісні мости в Японії та Китаї, комплексних великих гідротехнічних і транспортних споруд в Нідерландах, бурові платформи в Норвегії, висотні будівлі і споруди в різних країнах) зумовила підвищення вимог до бетонів і бетонних сумішей: застосування літих сумішей у великому обсязі, забезпечення стійкості до розшарування в процесі їх транспортування на великі відстані і формування, прискорений набір міцності в ранні строки твердіння.

В результаті проведених науково-дослідних робіт вченими Токійського університету в кінці 80-х років минулого століття був розроблений склад бетону, який був настільки рухомим, що не вимагав вібраційного ущільнення – самоущільнюваний бетон (СУБ). Створення самоущільнюваного бетону, перш за все, пов'язано з розробкою японськими вченими і впровадженням в практику нового покоління суперпластифікаторів на основі полі акрилів і полікарбоксилатів.

Під самоущільнюваними розуміють бетонні суміші, здатні укладатися в форму чи опалубку без вібрації, під впливом власної ваги, рівномірно розподіляється по усьому об'єму при збереженні однорідності навіть при наявності густо розташованої арматури, а також самостійно звільнятися від повітря, що в них міститься [1]. Особливостями таких сумішей є їх висока

легкоукладальність, що поєднує дві протилежні за своєю природою характеристики: низьке граничне напруження зсуву, що зумовлює високу текучість суміші, і підвищену в'язкість, яка забезпечує стабільність і зв'язність суміші.

Високоефективні поверхнево-активні речовини ПАР [2] – суперпластифікаторів нового покоління базуються здебільшого на стеричному відштовхуванні молекул ефірів полікарбоксилатів, адсорбованих на поверхні цементних часток.

Ці добавки за рахунок ефективного регулювання реологічних властивостей, плинності, в'язкості бетонної суміші значно знизили вміст води і витрати цементу. Технологічні властивості бетонної суміші зберігаються в часі, але адсорбція молекул ПАР знижує на ранніх стадіях твердіння бетону темп набору міцності. Особливістю складу СУБ є підвищення вмісту дисперсних мінеральних добавок: шлаку, вапняку, мікрокремнезему, метаклаоліну та зменшення вмісту крупного заповнювача.

Дозування добавок визначається експериментально в залежності від декількох факторів, в т.ч. типу, мінералогічного складу та тонини помелу цементу. Контроль впливу добавок на технологічні властивості самоущільнюючої бетонної суміші здійснюється спеціальними методами. СУБ отримав найбільш масштабне застосування у світі при виготовленні широкої гами бетонних виробів і конструкцій, що мають труднощі при організації ущільнення, густе армування чи складні архітектурні форми [2].

Згідно [3] СУБ застосовують під час таких видів робіт:

- для підсилення залізобетонних будівель і споруд, а також мостів;
- для залізобетонних конструкцій з якісною поверхнею (наприклад, фасадні поверхні прогонових будов мостів), на якій не потрібне додаткове оброблення;
- для будівництва високоміцних залізобетонних конструкцій із мінімальною загальною вагою (конструкції з армуванням попередньо напруженою арматурою);

- під час бетонування залізобетонних споруд великої висоти (наприклад, хмарочосів) або розташованих посеред водної перешкоди (наприклад, пілони підвісних мостів), коли процес ущільнення ускладнений, потребує значних технологічних засобів і небезпечний для персоналу;

- під час бетонування густоармованих конструкцій (наприклад, прогонові будови мостів), де рухливість товарного бетону не є достатньою для заповнення всього об'єму опалубки, що може призвести до появи дефектів і передчасної корозії арматури; - під час бетонування архітектурних залізобетонних конструкцій складної геометричної форми.

Одним з позитивних властивостей СУБ [4], є його здатність щільно з'єднуватися з арматурою, що дозволяє використовувати представлений матеріал у великих спорудах.

Ще однією важливою властивістю СУБ є знижена пружність. У порівнянні зі звичайним бетоном, самоущільнююча суміш має пружність на 15 відсотків нижче. Така різниця обумовлена тим, що до складу представленого бетону входять компоненти переважно дрібних фракцій, звичайно компоненти великих фракцій теж містяться, але в значно меншій кількості.

Основною властивістю СУБ є його міцність. Через невеликих коригувань в складі, а також додавання необхідних пластифікаторів, даний показник збільшується, завдяки чому у будівельників такий матеріал користується особливою пошаною.

Вчені [5] зазначають, що складність проєктування самоущільнювального бетону полягає у забезпеченні як високих технологічних властивостей бетонної суміші, так і високих експлуатаційних властивостей затверділого бетону. При цьому пріоритетною вимогою є покращені реологічні показники бетонної суміші – рухливість, в'язкість, сегрегація, нівелювання у густоармованих конструкціях, видалення захопленого повітря, що зумовлює багатокомпонентність складів самоущільнювальних бетонів з використанням хімічних та мінеральних

добавок, наповнювачів, поліфракційних заповнювачів. До того ж специфіка складів самоущільнювальних бетонів зумовлює певні особливості будівельно-технічних характеристик затверділого композиту. Так спеціалісти вважають, що за рахунок зміни макроструктури бетону (збільшення кількості цементного каменю та зменшення великого заповнювача) та впливу суперпластифікатора деформації усадження самоущільнювального бетону дещо збільшується, а початковий модуль пружності зменшується порівняно з показниками бетонів однакового класу, одержаних за традиційною технологією.

Склади самоущільнюючих бетонних сумішей в значній степені відрізняються від традиційно застосованих сумішей. Так [6], вміст вихідних інгредієнтів зростає в сторону збільшення долі в них дрібних, тонкодисперсних часток; об'єм, який займає гранітний щебінь не повинен перевищувати 50% сумарного об'єму бетонної суміші; об'ємна доля дрібного заповнювача повинна складати не менше 40%. Водоцементне відношення не повинно перевищувати 0,50. Максимальна розмір зерен кварцового піску не повинна перевищувати 0,125 мм. Крупний заповнювач використовується фракції від 5 до 20 мм.

Підсумовуючи вищесказане науковцями відмічається [6], що самоущільнюючі бетони володіють цілим рядом переваг в порівнянні з традиційно використовувемими бетонами. Але різноманітна сировинна база вимагає нових досліджень в області реології бетонних сумішей, а також інших фізико-механічних властивостей СУБ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Бордюженко О.М., Марчук В.В., Рубцова Ю.О. Бетони нового покоління: монографія. Рівне:НУВГП, 2021. 317с.
2. Бетони та будівельні розчини: навч. посіб. / О.В. Ушеров, Маршак, В.І. Гоц, О.В. Кабусь // Харків: ХНУБА, Київ: КНУБА, 2022. 93 с.

3. Бугаєвський С. О., Назаренко І. В. Застосування само ущільнювального бетону для будівництва та відновлення залізобетонних мостів. Вісник ХНАДУ, вип. 103, 2023. С.183-197.
4. <https://stroyfibra.com.ua/samoushilnuuchii-beton>
5. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgltclfindmkaj/https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/31bc6849-6005-418b-ac63-958e2238ba8d/content
6. Гаращенко Д.П. Дисперсно-армований самоущільнюючий бетон на механоактивованому портландцементі. дис.. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. Одеська державна академія будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2021. 159с.

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ГАБІОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Бездрабко В.Б. ДМЗ6т1-22

Науковий керівник: к.т.н., доцент Ігнатенко А.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Габіонні конструкції будівництві застосовуються понад 100 років [1]. Ще у 1894 році споруджено першу споруду з габіонів на ріці Рено в містечку Козаляціо де Рено, недалеко від м. Болоньї, мабуть від цього і пішла назва габіонні конструкції – «матраци Рено». Як зазначається в [1] основне призначення даних конструкцій перший час це укріплення берегів річок і водотоків. Сьогодні габіонні конструкції широко застосовують для влаштування водовідвідних, регуляційних та інших дорожньо-мостових споруд, а також укріплення укосів насипів, виїмок або природних схилів, у будівництві.

Габіон [2] – «об'ємні вироби із сітки дротової звивочної, які наповнені камінням із щільних гірських порід». А саме габіонна конструкція [2] – «конструкції різної форми із з'єднаних між собою габіонів, які виконують захисні, підсилюючі, підпірні й утримуючі функції».

Так згідно [2] розрізняють наступні габіонні конструкції:

- габіонна підпірна стіна – «равітаційна підпірна стіна, виготовлена із габіонів»;
- підпірно-захисні (захисні) споруди – «конструкції із габіонів, які сприймають навантаження тільки від власної ваги і служать для захисту ґрунтового масиву (насипу тощо) від ерозії»;
- підпірно-утримуючі (підпірні, утримуючі) споруди – «конструкції із габіонів, які сприймають навантаження від власної ваги, масиву ґрунту та зовнішнього постійного і (або) тимчасового навантаження і служать для забезпечення стійкості ґрунтового масиву (насипу тощо)»;

- система «Армогрунтова стіна» – «габійна підпірна стіна, зворотна засипка якої армована сітками дрововими звивочними, що з'єднані із габіонами»;

- система «Зелена стіна» – «утримуюча внутрішньостабілізована споруда із армованого ґрунту, з крутизною укосу від 60° до 70°. Роль внутрішніх стабілізуючих елементів виконують горизонтальні прошарки із сітки дрової звив очної».

Норми [2] регламентують «застосування габійних конструкцій при проєктуванні та влаштуванні захисних споруд укосів земляного полотна, конусів шляхопроводів та підпірних споруд на автомобільних дорогах». Конструкції габійних споруд на гірських автомобільних дорогах наведені у [3].

Згідно представлених нормативних документів [1,2] габійні конструкції та споруди мають повністю відповідати конструктивним особливостям та умовам роботи споруд сполучених з ними; обов'язково враховувати також властивості ґрунтів і особливо можливість використання місцевих кам'яних матеріалів, погодно-кліматичні і гідрологічні фактори; і відповідно забезпечувати стійкість споруди в цілому [2].

Застосування таких конструкцій є актуальним, у зв'язку з універсальністю конструктивних рішень із використання габіонів та відносної їх доступності і простоти технології збирання як габіонів, так і споруд із них.

Відмітимо, що сьогодні габійні конструкції широко застосовують (рис. 1) при будівництві чи реконструкції як автомобільних доріг так і інженерних спорудах на автомобільних дорогах України.

Габійні підпірні стінки влаштовують[1]:

- «при необхідності зменшення смуги відведення при будівництві»;
- «при реконструкції та капітальному ремонті з розширенням земляного полотна автомобільних доріг»;
- «при ремонті зсувів укосів та схилів рельєфу смуги відведення»;

- «при спорудженні насипів у гірській місцевості з метою забезпечення їх стійкості».

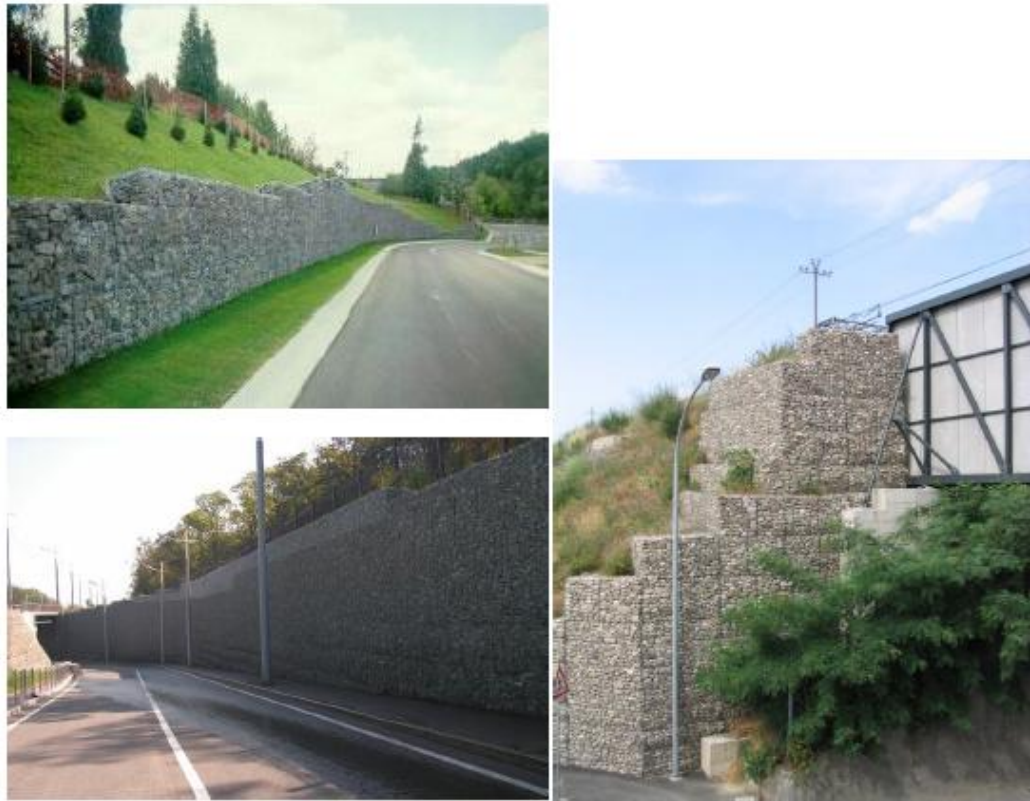


Рисунок 1 – Застосування габіонних конструкцій

Розглянемо приклад застосування габіонних конструкцій, так робочим проєктом капітального ремонту мостового переходу із застосуванням металевих гофрованих конструкцій в Сумській області було передбачено укріплення русла монолітним бетоном шаром 10см, по шару щебеню фр.20...40мм 12см. На вході та виході споруди влаштовується конструкції з коробчастих габіонів у вигляді відкрилків та укріплення укосів насипу із застосуванням матраців «Рено».

Дротяна сітка, що використовується для арматурно-сітчастих каркасів, виготовляється із сталевого дроту щільного оцинкування або дроту з покриттям GALFAN. У тому випадку, коли вони застосовуються в агресивному середовищі, дріт для їх виготовлення проходить процес оцинкування (або покриття GALFAN), а потім додатково покривається

оболонкою з ПВХ (полівінілхлорид). Покриття ПВХ захищає дрiт i забезпечує велику стiйкiсть до хiмiчних, механiчних i корозiйних пошкоджень.

Подвiйне кручення дротяної сiтки забезпечує цiлiснiсть, мiцнiсть i рiвномiрнiсть розподiлу навантажень, запобiгає розкручуванню у разi розриву сiтки. Для посилення дрiт кромek панелей має бiльший дiаметр, нiж основний дрiт сiтки.

Коробчастi габiони є об'ємними конструкцiями (рис. 2, а).

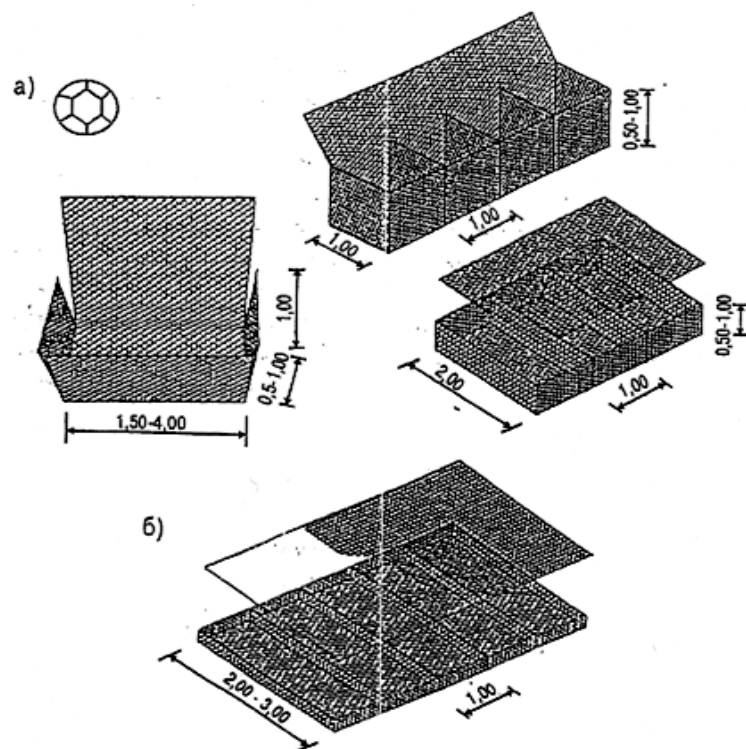


Рисунок 2 – Типи арматурно-сiтчастих каркасiв:

а – коробчастi (габiони); б – матрацно-тiюфiячнi (матраци Рено)

Матраци Рено є площинними конструкцiями малої висоти i великої площi поверхнi, роздiленi на секцiї за допомогою дiафрагм (рис. 2, б, рис. 3), встановлюваних всерединi баз матрацiв Рено через кожний метр по довжинi.

Заповнення каменем габiонiв, покращує фiзичнi властивостi ґрунту в мiсцi установки модулiв. Завдяки пористiй структурi лицьової гранi досягається висока проникнiсть споруд для води i повітря, створюються iдеальнi умови для появи на них рослинностi (рис. 3).



Рисунок 3 – Матраци Рено – площинні конструкції малої висоти і великої площі поверхні, розділені на секції за допомогою діафрагм

Таким чином при капітальному ремонті укосу насипу в зоні зрізаних порталів укріплені матрацами «Рено». Для укріплення укосів насипу перед спорудою на вході та виході передбачено влаштування конструкції у вигляді підпірних стінок із застосуванням коробчастих габіонів.

Укріплювальні роботи проводились у такій послідовності:

- 1) укріплення русла монолітним бетоном шаром 10 см, по шару щебеню 12 см (рис. 4);
- 2) улаштування відкосних стінок у вигляді конструкцій з коробчатих габіонів(рис. 5);
- 3) укріплення укосу насипу над трубою матрацами "Рено.



Рисунок 4 – Укріплення русла монолітним бетоном шаром 10 см



Рисунок 5 – Улаштування відкосних стінок у вигляді конструкцій з коробчатих габіонів

В зоні зрізаних порталів металевої гофрованої аркової конструкції кожен окремий матрац розправляється, укладається на рівній поверхні, встановлюються діафрагми і все обв'язується між собою оцинкованим дротом (рис.3), після чого перевіряється його цілісність. Укладені матраци Рено кріпляться до поверхні за допомогою дерев'яних кілочків або металевих анкерів, які встановлюються на відстані 1-2 метри один від одного. Конструкції скріплюються між собою дротом або скобами до заповнення каменем. Сітки заповнюються каменем вручну знизу-вгору, пошарово прокидаючись гранітним щебенем. Причому для заповнення використовується камінь фракції не менше 100 мм, але не більше ніж 2/3 від висоти матраца, а щебінь фракції 40x70мм. Осередки заповнюються до рівня, на 1-2 см перевищує висоту матраца. В ході експлуатації камінь через деякий час ущільнився і осяде. Заповнений каменем матрац Рено, закривається кришкою яка прив'язується дротом до самого матрацу (рис.3).

ЛІТЕРАТУРА

1. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/91/018-026.pdf
2. ГБН В.2.3-37641918-558:2016 Автомобільні дороги. Габіонні конструкції. Проектування та будівництво: [Чинні від 2016-07-01]. К. : Міністерство інфраструктури України, 2016. 50 с.
3. Альбом. Конструкції річкових укріпних споруд на гірських автомобільних дорогах України : 89–2000.РУС. Івано-Франківськ: Державна служба автомобільних доріг України, 2002. 149 с.

ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РЕМОНТУ БЕТОННИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Семенюк Д. ДМ-51-24

Науковий керівник :к.т.н., доцент Ігнатенко А.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

При виконанні ремонтних робіт завжди вибір необхідних матеріалів для виробництва робіт базується на результатах поетапного багатофакторного аналізу. В ході розробки технічних рішень щодо ремонту орієнтуються на сучасні матеріали і технології, що забезпечують за умови правильного вибору подовження терміну служби конструкцій від 15–20 до 30–40 років. При виборі ремонтного матеріалу підлягають врахуванню [1]:

- ступінь відповідальності елементів конструкції, включаючи залежність несучої здатності споруди від їх цілісності;
- глибина руйнувань;
- умови експлуатації (температурний режим, вологість і агресивність середовища, динамічні дії);
- естетичні вимоги;
- положення і доступність конструкції;
- обсяг виконання робіт.

На вибір матеріалів може також вплинути вид проведеного ремонту [1,3]: конструкційний або не конструкційний, при яких можливо виконання таких робіт, як:

- усунення дефектів і лікування тріщин, виявлених в ході зведення об'єктів;
- косметичний ремонт експлуатованих бетонних і залізобетонних конструкцій;
- поточний ремонт конструкцій, що не вимагає відновлення їх несучої здатності;
- ремонт конструкцій з відновленням їх несучої здатності;

– ремонт конструкцій із збільшенням їх несучої здатності по відношенню до несучої здатності, закладеної в початковому проекті споруди.

В Україні для проведення ремонтних робіт зазвичай використовують матеріали, що випускаються спільними підприємствами, або ввезеними із-за кордону, і спектр цих матеріалів дуже стрімко збільшується, що в свою чергу і підтверджує актуальність даного напрямку. У зв'язку з цим при використанні матеріалів рекомендується враховувати вимоги Європейського стандарту EN 1504 [2].

При виборі матеріалів необхідно визначити умови експлуатації об'єкта з оцінкою зовнішніх факторів, включно погодні умови, хімічне середовище і тимчасові навантаження, що дозволить визначити вимоги до фізико-механічних характеристик матеріалів [1,3]. На вибір матеріалів можуть вплинути погодні умови, доступ до місця нанесення матеріалу, тимчасові рамки виконання робіт та інші виробничі умови.

Для виконання ремонтних робіт виконується обстеження і встановлення причин і ступеню руйнування. При виборі матеріалів для ремонту, передбачається створення комплексної ремонтної системи, основними елементами якої є існуючий субстрат (матеріал існуючої конструкції), контактна поверхня і ремонтний матеріал (рис. 1).

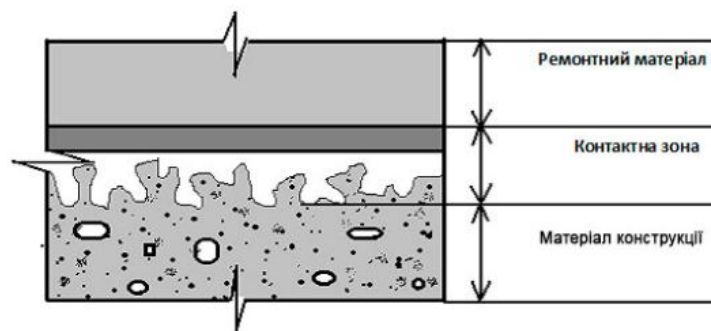


Рисунок 1 – Модель ремонтної системи [1]

Для ремонту вибирається матеріал, що відповідає вимогам по нанесенню і забезпеченню характеристик по міцності і довговічності, але і

забезпечуватиме сумісність з субстратом, що гарантує довговічності ремонту.

Найважливіша вимога до матеріалу – поведінка його різновимірних характеристик щодо розмірних характеристик субстрату. Рішення щодо вибору ремонтних матеріалів приймається тільки після того, як будуть визначені характеристики матеріалів, які найкращим чином відповідають реалізації проєктного рішення.

Для забезпечення конструкційної сумісності повинні забезпечуватись наступні загальні вимоги до матеріалів для ремонту окремих ділянок [1]:

- міцність при стисканні, вигині і розтягу ремонтного матеріалу повинна перевищувати відповідні характеристики бетону основи;
- модулі пружності і коефіцієнт термічного розширення ремонтного матеріалу і бетону основи повинні бути рівні.

Проектування ремонту з використанням матеріалів, що мають істотні розбіжності в таких характеристиках, як модуль пружності і коефіцієнт термічного розширення може привести до небажаних наслідків. Результати ремонту будуть залежати від наступних факторів [1]:

- величини і стану поля напружень (розтягу, стиску, згину або зрізу);
- робочого стану конструкції на час проведення ремонтних робіт;
- повзучості ремонтного матеріалу;
- міцності зчеплення на відрив і зріз між ремонтним матеріалом і бетоном основи;
- температури, при якій проводилися ремонтні роботи і наступний діапазон температур протягом терміну служби.

Важливим фактором, що впливає на якість ремонту [1], є здатність ремонтної системи перешкоджати подальшому розвитку корозії арматури, як у межах відремонтованої ділянки, так і на прилеглих ділянках залізобетону.

Видалення бетону із зони кородуючої арматури і його заміна різними видами ремонтних матеріалів може по різному вплинути на наступний розвиток корозії у відремонтованих і навколишніх ділянках.

В випадку великого розходження в проникності або вмісту хлоридів між ремонтною ділянкою і бетоном, корозія буде сконцентрована в обмеженій зоні – швидкість може збільшитись, що приведе до передчасного руйнування арматури в зоні ремонту або прилеглому бетону. Таки чином, при виборі матеріалів для ремонту, необхідно враховувати проникність ремонтного матеріалу.

Відмітимо, ще раз, що на сьогодні велика кількість різноманітних високоякісних матеріалів для ремонту бетонних та залізобетонних поверхонь. І дійсно іноді досить важко визначитись, який саме матеріал застосовувати.

В першу чергу необхідно ретельно вивчити дані про властивості ремонтних матеріалів, які можна отримати з наступних джерел:

- інструкції та рекомендації по ремонту залізобетонних конструкцій;
- оціночних свідоцтв;
- контрактів і контактів постачальників;
- результатів випробувань;
- сайтів офіціальних представників;
- технологічних карт і т.д.

Дані виробника (постачальника) за показниками міцності на стискання, міцності на вигин, міцності на розтягнення і міцності зчеплення при зсуві під кутом часто представлені в інформаційних листах на матеріал від постачальника. Інші властивості матеріалу, які також мають свою значимість, такі як усадка, при твердінні, модуль пружності, міцність зчеплення з субстратом, повзучість, проникність і водо-проникність можуть бути не вказані і, при необхідності, повинні визначатися організацією, яка здійснює ремонт.

При виборі матеріалів не слід керуватися загальним описом матеріалів, а саме такими характеристиками, як сумісний, безусадковий, розширюючий і так далі, якщо такі твердження не підтверджуються даними, отриманими на

підставі методів випробувань, згідно відповідних діючих нормативних документів.

Всі звичайні цементні суміші в процесі твердіння в тій чи іншій мірі піддаються усадці. Якщо зменшити кількість води замішування, щоб зменшити усадку, то суміш стає жорсткою і важкою для укладання і ущільнення і, як наслідок не може заповнити повністю ремонтвану порожнину, якщо ж збільшити кількість води замішування, підвищиться плинність суміші, що дозволить заповнити ремонтвану порожнину, то значно збільшується усадка, а фізико-механічні властивості такого бетону (міцність, водонепроникність, морозостійкість та довговічність) знизяться через високу пористість бетону.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вибір матеріалів для ремонту та відновлення бетонних та залізобетонних конструкцій транспортних споруд з урахуванням критерію сумісності [Текст]: монографія / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, О. В. Громова; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2015. 195 с.
2. <https://www.eurolab.net/uk/testler/malzeme-testleri/en-1504-beton-yapilarin-korunmasi-ve-onarimi-icin-urunler-ve-sistemler-tanimlar-gereksinimler-kalite-kontrol-ve-uygunlugun-degerlendirilmesi/>
3. Технологічна карта на ремонтно-відновлювальні роботи залізобетонних конструкцій в транспортному будівництві. Київ:ТОВ Мапеі Україна, 2019. 94с.

МОСТИ МОГО МІСТА. ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Клименко В. О. ДМ-51-24

Науковий керівник: к.т.н., доцент Безбабічева О.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Харків — одне з найбільших міст України, з розвиненою транспортною інфраструктурою, частиною якої є мости. Вони забезпечують зручне з'єднання районів міста, перетинаючи річки, залізничні колії та інші транспортні магістралі. У Харкові можна виділити дві основні річки: Лопань та Харків, а також річки Уди та Немишля. Через ці річки та в інших частинах міста в різні роки побудовані і зараз експлуатуються багато різних за конструкціями та віком мостових споруд. Серед них споруди під автомобільний та пішохідний рух, залізничні, пішохідні, трубопровідні, віло-пішохідні та мости з трамвайним рухом. Наше місто має також Метроміст: єдиний міст Харківського метрополітену, розташований між станціями «Київська» та «Академіка Барабашова». Цю наземну споруду ділянки харківського метрополітену було відкрито у 1984 р. як частину першої ділянки Салтівської лінії (рис.1).



Рисунок1 – Харківський Метромост

Харківський метромост - перший вкритий міст подібного типу в Україні, і за довжиною (988 м) він більший, ніж Київський Метромост (685 м). Міст в Харкові був закритий зверху для захисту його від перепадів температури та від атмосферних впливів, а також для зменшення шуму для оточуючого простору [1]. Цікавим є факт, що міст розташований на достатньо високих опорах (рис.2), так як на момент будівництва у 1982р. були плани розширити р. Харків та зробити її судноспавною для малих суден.



Рисунок 2 – Будівництво Метромосту (1982-1984) (джерело-
https://api.gromada.group/img/news/09_11_20/5fa95c38528ad.jpg)

Щодо точного переліку всіх споруд, то сьогодні, на жаль, повного офіційного списку у відкритих джерелах немає. Згідно з рішенням Харківської міської ради від 22 червня 2012 року, у місті було офіційно затверджено найменування для 58 мостових споруд. Однак цей перелік не точний, і загальна кількість мостів у Харкові є більшою за 60.

Серед цих мостів є мости в центрі міста, що будувались на дерев'яних палях ще на початку 19 століття (Лопанській, Нетеченській, Купецький). Прогонові будови Купецького та Нетеченського мостів побудовані

приблизно у 1909-1911р як нерозрізні монолітні з армуванням окремими стержнями, що було у світовому мостобудуванні передовим на той час рішенням. Хоча під час другої світової війни всі мости Харкова без виключення, зазнали руйнувань (рис.3), після війни більшість з них були відновленими.



Рисунок 3 – Зруйнований Лопанський міст

На рис.4 показано фотографію введення в експлуатацію Нетеченського мосту у 1911р, а на рис.5 його вигляд в наш час (фото 2013р).



Рисунок 4 – Відкриття для руху Рибного (Нетеченського) мосту у 1911р.



Рисунок 5 – Нетеченський (Рибний) міст в 2013р

Нетеченський міст був реконструйованим в 2000 році, але з будівельними помилками. Наприклад, водовідвідні трубки на новому мостовому полотні були поставлені не в проектне положення у тротуарів, а наближеними до осі проїзду. Також з-за перевищення товщини баласту та додаткової плити на мосту, трубки вийшли короткими і балки прогонової будови знов почали інтенсивно кородувати та руйнуватися (рис.6)



Рисунок 6 – Нетеченський міст в 2011р: дефект реконструкції у вигляді порушення проєктних вимог з водовідводу та з товщини плити на мосту

У 2008р на кафедрі мостів ХНАДУ була розроблена Концепція збереження та розвитку мостів Харкова до 2012р. Протягом багатьох років кафедрою виконувались випробування мостів, обстеження та надання практичних рекомендацій з утримання споруд. В роботі [2] пропонувалось удосконалення управління системою експлуатації мостів, організація контрольних заходів за виконанням робіт та наукового супроводу основних етапів.

Проте, з кожним роком проблема експлуатації мостів у Харкові стає все актуальнішою. Мости старіють, вони мають різний вік та велику кількість дефектів. По ним рухається комбінований транспорт, зокрема важкі фури. На спорудах частіше виникають аварійні ситуації. Наприклад, Пісочинський шляхопровід-падіння головної балки прогону після проїзду фури; Балашовський шляхопровід - схід трамваїв внаслідок нерівностей, тощо). Роботи з реконструкції мостового полотна на деяких спорудах не є досконалими, про що свідчать ділянки з протіканням води скрізь конструкцію оновленого дорожнього одягу (рис. 7).



Рисунок 7 – Протікання води через конструкцію мосту продовжується і після реконструкції мостового полотна (Комплекс споруд на проспекті Льва Ландау)

Проблеми експлуатації є також і індивідуальними. Так, не зрозуміло, як відносно новий пішохідний міст на Стрілці, «міст закоханих», який був побудований у 2010 р (рис.8) вже опинився у незадовільному стані (рис.9). У вересні 2024 року було оголошено про необхідність ремонту мосту через зношеність металевих елементів та настилу. З 1 жовтня 2024 року міст закрили для проведення ремонтних робіт, які включали видалення іржі, укріплення опор, фарбування та заміну дерев'яних дошок. Вказувалось, що «велика кількість замків на мосту суттєво прогинала троси підвісної конструкції й прискорювала її руйнацію». За даними торгів означені роботи вартістю 5,28 млн грн. з поточного ремонту металевих елементів цього пішохідного мосту через річку Харків.



Рисунок 8 –Процес зведення пішохідного мосту (2010 р.)



Рисунок 9 – Дефекти мосту (2023 р.)

Висновки :

- Мости Харкова, монолітні та збірні, залізобетонні та металеві, мають історичну цінність, конструктивну унікальність і потребують нагляду та своєчасних експлуатаційних заходів.
- Фізичний знос і невідповідність сучасним вимогам безпеки та експлуатації становлять загрозу спорудам і споживачам.
- Більшість мостів Харкова мають технічний стан, що вимагає негайного втручання та невідкладних робіт.
- Для уникнення подальшої деградації потрібне належне фінансування, своєчасні обстеження та комплекс сучасних технологій з відновлення конструкцій.
- Виконання робіт з реконструкції, капітальних та поточних ремонтів повинно контролюватись з точки зору виконання вимог проектів та якості робіт.

ЛІТЕРАТУРА

4. Єдиний критий метроміст в Україні– восьме чудо Харкова/Дар'я Левченко.
(Вилучено з сайту: <https://gromada.group/news/statti/4300-yedinij-kritij-metromist-v-ukrayini-vosme-chudo-harkova>)
5. Більченко, А. В., Кіслов О. Г. Проблеми системи управління мостовими спорудами. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2020, вип. 90. С. 103–108.
(<https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/3066>)
6. Міст закоханих у сквері «Стрілка» в Харкові закривають на ремонт з 1 жовтня/Вікторія Яковенко (Вилучено з сайту <https://www.objectiv.tv/uk/objectively/2024/09/26/mist-zakohanih-u-skveri-strilka-v-harkovi-zakrivayut-na-remont-z-1-zhovtnya/>)

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЕКСТРАДОЗНИХ МОСТІВ

Барабаш К.О. ДМ-26т1-23

Науковий керівник: асистент Вербицький К.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Поняття та особливості екстрадозних мостів.

Екстрадозний міст – це гібридна конструкція, яка поєднує риси балкового моста та вантового моста. Основні особливості екстрадозного моста:

- Пілони значно нижчі, ніж у традиційних вантових мостів $1/8$ – $1/10$ від прольоту.
- Вантові канати підтримують міст, але працюють не так інтенсивно, як у класичних вантових конструкціях.
- Балка жорсткості є масивнішою, ніж у вантових мостах, що зменшує потребу в високих пілонах.
- Довжини прольоту 100–200 м при 300 м і більше він менш ефективний.

Така конструкція дозволяє використовувати міст там, де неможливо побудувати традиційний вантовий міст через обмеження висоти.

Згадка про екстрадозні мости. Першим застосуванням екстрадозового напруження була пропозиція Жака Матівата для таких французьких мостів як Аррет-Дарре, Мірабо та Жуанвіль з виготовленими секціями коробчатих балок, розробленою у 1982-1983 роках. Проте жоден із них не був збудований як екстрадозний міст.

Термін екстрадозні післянапружені канати вперше з'явився у статті Жака Матива, опублікована 2–4 вересня 1987 року. До цього часу в США та Франції активно розвивалася зовнішня система післянапруження, де післянапружені канати не вбудовувалися у бетон, а розташовувалися всередині коробчастого прогону. Жак Матів запропонував розташувати консольні канати зовні прогону, що зробило їх заміними.

Згодом з'явився сучасний термін екстрадозний міст. Пізніше було встановлено, що дизайн екстрадозового моста значно економить 30% матеріалу, у порівнянні з традиційними.

На сьогодні існує багато прикладів екстрадозних мостів (рис. 1-4).



Рисунок 1 – Міст Понте дос Сокоррідос, побудований в 1993 році в Камара-де-Лобуш. Висота мосту 100 м, довжиною прольоту 106 м.



Рисунок 2 – Міст П'єр-Пфімлін, побудований в наприкінці 1990-х і на початку 2000-х років, довжиною 957 м, з головним прольотом 205 м. З'єднує Францію та Німеччину через річку Рейн.



Рисунок 3 – Міст Одавара Блувей, побудований в Японії у 1994 році довжиною прольоту 122 м.



Рисунок 4 – Міст Пух, побудований в Словенії розроблений у 2005 році відкритий у травні 2007 р. Довжиною 430 м і шириною 18,7 м.

Розвиток екстрадозних мостів. Після успішної реалізації перших проєктів екстрадозні мости швидко набули популярності:

- Франція стала однією з лідерів у будівництві таких мостів. Одним із найвідоміших став міст Мійо.
- Швейцарія та Іспанія активно розвивали цю технологію у 2000-х роках.

- Китай та Південна Корея реалізували кілька масштабних проєктів, застосовуючи екстрадозну технологію для економічних мостових конструкцій.

Сьогодні екстрадозні мости розвиваються завдяки вдосконаленню матеріалів і розрахункових методів. Вони застосовуються там, де:

- Потрібно оптимізувати витрати між класичним балковим і вантовим мостом.
- Є обмеження по висоті пілонів.
- Необхідно забезпечити довговічність із мінімальним технічним обслуговуванням.

Висновки. Екстрадозні мости є результатом еволюції мостобудування, що поєднує переваги балкових і вантових мостів. Вони дозволяють будувати економічні та надійні конструкції для середніх і великих прольотів.

ЛІТЕРАТУРА

1. A. Kasuga, “Extradosed Bridges,” in Bridge Engineering Handbook. Superstructure Design, Boca Raton, CRC Press, 2014, p. 437–462.
2. Mike Schlaich, “Extradosed Bridges”. Zurich:IABSE, 2019, p 148.
3. Drilon Rraci, Milan Kuhta, “The Design of an Extradosed Bridge”, UBT International Conference on Civil Engineering, Infrastructure and Environment, Oct 28th-Oct 30th, 2016

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТЕМПЕРАТУРНО-НЕРОЗРІЗНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ В УКРАЇНІ

*Волков І.М. , Клименко Є.О. ДМ-26т1-23
Науковий керівник: асистент Вербицький К.І.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Температурно-нерозрізні прогонові будови – це конструкції мостів, у яких відсутні традиційні температурні шви, що дозволяє компенсувати температурні деформації за рахунок напружень у матеріалах. Вони є важливим елементом транспортної інфраструктури, що забезпечують надійність мостових переходів, зменшення експлуатаційних витрат та подовження строку служби мостових споруд. В Україні розвиток таких конструкцій має багату історію, яка пов'язана з удосконаленням будівельних технологій та матеріалів.

Довоєнний період (до 1941 року). У першій половині ХХ століття більшість мостів в Україні будувалися за класичною схематикою з розрізними прогонами. Температурні деформації компенсувалися за допомогою спеціальних деформаційних швів, що вимагало додаткових витрат на утримання. Прикладами мостів цього періоду є:

- Дарницький залізничний міст (Київ, 1870-ті роки);
- Амурський міст через Дніпро в Дніпрі (1912 р.);
- Міст Преображенського в Запоріжжі (1929-1932 рр.), що був одним із перших масштабних залізобетонних мостів того часу.

Ці споруди мали сегментовану конструкцію, що вимагала регулярного обслуговування через вплив температурних коливань. Окрім того, мостові конструкції часто будувалися з чавуну та сталі, що мало свої обмеження в плані міцності та довговічності.

Повоєнне відновлення та перші експерименти (1945-1970 роки).

Після Другої світової війни в Україні почалося активне відновлення мостів, багато з яких були зруйновані. У цей період з'являються перші

спроби застосування температурно-нерозрізних схем, зокрема у залізобетонних конструкціях.

Одним із перших таких мостів став Патона у Києві, відкритий у 1953 році. Це був перший суцільнозварний міст у світі, який мав низку інноваційних рішень, зокрема мінімізацію температурних швів завдяки використанню зварних стиків. Також у цей період активно використовувалися металеві та залізобетонні конструкції з удосконаленими методами попереднього напруження бетону. Серед інших знакових об'єктів цього періоду можна виділити міст Метро в Києві (1965 р.), який впровадив новітні на той час інженерні рішення.

Також слід відзначити мости на трасах Київ – Житомир і Київ – Харків, де почали впроваджуватись залізобетонні нерозрізні балки з попереднім напруженням.

Масове впровадження технологій (1970-1990 роки). У 70-80-х роках ХХ століття температурно-нерозрізні прогонові будови починають активно впроваджуватися в Україні. Це було пов'язано з покращенням якості будівельних матеріалів, застосуванням нових методів проектування та удосконаленням технологій монтажу.

Одним із ключових проектів цього періоду став Південний міст у Києві (відкритий у 1990 році), який мав унікальну конструкцію з використанням перенапруженого залізобетону та значного зменшення деформаційних швів. Це сучасна конструкція з багатосмуговим рухом і метрополітеном. Також важливими прикладами є:

- Крюківський міст у Кременчузі (1989 р.) – комбінований залізнично-автомобільний міст
- Мости на автомагістралях Ужгород – Львів, Одеса – Київ з довгими нерозрізними прогоновими спорудами з попередньо напруженого бетону.

У цей період інженери почали використовувати більш довговічні матеріали, такі як високоякісний бетон і сучасні сталі з покращеними антикорозійними властивостями. Активно використовувалися нові типи

опор, багатокамерні залізобетонні балки, прогресивні способи монтажу секцій ковзанням і насуванням. Також активно розвивалися технології автоматизованого проектування мостів.

Незалежна Україна: новітні розробки та євроінтеграція (1991 – сьогодні). Після здобуття незалежності Україна почала поступово переймати європейські стандарти будівництва. Сучасні технології дозволяють створювати більш довговічні та економічно вигідні мостові конструкції. Зокрема, активно використовуються безшовні покриття та новітні методи попереднього напруження бетону. Серед сучасних прикладів:

- Подільсько-Воскресенський міст у Києві (будівництво з 1993 р., активна фаза – з 2017 р.) – один із найбільших аркових мостів Європи з довжиною понад 7 км;
- Автомобільний міст через Південний Буг у Миколаєві (реконструкція 2000-х рр.);
- Мости через Затоку (Одеська область) з конструкціями без деформаційних швів;
- Модернізація мостів у Львові, Харкові та на південному обході Дніпра з адаптацією до стандартів ЄС.

Висновки. Розвиток температурно-нерозрізних прогонових будов в Україні пройшов декілька етапів, починаючи від перших експериментів до масового впровадження сучасних інженерних рішень. На сьогодні застосування таких конструкцій значно підвищує ефективність транспортної інфраструктури, сприяє економії ресурсів та покращує безпеку руху. Подальший розвиток цієї галузі пов'язаний із впровадженням передових технологій та адаптацією до світових стандартів мостобудування.

Важливим завданням на майбутнє є впровадження екологічно чистих технологій у мостобудуванні, зокрема використання новітніх матеріалів, що зменшують викиди вуглекислого газу та збільшують термін служби конструкцій. Також перспективним напрямком є розвиток автоматизованих

систем контролю за станом мостів, що дозволить оперативно реагувати на потенційні загрози та запобігати аварійним ситуаціям.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бобров Ю.М., Книш І.І. "Мости України: історія і сучасність". Київ: ДерждорНДІ, 2010.
2. Тітов В.Л. "Конструкції залізобетонних мостів". Харків: ХНАМГ, 2007.
3. Єврокоди: ДСТУ-Н Б EN 1991–1999 – Національні додатки до європейських норм проектування мостів.
4. Довідник з мостобудування / За ред. М.К. Кудряшова. – Київ: Основа, 2015.
5. Онлайн-ресурс: https://uk.wikipedia.org/wiki/Міст_Патона
6. Офіційний сайт КМДА: <https://kyivcity.gov.ua>
7. Містобудівельна компанія "Мостобуд" – <https://mostobud.com.ua>

ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА МІЦНІСТЬ

Закривидорога В. В. ДМ-16т1-24

Науковий керівник: к.т.н., доцент Волох В.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Раціональний вибір матеріалів у процесі проектування й виготовлення залежить від їхніх властивостей і функціонального призначення. Властивості матеріалів — це сукупність характеристик, які всебічно описують їх. Ці показники здебільшого визначаються хімічним складом, атомно-кристалічною структурою, фазово-структурними особливостями та іншими параметрами. Метали й сплави класифікують за чотирма основними групами:

- Фізичні властивості (теплові, електричні, об'ємні тощо);
- Хімічні властивості (хімічна активність, здатність до взаємодії з іншими речовинами, стійкість до окислення тощо);
- Механічні властивості (опір руйнуванню та деформації під дією зовнішніх навантажень);
- Технологічні властивості (обробка в гарячому або холодному стані, зварюваність, оброблюваність різанням тощо).

Сукупність властивостей матеріалів дозволяє розрізняти їх або об'єднувати з іншими речовинами в групи за певними характеристиками.

Методи, обладнання для випробувань матеріалів на міцність визначаються розмірами, місцем розташування, складністю конструкції й економічною доцільністю. Випробування умовно ділять на два типи: руйнівні й неруйнівний контроль. Здебільше неруйнівні методи є непрямими методами міцності.

Методики неруйнівного контролю адаптують до специфіки конструкцій і матеріалів, з яких вони виготовлені. Можливе комбінування неруйнівного контролю з методами часткового руйнування конструкції, з подальшим усуненням дефектів після тестування. Неруйнівні методики

проводяться на основі вимог ДСТУ, ТУ чи інших нормативних документів, розроблених для окремих видів конструкцій. Найбільш поширеними методами неруйнівного контролю є:

- візуально-оптичний та вимірювальний контроль;
- капілярний контроль;
- магнітопорошковий контроль;
- радіографічний контроль;
- ультразвуковий контроль;
- механічні випробування.

Візуально-оптичний і вимірювальний контроль є невід’ємною частиною процесу створення, монтажу та експлуатації металоконструкцій, залізобетонних і бетонних споруд, фасонних елементів і блоків трубопроводів на об’єктах різного призначення. Ці види контролю проводяться на всіх етапах — від виготовлення до використання.



Рисунок 1- Вимірювальний прилад типу швидкий контакт.

Візуально-вимірювальний контроль — це основний метод неруйнівного контролю, який завжди проводять перед використанням інших методів перевірки. Він відіграє важливу роль на всіх етапах виробництва, будівництва чи складання об’єктів. Для вимірювального контролю використовують механічні та оптичні прилади, як універсальні, так і спеціальні (рис. 1). Огляд на проміжних етапах дозволяє виявляти дефекти, усунення яких на завершеному об’єкті може потребувати значного часу.

Контроль здійснюється у кілька етапів:

- Вхідний контроль матеріалів, деталей, напівфабрикатів і заготовок для перевірки їх відповідності вимогам проєктної та технологічної документації, а також нормативних актів щодо геометричних розмірів і якості поверхні.

- Операційний контроль підготовки й складання деталей для перевірки відповідності їх форми, розмірів та взаємного розташування у складальних вузлах, а також характеристик виконання зварних з'єднань.

- Приймальний контроль готових виробів (у тому числі після термічної обробки) для підтвердження відповідності форми, розмірів і поверхневого стану, включно із зварними з'єднаннями.

- Контроль усунення дефектів основного матеріалу й з'єднань, виявлених іншими методами неруйнівного контролю, для перевірки повноти їх усунення та відповідності конструкції вимогам документації.

Капілярний контроль (або кольорова дефектоскопія) є одним з найефективніших методів для виявлення поверхневих дефектів: тріщин, пор, раковин, непроварів, свищів тощо. Цей вид контролю не потребує демонтажу конструкції, виготовлення зразків чи зупинки експлуатації об'єкта.

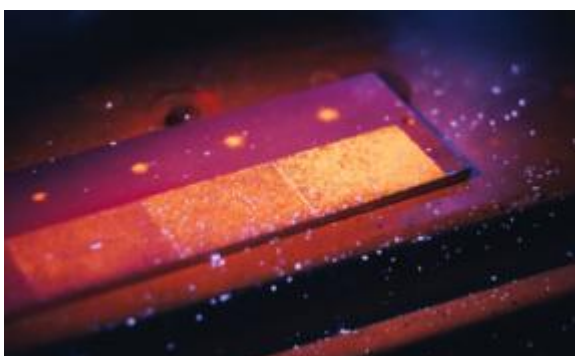


Рисунок 2 - Капілярний контроль (кольорова дефектоскопія)

Капілярний контроль застосовується для перевірки зварних з'єднань і об'єктів будь-яких форм та розмірів, виготовлених із чорних і кольорових металів, їхніх сплавів, скла, кераміки, пластмас й інших матеріалів, які не є

феромагнітними. До основних переваг капілярного контролю належать висока точність результатів, чутливість (виявлення дефектів розміром від 1 мкм), можливість проведення при температурах нижче 10°C або вище 50°C, а також швидке визначення придатності виробу. Використання кольорової дефектоскопії дозволяє не лише виявити дефекти, але й отримати інформацію про їхню форму, розміри й орієнтацію, що дає змогу аналізувати причини появи тріщин, дефектів непровару або інших проблем.

Магнітопорошковий контроль призначений для аналізу металів і зварних з'єднань, забезпечуючи виявлення найдрібніших поверхневих і підповерхневих дефектів. Його використовують як на етапі будівництва, так і під час експлуатації, для визначення несучільностей у феромагнітних матеріалах. Принцип методу заснований на фіксації магнітного поля розсіювання, яке утворюється над дефектами, використовуючи феромагнітний порошок або магнітну суспензію як індикатор. Виріб намагнічується, і магнітний потік проходить через бездефектні ділянки без змін. Якщо в зоні дії потоку знаходяться ділянки з низькою магнітною проникністю, наприклад тріщини чи неметалічні включення, формується магнітне поле, яке притягує найбільшу кількість частинок порошку до пошкодженої області.

Етапи магнітопорошкового контролю включають: підготовку поверхні до перевірки, намагнічування, нанесення дефектоскопічного матеріалу, огляд і реєстрацію індикаторних малюнків, а також розмагнічування після дослідження.

Радіографічний контроль, включаючи рентгенографію та томографію, використовується для перевірки зварних з'єднань трубопроводів із застосуванням рентгенівських апаратів або джерел радіоактивного випромінювання. Для просвічування застосовуються апарати безперервної дії, імпульсні рентгенівські установки, гамма-дефектоскопи, а також внутрішньотрубні самохідні пристрої.



Рисунок 3 - Магнітопорошковий метод дефектоскопії

Серед основних переваг цього методу: можливість контролю важкодоступних зон, недосяжних для інших методів, надзвичайна точність визначення дефектів, висока швидкість і чутливість виконання перевірок. Радіографічний метод ефективно виявляє непровари, усадочні раковини, тріщини, а також включення вольфраму, оксидів і шлаків у зварних швах.



Рисунок 4 - Портативний рентгенівський апарат.

Ультразвуковий контроль — один із найрозповсюдженіших методів дефектоскопії. Цей метод дозволяє виявляти дрібні дефекти, які знаходяться на великій глибині у металевих матеріалах і зварних з'єднаннях. Крім того, ультразвуковий контроль використовується для вимірювання товщини виробів.



а



б

Рисунок 5 – а) ультразвуковий контроль зварювального шва;
б) ультразвукова товщинометрія.

Ультразвуковий контроль належить до неруйнівних методів перевірки, що виключає необхідність демонтажу, виготовлення зразків або зупинки експлуатації об'єкта. Цей метод дозволяє виявляти дефекти зварних швів (наприклад, непровари, тріщини, порожнини), оцінювати товщину стінок, а також аналізувати властивості матеріалів.

Ультразвуковий контроль застосовується на об'єктах підвищеної небезпеки, таких як авіаційні двигуни, трубопроводи, мости чи ядерні реактори. В умовах виробництва метод використовується для перевірки зварних з'єднань під час будівельно-монтажних робіт, виготовлення металоконструкцій та трубопроводів, а також для визначення параметрів виробів, зокрема товщини стінок труб, резервуарів, корпусів суден тощо, навіть за умови доступу лише з одного боку. Крім цього, ультразвуковий контроль дозволяє оцінювати міцність і однорідність бетонних та залізобетонних конструкцій.

Метод базується на проникненні високочастотних коливань ($<20\text{кГц}$) у матеріал і їхньому відбитті від подряпин чи інших дефектів. Спрямована діагностична хвиля проходить через контрольовану зону, і при наявності дефектів змінює напрямок. Відхилення фіксується на екрані приладу, що дає змогу визначити тип і характеристики дефекту.

Основні переваги ультразвукового контролю:

- Безпечність у порівнянні з радіографічним методом;

- Можливість перевірки різноманітних матеріалів;
- Висока чутливість до дефектів, таких як тріщини чи непровари;
- Проникнення на значну глибину для виявлення внутрішніх дефектів у великогабаритних об'єктах;
- Визначення розмірів і розташування дефектів;
- Можливість контролю без порушення експлуатаційного процесу;
- Проведення перевірки при односторонньому доступі до об'єкта.



Рисунок 6 - а) Загальний вигляд приладу УК- 39 для ультразвукового методу при поверхневому «прозвучуванні»; б) Загальний вигляд ультразвукового приладу ИПС-МГ4.

Механічні випробування базуються на механічних властивостях матеріалів, які є ключовими показниками під час проектування та конструювання деталей машин і споруд. Ці властивості визначають несучу здатність, експлуатаційну надійність і довговічність виробів. Механічні властивості часто оцінюють через напруження, що виникають у матеріалі під дією зовнішніх навантажень. При цьому навантаження відносять до одиниці площі перерізу, на яку вони впливають:

$$\sigma = P/A,$$

де σ – напруження у перетині площею A , що є перпендикулярним осі, вздовж якої діє сила P .

Якщо сила не перпендикулярна перерізу, вона розкладається на дві складові: нормальну (перпендикулярну площині перерізу) і дотичну (розташовану в площині перерізу, яка створює дотичні напруження).

Механічні випробування також умовно можна поділити на руйнівні і неруйнівні, за місцем проведення - на лабораторні і натурні, за способом навантаження - постійним та заданою швидкістю, за схемою напруженого або деформованого стану (лінійними, плоскими та об'ємними), за характером зміни навантаження у часі - статичні, динамічні, циклічні, специфічні.

Натурні випробування зазвичай є не руйнівними, або з незначним руйнуванням, яке може бути усунене без значних капіталовкладень і не впливає на загальні показники міцності конструкції. Для проведення цих випробувань використовують різноманітне обладнання з подальшим застосуванням методик визначення напруженого стану конструкцій.



Рисунок 7 – Прогиномір Аістова бПАО

Так наприклад під час випробування мостів заміряють переміщення і деформації в характерних перерізах і для цього використовують прогиноміри (рис. 7), які закріплюють до елементів мостів за допомогою струбцин, або встановлюють на спеціальних стійках.

Для визначення міцності бетону найбільше поширення набули методи пружного відскоку, метод відриву зі сколюванням, метод відриву диску.

Метод пружного відскоку зі застосуванням молотка Шмідта (рис. 8, а)

відноситься до переліку неруйнівних методів.

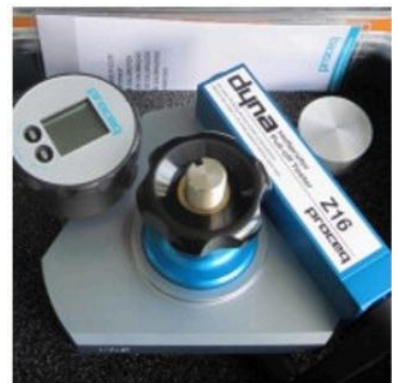
Дія методу ґрунтується на вимірі твердості бетонної поверхні. До бетону притискається спеціальний штамп, по якому наносяться удари молотком. Після цього система пружин забезпечує вільний відскік ударника і вимірюється величина цього відскоку, розраховується середнє значення по квадратам на ділянці, яку досліджують.



а)



б)



в)

Рисунок 8 - Прилади визначення міцності бетону не руйнівними методами: а) молоток Шмідта (метод пружного відскоку); б) вимірювач міцності бетону (відрив зі сколюванням) ОНІКС-1.ОС; г) прилад для вимірювання міцності бетону методом відриву диску.

Відрив зі сколюванням є неруйнівний метод, дія якого заснована (прилад для вимірювання, рис. 8, б) на взаємозв'язку параметрів міцності бетонних виробів і зусиль, необхідних для виривання з них спеціально закріпленого анкерного елемента разом з частиною навколишнього його бетону. Визначення міцності бетону відривом зі сколюванням може бути застосоване на важких бетонних конструкціях, легких монолітних або збірних спорудах.

Вимірювання міцності бетону методом відриву диску спеціальним приладом (рис. 8, в) засновано на визначенні міцності важкого бетону за величиною умовного напруження, яке необхідне для його руйнування під час відривання сталевого диска, приклеєного до його поверхні.

Лабораторні випробування матеріалів проводяться з використанням

спеціального лабораторного обладнання. При цьому на результати випробувань впливає форми і геометричні розміри зразків, схеми напруженого стану, точки докладання навантажень. Також слід зазначити, що для перенесення результатів випробувань на реальні конструкції умови механічної, фізичної подібності.

Лабораторні випробування також можуть являти собою неруйнівні (вимірювання віднесені до техніко-технологічних вимог) і руйнівними з визначенням максимальних значень деформованого стану. Лабораторні руйнівні випробування можуть бути статичними і динамічними.

Методики випробувань і відповідно типи випробувальних машин обумовлюються характеристиками, що визначаються.

Для статистичних випробувань використовують:

Розривні машини (рис. 9, а) призначена для випробування металів, та зварних з'єднань на розтяг.

Круглі і прямокутні зразки закріплюють у захопленнях різної конфігурації. Верхнє захоплення пов'язане з силовим вимірювальним пристроєм. Параметри отримані при механічних випробуваннях реєструються обробляються.

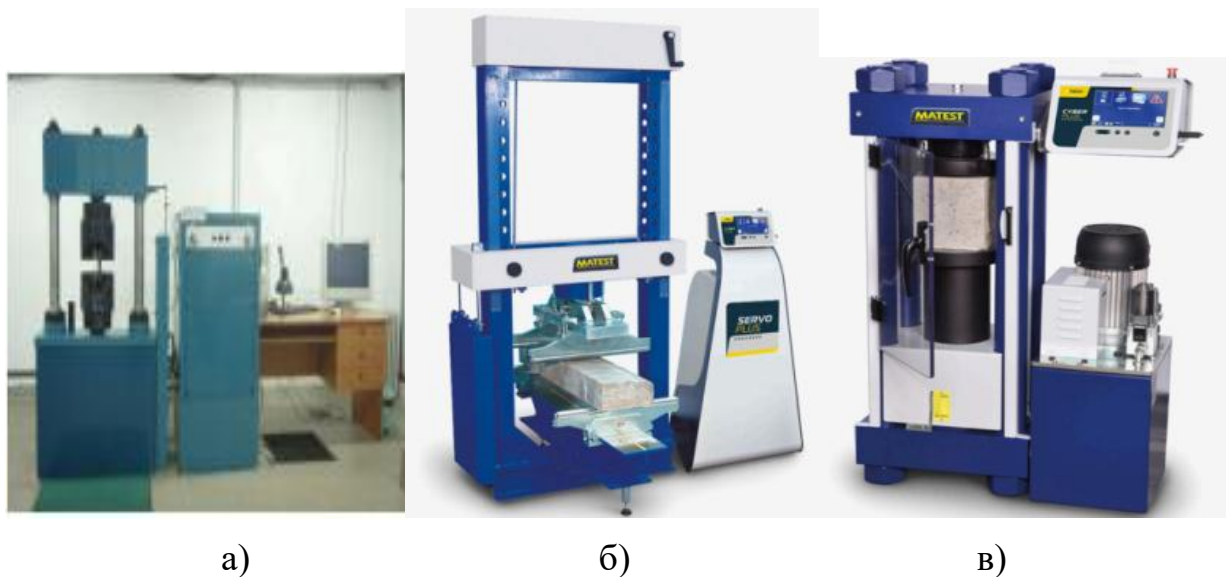


Рисунок 9 – Машини для руйнівних випробувань:

- а) Розривна машина МР-200;
- б) Універсальні випробувальні машини на вигин із поперечною балкою;
- в) Випробувальні преси.

Для випробувань на вигин бетонних балочок використовують універсальні випробувальні машини (рис. 9, б).

Для випробування бетонних, асфальтобетонних, залізобетонних зразків на стиск випробувальні преса (рис. 10, в).

Для динамічних випробувань (ударний вигін) найбільше поширення набув пристрій типу маятниковий копёр.

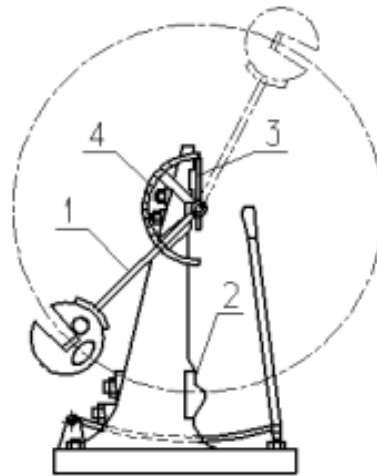


Рисунок 10 - Маятниковий копёр для випробування матеріалів на ударну в'язкість: 1 - маятник; 2 - зразок; 3 - стрілка; 4 - шкала.



Рисунок 11 – Прилади для вимірювання твердості:
а) Прилад для випробування твердості твердомір Бринелля;
б) Прилад для визначення твердості за Віккерсом.

Випробування на ударну в'язкість проводять для визначення здатності

основного і наплавленого металу або зварного з'єднання сприймати динамічні навантаження. Визначають роботу, необхідну для руйнування, фіксується положенням стрілки 3 на шкалі 4. Визначається різниця потенційних енергій маятника до удару і при максимальному підйомі після удару

До неруйнівних (специфічних) лабораторних випробувань відноситься визначення твердості. В залежності від обраного методу твердість вимірюють за шкалою Роквелла, Брінелля, Віккерса та інш.

На підставі проведеного огляду можна зробити наступні висновки:

- При використанні неруйнівних методів випробувань доцільно застосовувати декілька для порівняння кінцевого результату.
- Характеристики матеріалів, які застосовують при монтажі певної конструкції, доцільно підтверджувати зі застосуванням руйнівних методів.
- Контроль монтажних робіт потрібно проводити на вхідній стадії, стадії безпосереднього монтажу і по завершенню робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. https://metinvest-smc.com/ua/articles/mexanicni-viprobuvannia-stalevoyi-produkciyi/?srsltid=AfmBOorYwMOqz9iz5SjwHpNgyvzqBuD48Q7_ZgVy
2. <https://mb.expert/nerujnivni-metody-vyznachennya-micznisnyh-vlastyvostej-betonu-yih-vazhlyvist-ta-skladnoshhi-pravylnogo-zastosuvannya/>
3. <https://cpdk.com.ua/service-cat/nerujnivnyj-kontrol>
4. <http://ua.tuev-dieks.com/services/technical-diagnosis/methods-of-survey/opredelenie-mexanicheskix-svoystv-metalla/>
5. <https://industry.hlr.ua/building-materials-testing/concrete-testing/>

ЕВОЛЮЦІЯ ФЕРМОВИХ КОНСТРУКЦІЙ В МОСТОБУДУВАННІ

Овчаренко Г. О.

Науковий керівник: викладач Кльований А. В.

Харківський фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну

Протягом історії, людство здобуло необхідність у переміщенні ресурсів на великі відстані. І дуже частою перешкодою при транспортуванні стали річки і каньйони, що змусило інженерів знайти рішення для транспортування через такі перешкоди. Очевидним рішенням було перекинути щось достатньо довге, зазвичай колоду, через річку, утворивши прямий перехід між одним краєм до другого. Однак з розвитком транспортування колоди стали занадто неефективними, що спонукало до будівництва мостів. У древньому світі уявлення про ферми у людей не було, саме тому у Римі для будівництва мостів часто використовували каміння та цемент [1] а також, було розроблено аркову структуру (рис. 1). Ідея такої конструкції дуже проста: можна побудувати арку і накласти на нею пряму поверхню, в результаті згинальні моменти перетворюються на стискаючі зусилля в арці та горизонтальні реакції в опорах. На практиці такі мости виявились доволі дієвими. Деякі мости, побудовані в ті часи, досі витримують навантаження і по сьогоднішній день.

Фермових мостів не існувало аж до самого середньовіччя, під час якого вони з'явилися задля будівництва великих залів у соборах. У будинках використовували А-образну конструкцію, в основі якої був горизонтальний брус, який сприймав відповідне навантаження [2]. У мостобудуванні ферми стали популярними внаслідок потреби проїзду локомотивів над величезним гірським рельєфом західної Америки. Подібні умови не є сприятливими для спорудження маленьких кам'яних аркових мостів. Для такої задачі також не вистачало ані грошей, ані ресурсів, ані кваліфікованих робітників [2]. Саме тому, прийшлося знаходити альтернативу, якою стала фермова конструкція. Принцип роботи ферми полягає у відсутності згину стержнів, в них

з'являється лише розтяг або стиск. Ферма потребує достатньо міцного матеріалу, однак американські умови також додавали потребу у великій кількості та низькій ціні такого матеріалу, ним виявилась звичайна деревина [3]. Вона доступна у великій кількості і працювати з нею може кожен лісоруб, саме тому, багато мостів на західних землях США досі мають дерев'яну конструкцію, і функціонують навіть у теперішній час (рис. 2).



Рисунок 1– Алькантарський міст в Іспанії (дата будівництва – 104-106 рр.)

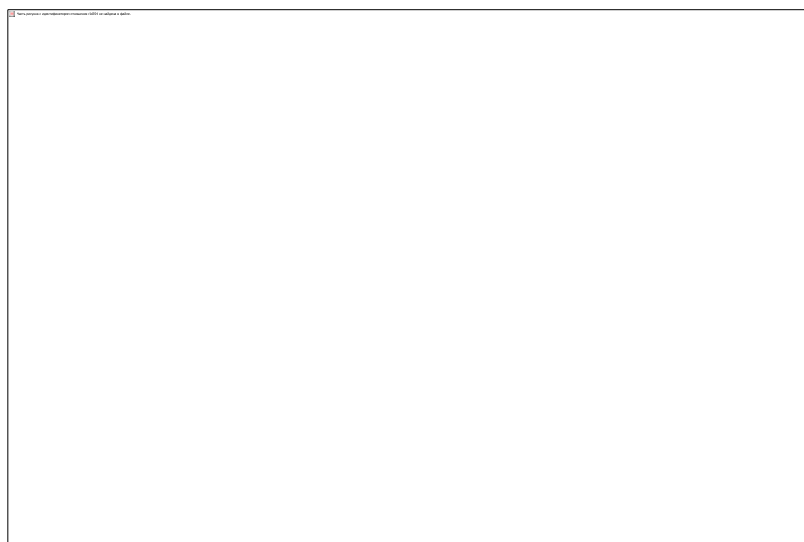


Рисунок 2 – Естакада Гоут Каньйон, 1933 р.

Часто у мостах подібного типу використовується ферма, яку запатентував Ітіель Таун у 1820-му році [5]. Вона складається з діагональних

дерев'яних балок, які утворюють ґратку ромбів. Особливість цієї ферми в тому, що навантаження розподіляється рівномірно по всій конструкції [4], на відміну від аркових мостів, де зовнішні сили передаються на підпори. Для зменшення прогинів ця ферма має масивні та жорсткі пояси (рис 3).



Рисунок 2 - Ґратчаста ферма на мості Рут Роуд, Огайо, 1849 р.

Будівництво дерев'яних мостів стало великим успіхом, а отриманий прибуток дозволив використовувати більш міцні матеріали, які, у свою чергу, забезпечили розвиток нових фермових конструкцій. Однією з таких новаторських ідей стала ферма Вільяма Гова, запатентована у 1840-му році [6]. Ця ферма складається з двох паралельних поясів, між якими встановлюються висхідні стиснуті розкоси та розтягнуті стойки. Як правило, це металеві конструкції (рис 4). Схожу будову має ферма Пратта, яку запатентували Калєб Пратт разом з його сином Томасом Віллісом у 1844-му році [7]. Їх ферма має стиснуті стойки та низхідні розтягнуті розкоси і також виготовляється з металевих елементів (рис. 5).



Рисунок 3 – Схема ферми Гова



Рисунок 4 – Схема ферми Пратта

Усвідомивши користь від ферм, їх також стали застосовувати британські інженери. Одним з найбільш популярних варіантів того часу є ферма Уоррена, запатентована у 1848-му році [8], яка використовується і по сьогоднішнього дня. Така ферма складається з поздовжніх елементів, з'єднаних між собою поперечними балками під кутом, утворюючи набір рівнобічних трикутників (рис. 6). Така ферма може бути проста і дешева у виготовленні, вона має одну з найменших матеріалоємностей.

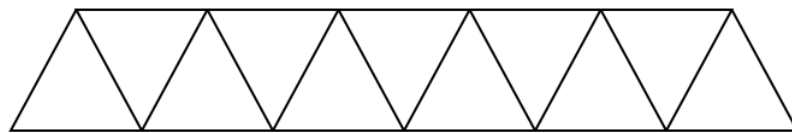


Рисунок 5 – Схема ферми Уоррена

Не всі ферми були ефективними. Наприклад, ферма Больмана широко застосовувалася в Америці не завдяки винятковій надійності конструкції, а через хитрі політичні маніпуляції її інженера Венделла Больмана, який наполегливо нав'язував владі свою розробку, домагаючись примусового впровадження її на законодавчому рівні. Однак ця ферма виявилась не такою ефективною, як заявляв Больман, оскільки складалася з занадто довгих елементів (рис. 7) [2].

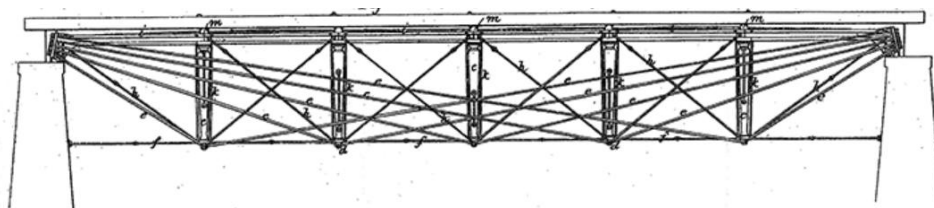


Рисунок 6 – Схема ферми Больмана

Говорячи про подібність ферм, через деякий час у 1854-му році, Альберт Фінк запатентував ферму, яка була ідентична фермі Больмана, але з укороченими елементами (рис. 8) [2].

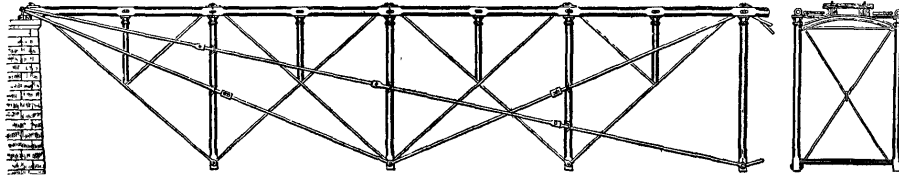


Рисунок 8 – Схема ферми Фінка

Для будівництва мостів не обов'язково використовувати суто фермову, аркову, або підвесну конструкцію, їх можна комбінувати. Наприклад міст Золота Брама у Сан-Франциско, США, вважається підвісним, однак він має ферми у своїй будові. Також ферми можуть утворювати аркову конструкцію, наприклад у мості Maria Pia, побудованому у 1877-му році (рис. 8).

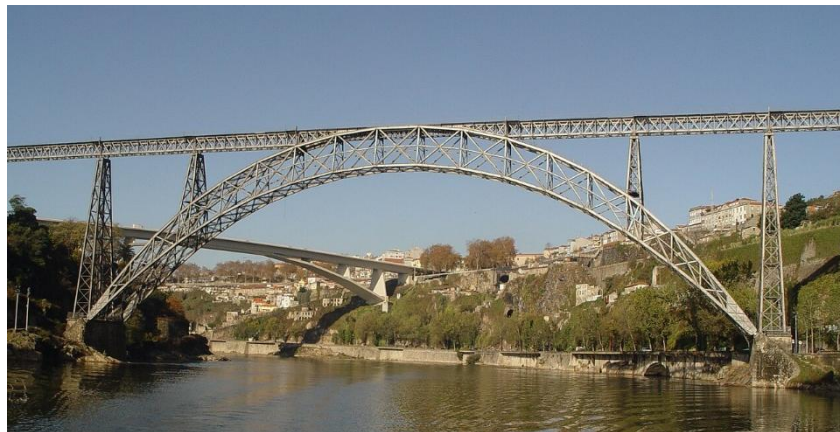


Рисунок 7 – Міст Maria Pia, Португалія

Принцип роботи таких мостів може різнитись залежно від дизайну, але ідея така ж сама, як у звичайного аркового – перетворення вертикальних навантажень у горизонтальні реакції, однак для зменшення власної ваги стержні виконані фермами.

На цьому еволюція ферм не зупинилася: нові дизайни патентувались і у 20-му столітті. Розвиток інформаційних технологій значно спрощує проектування мостів та відкриває нові можливості. А враховуючи економічність ферм, низьку матеріалоемність і простоту виробництва – вони мають чудові перспективи розвитку у майбутньому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cement History. URL: <https://www.understanding-cement.com/history.html> (Дата звернення: 04.04.2025)
2. Gordon J. E. Structures, or why Things don't Fall Down. Pelican Books, Harmondsworth. 1978. 237 p. [ISBN 0-306-81283-5](#)
3. Tan H., Hjelmstad K., Geubelle PH. Structures and Materials. *The University of Manchester Research*. URL: https://pure.manchester.ac.uk/ws/files/157156238/FULL_TEXT.PDF (Дата звернення: 04.04.2025)
4. Sharon K. Town Patents the Lattice Truss Bridge – Today in History: January 28. *Connecticut history.org*. 2022. URL: <https://connecticuthistory.org/town-patents-the-lattice-truss-bridge-today-in-history> (Дата звернення: 404.2025)
5. John L. Sanders. Town, Ithiel (1784-1844). *North Carolina Architects & Builders*. URL: <https://ncarchitects.lib.ncsu.edu/people/P000032> (Дата звернення: 04.04.2025)
6. Frank Griggs Jr. Springfield Bridge for Western Railroad. *STRUCTURE Magazine*. 2014. URL: <https://www.structuremag.org/article/springfield-bridge-for-western-railroad/> (Дата звернення: 04.04.2025)
7. Garrett Boon. Truss Series: Pratt Truss. *Garrett's Bridges*. 2024. URL: <https://garrettsbridges.com/design/pratt-truss> (Дата звернення: 04.04.2025)
8. Garrett Boon. Truss Series: Warren Truss. *Garrett's Bridges*. 2025. URL: <https://garrettsbridges.com/design/warren-truss/> (Дата звернення: 04.04.2025)

ВІДНОВЛЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ У 2024 РОЦІ

Шупик Д., ст. гр. 21-Д

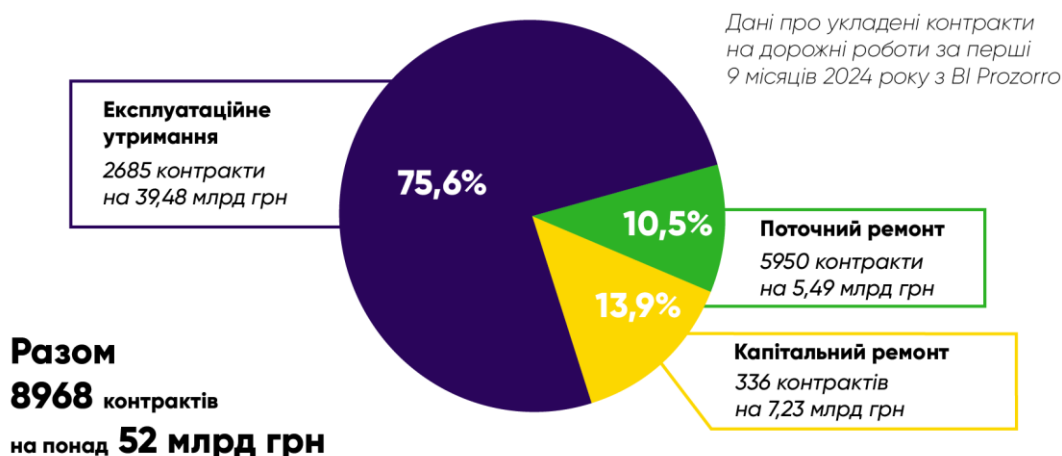
Науковий керівник: викл. вищ. кат. Жорник С. В.

Харківського автомобільно-дорожнього фахового коледжу

У Харківській області від початку повномасштабної війни стан доріг значно погіршився. За два з половиною роки шляхи та мости в регіоні піддавалися численним обстрілам, пошкоджувалися рухом важкої бронетехніки та й банально ресурс автодоріг вичерпувався. Тільки лінивий не помічав жахливого стану доріг, особливо на деокупованих територіях, у прифронтових громадах, а також на жвавих логістичних артеріях.

Насамперед ремонтували прифронтові артерії, які потрібні та про які просять самі військові, котрі цими дорогами евакуюють поранених, доставляють амуніцію та просто пересуваються у потребах служби.

ДОРОЖНІ ЗАКУПІВЛІ ЗА ТРИ КВАРТАЛИ 2024 В PROZORRO



У 2024 році дорожні закупівлі значно скоротилися порівняно з мирним 2021 роком. Так само вони менші, ніж замовлення у перший рік

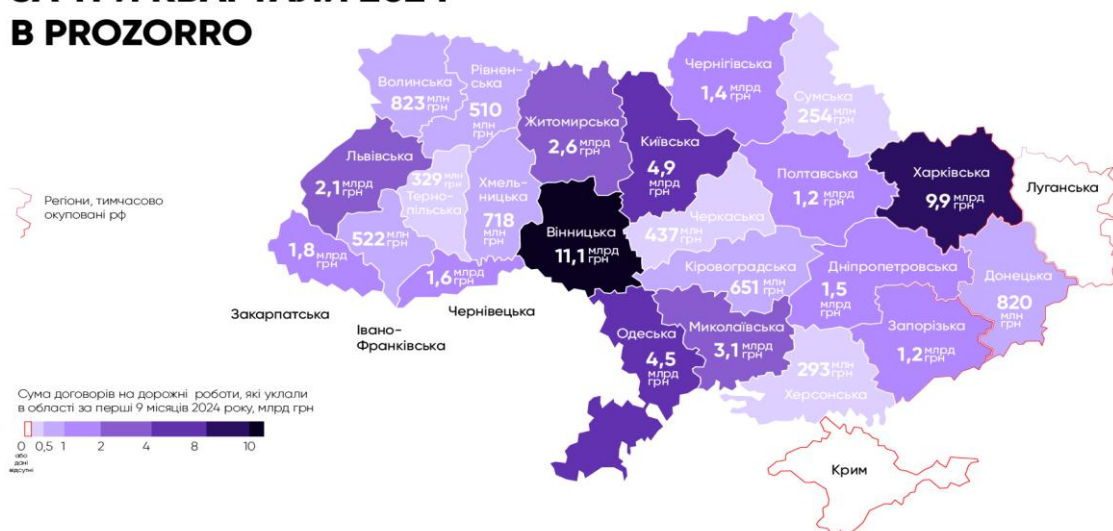
повномасштабного вторгнення та у 2023 році. У 2024 році практично не закуповували капітальні ремонти, які становили левову частку довоєнних дорожніх замовлень (зокрема в межах Великого будівництва). Водночас витрати на експлуатаційне утримання залишилися майже на тому ж рівні, що свідчить про пріоритет поточного догляду за дорогами в умовах війни.

За підсумками 2024 року Вінницька область на першому місці за сумою контрактів на автомобільні дороги. Вартість угод за 2024 рік перевищила 11 млрд грн.

На другому місці Харківська область з 9,9 млрд грн. Найбільшим замовником є Служба відновлення та розвитку інфраструктури Харківської області, яка уклала угоди на трирічне утримання доріг на 6,3 млрд грн. Ще на 765 млн грн Департамент будівництва та шляхового господарства Харківської міськради замовив поточні ремонти.

Трійку лідерів замикає Одеська область з 4,5 млрд грн.

ДОРОЖНІ ЗАКУПІВЛІ ЗА ТРИ КВАРТАЛИ 2024 В PROZORRO



Найбільші контракти отримали три фірми, які вже упродовж декількох років є одними з найбільших ремонтників доріг в Україні.

1. Автострада». Абсолютний лідер за укладеними контрактами. Компанія підписала 8 угод на 13,6 млрд грн.

На другому місці за укладеними контрактами «Автомагістраль-Південь». Компанія підписала 12 угод на майже 6,6 млрд грн. Найбільший замовник - Служба відновлення та розвитку інфраструктури у Харківській області. Вона замовила роботи на 5,7 млрд грн.

Третє місце за укладеними контрактами займає «Ростдорстрой». Компанія підписала 19 угод на загальну суму 4,7 млрд грн. Компанія отримувала контракти в Одеській, Черкаській, Дніпропетровській, Херсонській та Харківській областях.

ДОРОЖНІ ЗАКУПІВЛІ ЗА ТРИ КВАРТАЛИ 2024 В PROZORRO: ГОЛОВНІ ПІДРЯДНИКИ



ТОВ «Група компаній
"Автострада"»

13,6 млрд грн

ТОВ «Автомагістраль-
Південь»

6,6 млрд грн

ТОВ «Ростдорстрой»

4,7 млрд грн

Onur Taahhut Tasimacilik
Insaat Ticaret Ve Sanayi
Anonim Sirket

2 млрд грн

ТОВ «Онур
конструкціон
інтернешнл»

1,6 млрд грн

Дані про укладені контракти
на дорожні роботи за перші
9 місяців 2024 року з BI Prozorro

За підсумками третього кварталу 2024 року були відремонтовані дороги в Харківській області.

На Куп'янському напрямку полагодили дорогу, яка потребувала капітального ремонту 20 років. Автотраса проходить паралельно лінії фронту, поблизу Борової та Куп'янська: від неї до лінії зіткнення вже дуже мала відстань. Цим шляхом їздять військові та евакуюють поранених — за їхнім запитом почали ремонт дороги.

За понад два роки повномасштабної війни асфальт погіршила важка техніка.



В процесі роботи будівельна організація втратили чотирьох робітників, які загинули внаслідок нещасних випадків — підірвалися на мінах безпосередньо під час виконання своїх службових обов'язків. Також є троє, які отримали легкі поранення від обстрілів. Робітники втратили до десятка одиниць техніки.

Відремонтовано автомобільну дорогу Т-21-03 Харків – Золочів – КПП "Олександрівка", яка є єдиним прямим шляхом із прикордонної смуги, де стоять Сили оборони, до Харкова.

Ремонт дороги одночасно вели три бригади на різних ділянках. Одна група робітників працювала безпосередньо в Золочеві, ще дві – на ділянках між Харковом і Золочевом. Без повного перекриття руху проводили ямковий ремонт, однак на низці ділянок, де покриття було знищене до ґрунту, дорога була перекладена повністю.

Був проведений ремонт ділянки дороги У Чугуївському районі, яка є частиною одного з основних логістичних маршрутів Харківщини.

Дорожнє покриття в Чугуївському районі вже давно вкрай у поганому стані, тож, аби хоч якось поліпшити ситуацію, було прийняте рішення про проведення аварійних ремонтів на найбільш проблемних відрізках траси.

Відбувся ремонт доріг у Савинській громаді Харківщини.

Ремонтні роботи виконувалися за кошти місцевого бюджету.

У 2025 році в Савинській громаді теж планують ремонт доріг, але це стане можливим лише в разі перевиконання місцевого бюджету.

У проєкті Державного бюджету України на 2025 рік закладено гарантовані надходження до Державного дорожнього фонду. На будівництво доріг будуть спрямовані 25% надходжень від акцизного податку на пальне і транспортні засоби.

Тому можна стверджувати те, що дорожня галузь буде продовжувати виконувати свої функції як тяжко би їй не було.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://dozorro.org/blog/bez-velikogo-budivnictva-yak-remontuyut-dorogi-u-2024>

ВАЖЛИВА РОЛЬ БУДІВНИЦТВА МОБІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ ПІД ЧАС ВІЙНИ УКРАЇНИ З РОСІЄЮ

*Кузь І.М. 41ДМ
Керівник Митрохіна М.О.
Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж*

Під час війни України з Росією потреба в житлі для переселенців стала дуже актуальною (рис. 1).



Рисунок 1 – Потреба в житлі для переселенців в наслідок ворожої агресії

Верховою радою України було прийняте рішення про будівництво мобільних містечок для переселенців (рис. 2).

Які ж вони мобільні будівлі? Мобільними (інвентарними) будівлями називають будівлі комплектної заводської поставки, конструкція яких забезпечує швидке зведення і можливість їх передислокації без зниження експлуатаційних властивостей.



Рисунок 2 – Приклад мобільного містечка для переселенців

В умовах будівництва доріг, штучних споруд, великих промислових об'єктів виникають неминучі труднощі, коли потрібно належним чином облаштувати будівельникам побут і проживання. Однак відповідне житло в безпосередній близькості від будівельного майданчика вдається знайти вкрай рідко. Якщо планується масштабне будівництво і належить виконати великий обсяг робіт, а терміни перебування робітників на об'єкті будуть від півроку і більше, то зводяться тимчасові споруди, куди всіх робітників і заселяють.

Найоптимальніше рішення в такій ситуації – мобільні будівлі, які були досить популярні до війни для влаштування побуту робітників на віддалених територіях.

Під час війни мобільні будинки почали влаштовувати для переселенців і людей, чиє житло було пошкоджено від ворожих обстрілів.

Завдання, які вирішують мобільні будівлі. Швидкокомнтовані мобільні будівлі в силу своєї функціональності і спрощеної технології зведення вирішують ряд завдань, які ставлять перед собою будівельники. Обумовлюється це наявністю переваг перед традиційними методами будівництва.

Завдання	Рішення
1. Виробництво конструкцій і будівництво в стислі терміни.	На виготовлення мобільних будівель йде від двох тижнів, поставка від одного дня в залежності від віддаленості будівельного об'єкта, монтаж від двох днів в залежності від площі і поверховості будівлі, необхідності в фундаменті, наявності інженерних систем.
2. Надійність і високий експлуатаційний ресурс будівель	В основі конструкції модулів, з яких виготовляють мобільні будівлі, лежить каркас із сталевго швелера (100•50•3мм), що забезпечує тривалість експлуатації не менше 20 років. Термін служби всієї споруди забезпечується відмінною якістю матеріалів з яких виконані такі елементи модулів як: стіни, покрівля, обшивка, утеплювач і т.д.
3. Можливість швидкого демонтажу і зручного транспортування	Модулі з яких виготовляють мобільні будівлі збираються болтовим з'єднанням, тому їх легко демонтувати і повторно зводити на новому місці. Завдяки стандартним розмірам модулів (3м•3м•2,8м; 6м•3м•2,8м; 6м•2,5м•2,6м; 8м•2,8м•2,8м; 9м•3м•2,8м) їх легко транспортувати будь-яким вантажним транспортом.
4. Можливість перепланування приміщень	При зміні планувальних рішень модульні контейнери, з яких найчастіше виготовляють мобільні будівлі, можна прибрати або навпаки доповнити новими конструкціями, збільшити поверховість, оснастити перегородками, вікнами і т.п.
5. Можливість будівництва в умовах складної «геології» і клімату з низькою температурою	Температурний діапазон застосування модулів, з яких виготовляють мобільні споруди, від – 40° до + 60°С, осадові ґрунти для монтажу таких будівель не стають перешкодою, тому що конструкція легка, не вимагає фундаменту глибокого залягання, не схильна до розтріскування стін.
6. Екологічність конструкцій і будівництва.	Екологічна чистота гарантується виробником модулів з яких виготовляють мобільні будівлі, а саме будівництво відрізняється безвідхідністю процесу.

Мобільні будівлі поділяються на типи залежно від:

- конструктивного рішення;
- способу передислокації;
- функціонального призначення.

За конструктивним рішенням мобільні будівлі розподіляють на (рис. 3): контейнерні, збірно-розбірні з площинних та лінійних елементів, збірно-розбірні з блок-контейнерів, збірно-розбірні комбіновані з блок-контейнерів та площинних і лінійних елементів.

Контейнерні мобільні будівлі без ходової частини



Контейнерні мобільні будівлі з власною ходовою частиною



Збірно-розбірні мобільні будівлі з площинних та лінійних елементів



Збірно-розбірні мобільні будівлі з блок-контейнерів



Збірно-розбірні комбіновані з блок-контейнерів та площинних і лінійних елементів.



Рисунок 3 – Конструктивні рішення мобільних будівель

За способом передислокації мобільні будівлі розподіляють на: з власною ходовою частиною, зі знімною ходовою частиною, без ходової частини.

З власною ходовою
частиною



Зі знімною ходовою
частиною



Без ходової частини.



За функціональним призначенням мобільні будівлі розподіляють на: виробничі, складські, житлові, громадські, допоміжні.

Конструктивні рішення мобільних будівель з блок-контейнерів. Блок-контейнери мають як типову, так і індивідуально розроблену конфігурацію, яка відповідає специфіці сфери, де застосовується блок-модуль. Базис конструкції залишається незмінним при будь-яких конструктивних рішеннях (типізація будівель), а саме:

1. Основою мобільної будівлі слугує металевий каркас. Несучий сталевий каркас, виконаний з куточків і швелерів. Каркас обшивається листовим залізом. Тонколистова сталь забезпечує конструктивну легкість і невелику металоємність. Металеві поверхні мобільної будівлі ретельно погрунтовані і пофарбовані, що збільшує їх антикорозійні властивості. Для кращої гідроізоляції дах та дно додатково обробляються гумовобітумною мастикою.

2. Для облицювання стін, покрівлі та підлоги використовують такі панелі:

— для теплих будинків використовується сендвіч-панель на основі оцинкованого листа товщиною від 0,6 мм і з утеплювачем на базальтової основі товщиною не менше 100 мм;

— для холодного виконання застосовується профільований лист.

Кольорові рішення для зовнішніх стін і покрівлі визначаються каталогом RAL.

3. Внутрішнє оздоблення виконується на вибір замовника, а саме: можуть використовуватися ЛДСП, ДСП, вагонка та ін. Підлогова панель товщиною від 25 мм покривається промисловим лінолеумом підвищеної міцності.

4. Вікна виготовляються з пластика або композитного матеріалу, на один блок-контейнер, як правило, йде два вікна, розмірами 70x120 см.

5. Будівля з блок-контейнерів може складатися як з одного типу модуля, так і декількох в різних варіаціях.

6. В якості фундаменту доцільно використовувати легкі конструкції – стрічковий фундамент, монолітна плита, дорожні плити або подушка з щебеню і дерев'яні бруски.

7. Забезпечення будівлі електроенергією для комфортного перебування робітників всередині модульного приміщення робиться врізка кабелю, що підключає будівлю до електромережі. Опалення забезпечується за допомогою електрообігрівачів. Всередині мобільної споруди улаштовують розетки, вимикачі і світильники.

8. Для побутового використання, мобільна будівля оснащується ємністю для води, водонагрівачем, умивальником, санвузлом з біотуалетом, а іноді душовою кабінкою, кондиціонером, охоронною та пожежною сигналізацією.

Маркування мобільних будівель. Маркування наноситься на фасаді будівлі незмивними фарбами, що контрастують за тоном зовнішнього фарбування, і має містити: назву будівлі, назву країни-виробника і підприємства-виробника, інвентарний номер будівлі, товарний знак підприємства-виробника, масу будівлі, дату виготовлення.

Пакування мобільних будівель перед транспортуванням. Пакування мобільних будівель включає: розкладання і закріплення механічно не зв'язаних з будівлею конструктивних елементів і пакетів; закріплення

всередині блок-контейнерів окремих виробів і устаткування; закриття зсередини вікон, що відкриваються, та фіксація запірними пристроями і захист ззовні вікон щитами, ставнями чи панелями; демонтаж, пакування та закріплення деталей і елементів, що виступають за габарити блок-контейнера; закриття місць введення і випускання інженерних систем, вентиляційних решіток (клапанів); вкладання документації щодо мобільної будівлі, у непромокаючий конверт (пакунок); закриття на замок та опломбування зовнішніх дверей.

Транспортування мобільних будівель. Мобільні будівлі транспортують автомобільним, залізничним, водним чи повітряним транспортом відповідно до правил перевезення вантажів, що діють на цих видах транспорту.

При завантаженні (розвантаженні) та транспортуванні на будь-якому виді транспорту потрібно використовувати пристрої, що виключають можливість пошкодження будівлі, конструктивних елементів та їх пофарбування.

Розміри конструктивних елементів будівель і пакетів, що перевозяться залізничним транспортом, мають бути в межах встановлених з/д габаритів.

Не допускається транспортувати блок-контейнери, конструктивні елементи і пакети волоком на будь-яку відстань без відповідних транспортних пристосувань чи пристроїв.

Зберігання мобільних будівель. Умови зберігання мобільних будівель мають відповідати вказівкам інструкції з експлуатації. Будівлі, використання (чи транспортування) яких не планується протягом від 10 до 30 діб, мають бути поставлені на короткотермінове зберігання, а при тривалості більше ніж 30 діб – на довготермінове зберігання.

Будівлі, їх конструктивні елементи, пакети мають бути розміщені (з використанням підкладок) на зберігальних майданчиках з улаштуванням проїздів і проходів, що забезпечують протипожежну безпеку. Майданчики для зберігання мають бути з ухилом, що забезпечує відведення атмосферних вод.

Технологія встановлення і збирання мобільних будівель. Якщо мобільна будівля представляє собою блок-контейнер, то у зв'язку з тим, що це об'ємно-просторовий елемент повної заводської готовності, під час його установки потрібно: розробити котловани під фундамент; улаштувати фундамент, поставити споруду на фундамент і надійно закріпити її на ньому.

Якщо мобільна будівля збірно-розбірної конструкції, яка складається з кількох блок-контейнерів повної заводської готовності або комплекту площинних і лінійних елементів, то під час його установки потрібно: розробити котловани під фундамент, улаштувати фундамент, поставити окремі блок-контейнери (або комплекти площинних і лінійних елементів, що об'єднані в єдину конструктивну систему) на фундамент і надійно закріпити їх між собою та з фундаментом.

Встановлення елементів мобільних будівель виконують стріловими кранами вантажопідйомністю 5-10т.

Приймання мобільних будівель до експлуатації. Під час приймання перевіряють: відповідність проекту мобільної споруди якості матеріалів та покупних виробів, з яких вона виготовлена; опір статичним і ударним (транспортним) навантаженням (випробування виконують за програмою, що розроблена для конкретних типів мобільних будівель); повітряпроникність будівлі; теплопередачу огорожувальних конструкцій звукоізоляцію огорожувальних конструкцій; працездатність і технічний стан внутрішніх інженерних мереж; забезпечення вимог пожежної безпеки.



Рисунок 4 - Модульні містечки Харківської області

Модульні містечки, що були улаштовані в Україні під час війни. В Україні збудовано 25 модульних містечок, де мешкає понад 50 тисяч біженців, тоді як кількість внутрішніх переселенців становить понад 7 мільйонів. Головною метою організації таких містечок було створити негайний тимчасовий притулок. Проєкт отримав назву «RE:UKRAINE» – тут зашифрували слово «біженці» (refugees), а також натяк на необхідність відновлювати та перебудовувати країну.

Європейська комісія з питань цивільного захисту та гуманітарної допомоги поставила в Харківську область 600 мобільних легкозбірних будинків, з них 200 будиночків передали у використання для пунктів незламності, а 400 віддали громадам для розміщення переселенців. Найбільше мобільних будинків надали Харківському району – 210, Чугуївський район отримав 80 будинків, Лозівський – 50, Ізюмський – 49, Красноградський – 36, Богодухівський – 10, місто Харків – 50 і т.д.

Проблеми модульних будинків поділяють на конструктивні та соціальні.

Основні конструктивні проблеми:

- модульне житло розраховане лише на тимчасове розміщення людей тому, що будинки швидко зношується і, як слідство, умови проживання дуже швидко погіршуються;
- проблеми з теплоізоляцією;
- модульні будиночки розміщують прямо на вулиці вони дуже часто не мають фундаменту, що впливає на їхню стійкість.

Основні соціальні проблеми:

- надмірне згуртування людей зі схожими проблемами;
- відокремлення переселенців і ускладнення їхньої майбутньої адаптації до соціуму. Отже виникає розподіл на “місто” і “переселенців”, на “ми” і “вони”.

Тобто на мешканців модульних містечок ми ризикуємо надовго оставити тавро "чужих", "не місцевих".

Будівництво модульних будинків це не питання вибору – це відсутність вибору. Переселенці продовжують жити там, бо їм часто поки що просто нікуди повернутися.

Секція
«Хімія та хімічні технології»

ХІМІЧНІ МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ В БУДІВНИЦТВІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ

Романюк А. Д., студент гр. ДХ-31-22

Науковий керівник: д.т.н., проф. Ненастіна Т. О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Упродовж останніх десятиліть хімічна наука та технології відіграють усе більш значущу роль у розвитку будівельної галузі. Хімічні процеси проникають у всі етапи життєвого циклу будівельних матеріалів — від розробки складу та виробництва до експлуатації й утилізації. Застосування хімічних методів дозволяє не лише поліпшити фізико-механічні властивості будівельних матеріалів, а й забезпечити їхню стійкість до впливу агресивних чинників, підвищити довговічність і функціональність конструкцій.

Сучасні вимоги до будівельної продукції включають не лише високу міцність і зручність у використанні, але й екологічність, енергоефективність, економічну доцільність та відповідність принципам сталого розвитку. У цьому контексті особливого значення набувають інноваційні хімічні матеріали: геополімери, нанодобавки, багатофункціональні композити, модифіковані полімери тощо [1, 2]. Також зростає роль цифрових технологій, зокрема AR/VR-моделювання, у створенні, тестуванні та оптимізації нових будівельних хімічних систем [3].

Розвиток хімії будівництва є міждисциплінарним напрямом, що поєднує матеріалознавство, екологію, механіку, інженерію та цифрові технології [4, 5]. У цьому огляді систематизовано основні напрями використання хімічних методів у сучасному будівництві, охарактеризовано групи будівельних матеріалів хімічного походження та визначено перспективи їхнього застосування [6].

Сучасне будівництво базується на широкому спектрі матеріалів, значна частина яких є результатом хімічного синтезу або обробки [7]. Тому хотілося більш детально зупинитися на ключових групах хімічних матеріалів, які

забезпечують довговічність, функціональність та безпеку будівельних конструкцій.

1. Основу більшості будівельних матеріалів становлять мінеральні в'язучі, зокрема портландцемент — продукт високотемпературного випалу суміші CaCO_3 і глини. Його активними фазами є аліти, беліти, алюмінати та ферити. Перспективною альтернативою цементу є геополімерні в'язучі на основі алюмосилікатів і лужних активаторів (NaOH , Na_2SiO_3). Їхнє виробництво має менший вуглецевий слід і високу хімічну стійкість.

2. Бетони є багатокомпонентними системами, де хімічні добавки визначають ключові характеристики: пластифікатори / суперпластифікатори, що зменшують водоцементне відношення; сповільнювачі тужавлення, що забезпечують тривалий час роботи з сумішшю; повітровтягувальні добавки, які підвищують морозостійкість; гідрофобізатори, які знижують водопоглинання і підвищують стійкість до солей. Зокрема, використовуються спеціальні бетони: самоуплотнюючі, високоміцні, ультраформовані (UHPRFC), із застосуванням нанодобавок та полімерних модифікаторів.

3. Полімерні та композитні матеріали до яких належать поліуретани (теплоізоляція, герметизація); епоксидні смоли (захисні покриття, армовані системи); полівінілхлорид (ПВХ) (труби, профілі); композити (матеріали з полімерною матрицею та волокнистим наповнювачем). Полімери використовуються у легких конструкціях, гідроізоляції, фасадних і підлогових системах.

4. Сухі будівельні суміші - це багатокомпонентні порошкові системи, які містять: в'язучі (гіпс, цемент, полімери), наповнювачі (пісок, мікрокальцит, перліт), функціональні добавки (пластифікатори, стабілізатори, сповільнювачі). Використовуються для кладки, шпаклювання, оздоблення, а також у формі самовирівнювальних розчинів.

Інноваційні хімічні технології в будівництві виходять далеко за межі традиційного виробництва цементу та бетону. Застосування нанотехнологій, геополімерних в'язучих, біоактивних систем, а також цифрового

моделювання хімічних процесів кардинально змінює підходи до проєктування та експлуатації матеріалів (табл. 1). Ці інновації не лише підвищують якість і функціональність будівельних матеріалів, але й відкривають шлях до сталого та інтелектуального будівництва.

Таблиця 1 – Інноваційні хімічні матеріали в будівництві: властивості та призначення

Матеріал / технологія	Хімічна основа	Основні властивості	Сфера застосування
Геополімери	Алюмосилікати, лужні активатори (NaOH, Na ₂ SiO ₃)	Низька емісія CO ₂ , термостійкість, хімічна інертність	Альтернатива цементу, 3D-друк конструкцій, дорожнє будівництво
Нанокремнезем (SiO ₂)	Аморфний діоксид кремнію	Зменшення пористості, підвищення міцності, ущільнення мікроструктури	Високоміцні бетони, самоуплотнюючі суміші
Нанотитану діоксид (TiO ₂)	TiO ₂ (фотокаталізатор)	Самоочищення, антибактеріальний ефект, розкладання органічних речовин	Фасади будівель, тунелі, міські поверхні
Наноглина, графен, нановолокна	Кристалічні мінерали, вуглецеві структури	Тріщиностійкість, покращення пластичності, електропровідність	Армування композитів, інтелектуальні покриття
Біоактивні домішки	Bacillus, ферменти	Самовідновлення тріщин за рахунок кальцитоутворення	Довговічний бетон у гідротехнічних та транспортних спорудах
Полімер-композити (епоху, PU)	Епоксидні, поліуретанові смоли	Міцність, гнучкість, хімічна стійкість	З'єднання конструкцій, ізоляція, підлоги, захисні покриття
Цифрове AR/VR-моделювання	Алгоритми візуалізації хімічних процесів	Аналіз поведінки матеріалів в умовах експлуатації, інтерактивне проєктування	Навчання, наукове моделювання, віртуальні лабораторії

Проаналізувавши основні напрямки використання хімічних матеріалів у будівництві, можна дійти таких висновків:

1. Хімічні методи забезпечують підвищення якості, довговічності та екологічності будівельних конструкцій.
 2. Інноваційні матеріали, такі як геополімери, нанокompозити та біоактивні системи, дозволяють реалізувати концепцію «розумного будівництва».
 3. Використання хімії в поєднанні з цифровими технологіями створює нові парадигми проєктування, контролю якості та експлуатаційної безпеки.
 4. Україна має науковий потенціал і приклади ефективної імплементації таких технологій у практику відновлення та модернізації інфраструктури.
- Хімія в будівництві — це не лише підтримка традицій, а рушійна сила інновацій, безпеки та сталого розвитку у XXI столітті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сидоренко О. В., Пивоваров А. М. Хімічні добавки до бетону: властивості, класифікація, вплив на структуру // Вісник будівельної науки. – 2022. – №4. – С. 15–22.
2. Neville A. M. Properties of Concrete. – 5th ed. – Pearson Education Limited, 2012. – 873 p.
3. Duxson P., Provis J. L., Lukey G. C., van Deventer J. S. J. The role of inorganic polymer technology in the development of ‘green concrete’ // Cement and Concrete Research. – 2007. – Vol. 37(12). – P. 1590–1597.
4. Бондаренко І. В. Нанотехнології в будівництві: стан та перспективи // Матеріали конференції «Інновації у будівництві». – Харків: ХНУБА, 2021. – С. 45–49.
5. Li V. C. Engineered Cementitious Composites (ECC) – Tailored Composites Through Micromechanical Modeling // Fiber Reinforced Concrete: Present and the Future. – 2001. – P. 64–97.
6. Малишев М. Г., Мельник О. А. Хімічна стабілізація ґрунтів для основ транспортних споруд // Транспортні технології. – 2020. – №2(18). – С. 33–38.
7. Hossain K. M. A., Lachemi M. Geopolymer concrete: Sustainable option for construction in developing countries // Construction and Building Materials. – 2010. – Vol. 24(8). – P. 1329–1337.

ВИДИ ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ

Бундюк Д.О., студент гр .ДХ-11-24

Науковий керівник: д.х.н., проф. Хоботова Е.Б.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Ще на початку ХХ ст. були зроблені спроби використовувати вуглецеві матеріали і в якості сорбентів, здатних до іонного обміну [1]. Спочатку для цієї цілі застосовували речовини типу активованого вугілля, отримані обробкою органічних речовин концентрованої сульфатною кислотою. В подальшому було встановлено, що багато сортів природного бурого або кам'яного вугілля володіють натуральними катіонообмінними властивостями, завдяки наявності в їх структурі гумінових складників з карбоксильними та іншими кислотними групами. Насправді, використання їх на практиці, наприклад водопідготовки, істотно ускладнювалось тим, що багато природного вугілля сильно набухає, містять великі кількості органічних і мінеральних домішок, які вимиваються в розчини, дуже чутливі по відношенню до кислот і лугів (лужні солі гумінових кислот розчинні у воді), легко пептизуються. Тому природне вугілля застосовували головним чином після стабілізації обробкою різноманітними речовинами – кислотами, лугами, солями Алюмінію, Купруму, Хрому та ін.

Для поліпшення механічних і катіонообмінних властивостей широко застосовували сульфкування вугілля сульфатною кислотою, яка димилась, завдяки чому у вугілля вводили сильнокислотні сульфогрупи, а також – внаслідок окислення – додаткові карбоксильні групи. При сульфванні відбувалася ще й поліконденсація структури, в результаті чого природне вугілля сильно ущільнювалось, гомогенізувалось і перетворювалось на гель, різко підвищувалась його хімічна і механічна стійкість. Сульфовугілля в свій час широко використовували в хімічній практиці, проте за властивостями вони все таки сильно поступалися синтетичним іонообмінним смолам, так як мали менш визначений і досить неоднорідний склад; гірші механічну і

хімічну стійкість, меншу здатність до іонного обміну, внаслідок чого були майже повсюди витиснені синтетичними катіонами.

Існують вуглецеві іонообмінники на основі карбонізаторів штучних і природних речовин, які містять вуглець. Це активоване вугілля із жорсткої пористою структурою, високою хімічною, термічною і радіаційною стійкістю, значною електропровідністю, які проявляють цікаві особливості сорбційної поведінки в розчинах електролітів, а також різноманітні каталітичні властивості, і володіють безперечними перевагами перед синтетичними іонами при вирішенні важливих технологічних задач.

Активне вугілля належить до групи графітових тіл і представляє собою, так само як і сажі, різновид мікрокристалічного вуглецю. Вугілля має так названу турбостратну будову, що виражається у відсутності трьохмірної упорядкованості графітових шарів [1]. Хоча зародки кристалічної решітки графіту появляються, як показано рентгенографічно, вже на початкових стадіях активації між структурою графіту і вугілля існують істотні відмінності. Розміри графітоподібних кристалів вугілля залежать від умов активації і можуть складати $(9-60)$ (висота) $\times$ $(7-100)$ (діаметр) Å. У вугіллі плоскі двомірні гексагональні сітки можуть бути розташовані паралельно і на однакових, хоча й відмінних від графіту, відстанях одна від одної, але по-різному повернуті відносно нормалі до осей.

В залежності від способу одержання вуглецевих матеріалів, який обумовлює ступінь регулярності, характер дефектності структури, стан поверхні, їх різноманітні властивості – механічні, тепло- і електрофізичні, сорбційні і іонообмінні – можуть змінюватися в широких границях. Проте добре проактивоване вугілля, незважаючи на відмінності, пов'язані зі способами одержання або спеціально обумовлені ними, мають і достатньо визначені спільні властивості.

І в об'ємі і на поверхні основним структурним елементом активованого вугілля являється складова частина кристалічної решітки графіту – система конденсованих ароматичних кілець.

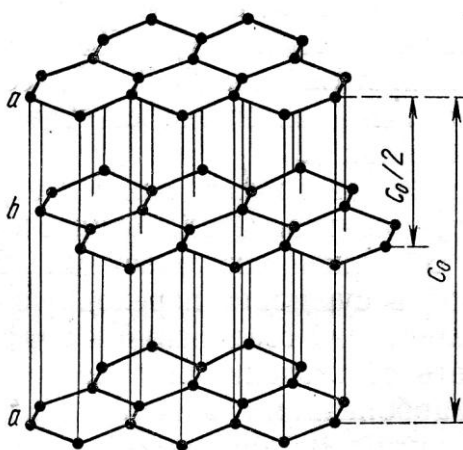


Рисунок 1 – Кристалічна решітка графіту

Вуглецеві матеріали з турбостратною структурою можна представити як особливий стан твердого тіла, що не має упорядкованої трьохмірної структури, але відрізняється від стану, який характеризується двомірною упорядкованістю атомів Карбону.

Величина електричного опору зазвичай пов'язана із структурними перетвореннями вуглецевих тіл, які відбуваються при різноманітних впливах. Електричний опір вугілля дуже сильно залежить від температури і умов їх попередньої обробки. При цьому в результаті нагрівання коксів (карбонізаторів) в інтервалі температур 500–900 °С їх питомий опір може знизитися на 7–9 і більше порядків [2]. Такі зміни пов'язані із структурними перетвореннями у вуглецевих тілах.

Оскільки вугілля представляє собою по суті перехідний етап від конденсованих поліциклічних сполук до графіту, то їх провідність повинна залежати від ступеня упорядкованості. Хоча продукти карбонізації речовин, навіть утворені при порівняно низьких температурах (300–500 °С), вже містять зародки кристалічної структури графіту, а отже, і провідникові системи, але останні можуть бути відділені одна від одної ізолюючими не повністю розкладеними вуглеводними сполуками, аліфатичними ланцюгами. Це і створює великий опір проходженню струму. При підвищенні температури

і тривалості термообробки такі сполуки вигоряють, причому з тим більшою швидкістю, чим вища температура. Структура при цьому упорядковується, кристали графіту починають стикатися один з одним, створюючи єдину систему, що і обумовлює різке зниження опору вугілля при їх нагріванні та активації. Описані ефекти можуть бути обумовлені також різким збільшенням (приблизно на 6 порядків) числа носіїв струму.

Електропровідність вуглецевих матеріалів своєрідно залежить від температури. Температурний коефіцієнт електропровідності різних вуглецевих тіл може бути як негативним, так і позитивним; при термообробці одного і того ж матеріалу може спостерігатися інверсія знаку цього коефіцієнту. Такі зміни пов'язані зі структурою вугілля [3]. При цьому для менш упорядкованих матеріалів характерно зменшення опору із зростанням температури.

Висока електропровідність активованого вугілля відіграє важливу роль в наданні активному і модифікованому вугіллю властивостей вибіркового сорбентів і іонообмінників, при протіканні на вуглецевій поверхні різноманітних реакцій і каталітичних процесів.

Активоване вугілля має досить високі величини питомої поверхні (до 500–1000 м²/г і більше). Ці сорбенти зазвичай характеризуються розвиненою полідисперсною структурою, хоча спеціальними синтезами можуть бути отримані зразки і з вузьким розподіленням пор за радіусами необхідних розмірів. Пориста структура, безперечно, здійснює великий вплив на протікання сорбційних, іонообмінних і каталітичних процесів.

Поверхня активованого вугілля досить неоднорідна в геометричному і енергетичному відношеннях. Атоми Карбону на поверхні знаходяться в іншому електронному стані, ніж атоми об'ємної фази, особливо в місцях дефектів кристалічної решітки, на кутах, гранях і ребрах кристалів. Наявність у таких атомів Карбону вільних валентностей полегшує хімічну і сорбційну взаємодію з різними речовинами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод// А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
2. Kishibayev K.K., Serafin J., Tokpayev R.R. et al. Physical and chemical properties of activated carbon synthesized from plant wastes and shungite for CO₂ capture // J. Environmtntal Chemical Engineering. – 2021. - Vol. 9, Iss. 6. – 106798.
3. Moosavi S., Lai C.W., Gan S. et al. Application of Efficient Magnetic Particles and Activated Carbon for Dye Removal from Wastewater // ACS Omega. – 2020. – Vol. 5, Iss. 33. DOI:10.1021/acsomega.0c01905.

ТОКСИКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНГРЕДІЄНТІВ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

*Чуприна В. О., студентка гр. ДХ-11-24
Науковий керівник: канд. хім. наук, доцент, Даценко В. В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Однією з найактуальніших сучасних екологічних проблем промислових підприємств, що мають у своєму технологічному циклі гальванічні процеси, є проблема утворенням значних обсягів рідких і твердих відходів [1].

На практиці найчастіше заводські очисні споруди не можуть розв'язати проблему утилізації відходів. Переробка гальванічних шламів (ГШ) з подальшим захороненням на спеціалізованих полігонах є надто складною і економічно не вигідною. Найчастіше ГШ складаються на корисних майданчиках самого підприємства без належного санітарно-екологічного контролю. Під дією зовнішніх факторів відбувається вимивання з них токсичних речовин, що призводить до забруднення навколишнього природного довкілля [1-4].

Водночас ГШ містять значну кількість цінних компонентів, тому одним зі шляхів подальшого використання ГШ є їхнє застосування як вторинних компонентів у будівельній або іншій індустрії замість направлення їх у місця захоронення. Відомі в даний час способи знешкодження ГШ пов'язані з використанням їх як добавок у виробництві різних матеріалів: бетону, керамзиту, асфальту, портландцементу, цегли та керамічних виробів. Також можливе виготовлення з них пігментів і каталізаторів. Суттєвим недоліком цих технологій є неминуче вимивання іонів важких металів із цих матеріалів у навколишнє середовище [5].

Таким чином, основним критерієм оцінки можливості використання відходів у технологіях як вторинну сировину має стати екологічна безпека їхнього виробництва та застосування [6].

Для розгляду було обрано відходи різних підприємств, що мають гальванічні виробництва (табл. 1).

Таблиця 1 – Склад деяких промислових відходів підприємств України, що мають гальванічне виробництво

Підприємство, кількість, т/рік		Суднобуді- вельний завод "Залив", 1043	ОАО "Нікра", 43	ОАО Завод "ФІОЛЕНТ", 10	ОАО "Нева", 550
Маса інгредієнта, т/т	Al_2O_3	-	-	-	0,0059
	Ni_2O_3	-	-	-	0,0018
	Fe_2O_3	0,0877	0,0104	—	0,0141
	ZnO	0,172	0,0098	0,0169	0,0002
	CuO	0,0011	0,0001	0,0128	0,0194
	PbO	0,0022	$2 \cdot 10^{-5}$	0,0008	—
	NiO	0,0014	0,0002	—	—
	MnO	0,0041	0,0023	0,0346	—
	Cr_2O_3	0,0365	0,0073	0,0361	0,0054
	CdO	0,0003	—	0,0016	—

Як видно з наведеної таблиці, промислові відходи розглянутих підприємств мають подібний компонентний склад, однак, концентрації металів у них помітно коливаються. Така розбіжність у кількісному вмісті важких металів у відходах виробництва однієї галузі залежить від потужності підприємства та технології використовуваних процесів.

Визначення класу небезпеки відходів проводили розрахунковим методом за вже встановленим фізико-хімічним складом на основі значень середньої смертельної дози хімічного інгредієнта при введенні в шлунок (LD_{50}) або гранично допустимої концентрації токсичної хімічної речовини у ґрунті ($ГДК_r$) [7].

Індекс токсичності (K_i) для кожного компонента у відходах розраховували за формулами [7]

$$K_i = \frac{\lg(LD_{50})_i}{(S + 0,1F + C_b)_i} \quad \text{або} \quad K_i = \frac{ПДК_i}{(S + 0,1F + C_b)_i}$$

де: LD_{50} – значення середньої смертельної дози хімічного інгредієнта при введенні у шлунок;

$ПДК_i$ – гранично допустима концентрація токсичної хімічної речовини у ґрунті, що міститься у відході;

S – коефіцієнт, що відбиває розчинність його у воді, безрозмірний;

F – коефіцієнт леткості даного компонента, безрозмірний;

C_b – вміст даного компонента у загальній масі відходів, у т/т;

i – порядковий номер компонента.

Сумарний індекс токсичності (K_Σ) розраховували за формулою [7]

$$K_\Sigma = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i$$

де: $n \leq 3$;

K_Σ – сумарний індекс токсичності, яким визначають клас токсичності.

Вміст токсичних речовин ($C_{\text{ІП}}$) у загальній масі відходів розраховували за формулою [7]

$$C_{\text{ІП}} = \frac{\lg(LD_{50})_i \sum a_i}{n^2 \cdot K_{\text{ІІІ}}} - (S_1 + 0,1F_1)$$

де: LD_{50} – значення середньої смертельної дози для хімічного інгредієнта суміші, для якого величина K_i , є мінімальною;

S_1 – коефіцієнт, що відображає розчинність компонента у воді, що відповідає K_1 ;

F – коефіцієнт, що відображає розчинність компонента у воді, що відповідає;

K_{III} – індекс токсичності, що відповідає III класу;

Σa_i – сума відносин K_1 , K_2 , K_3 до мінімальної величини K_1

$$\Sigma a_i = 1 + \frac{K_2}{K_1} + \frac{K_3}{K_1}.$$

Клас небезпеки відходів різних виробництв визначено для деяких гальванічних промислових підприємств України (табл. 2).

Таблиця 2 – Токсикологічні властивості інгредієнтів, що входять до складу промислових відходів

Назва інгредієнта	Маса інгредієнта, т/т	K_i (по $ГДК_r$)	K_i (по LD_{50})	K_{Σ} (по $ГДК_n$)	K_{Σ} (по LD_{50})	КО	$C_{пр}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Судобудівельний завод "Залив"							
Шлам гальванічний пастоподібний у кількості 1043 т/рік							
CdO	0,0003	4921	6087	> 30,1	13,7	IV	0,06
Cr ₂ O ₃	0,0365	164	72,7				
CuO	0,0011	2655	2215				
Fe ₂ O ₃	0,0877	11403	42,2				
MnO	0,0041	365864	668				
NiO	0,0014	2920	1554				
PbO	0,0022	13514	1062				
ZnO	0,172	134	12,7				
Судобудівельний завод "Залив"							
Шлам гальванічний у кількості 277 т/рік							
CuO	0,0033	923	738	>> 30,1		IV	0,2
Fe ₂ O ₃	0,3800	2632	9,7				
MnO	0,0041	363196	668				
NiO	0,0014	2920	1554		5,5	III	
PbO	0,0022	13953	1062				
ZnO	0,1794	128	12,1				

1	2	3	4	5	6	7	8
ОАО "Нікра" Шлам гальванічного виробництва у кількості 43 т/рік							
PbO	0,00002	1500000	116823	>> 30,1	>> 10,0	IV	0,2
ZnO	0,0098	2337	222				
CuO	0,0001	33333	24362				
NiO	0,0002	22222	10880				
Fe ₂ O ₃	0,0104	96154	35,6				
MnO	0,0023	660793	1191				
Cr ₂ O ₃	0,0073	821	363				
ОАО "Завод Фіолент" Гальванічний шлам у кількості 10 т/рік							
ZnO	0,0169	1361	129	> 30,1	34,1	IV	0,02
PbO	0,0008	36585	2921				
Cr ₂ O ₃	0,0361	166	73,5				
NiO	0,0346	116	62,9				
CuO	0,0128	235	190				
CdO	0,0016	938	2178				
ОАО "Нева" Шлак після реагентного очищення гальванічних стоків у кількості 550 т/рік							
Fe ₂ O ₃	0,0141	70922	262	>> 30,1	>> 10,0	IV	0,006
Ni ₂ O ₃	0,0018	2210	1209				
CuO	0,0194	155	126				
ZnO	0,0002	1438	10880				
Al ₂ O ₃	0,0059		610169				
Cr ₂ O ₃	0,0054	1109	491				
НПООО «МАТЕКО» Шлам очищення гальванічних ван							
Fe ₂ O ₃	0,3927	2546	9,4	>> 30,1	19,8	IV	0,8
Cr ₂ O ₃	0,038	158	69,8				
ZnO	0,0049	4694	444				
CuO	0,0015	2069	1624				
CdO	0,0009	1667	3873				
PbO	0,0005	55556	4493				
MnO	0,0332	45222	82,5				
Al ₂ O ₃	0,0042		847				

Розрахунок індексу токсичності (K_i) для міді та цинку у відходах показав їх високу токсичність. Тому вміст ВМ у відходах навіть у порівняно малих кількостях, але при регулярному накопиченні та скиданні в промислові води, призводить до потрапляння в навколишнє середовище та накопичення в ньому досить високих концентрацій ВМ, які володіють широким спектром біологічної дії на організми людини і тварин.

Розрахунок сумарного індексу токсичності відходів підприємств України показує, що згідно з класифікацією небезпеки хімічних речовин на основі як LD_{50} , так і $ГДК_i$ промислові відходи здебільшого належать до IV класу небезпеки, тобто є малонебезпечними для довкілля. Четвертий клас небезпеки розглянутих відходів визначає відсутність обмежень при використанні техногенної сировини в будівельній галузі. Про малу токсичність відходів свідчать і низькі значення граничного вмісту токсичних речовин ($C_{гр} \leq 1$) у загальній масі відходів.

Таким чином, як показують представлені результати досліджень, вирішення проблеми утилізації небезпечних відходів потребують дотримання основних критеріїв оцінки можливості їх використання у технологіях вторинної переробки. А для цього необхідно попереднє визначення екологічної небезпеки їхнього виробництва та застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Minelgaite, A.; Liobikiene, G. Waste problem in European Union and its influence on waste management behaviours. *Science of The Total Environment*, 2019, 667, 86–93. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.313
2. Чуприна В.О., Даценко В.В. Деякі актуальні питання очистки стічних вод гальванічного виробництва // Міжнародна науково-практична конференція за участю молодих науковців «Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2024» 24 жовтня 2024. – Харків, ХНАДУ. – С. 151–154.
3. Чуприна В.О., Даценко В.В. Сучасні актуальні питання гальванічного виробництва // Матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної

- конференції “Актуальні проблеми хімії та хімічної технології”, 21-22 листопада 2024 р. – К.: НУХТ, 2024 р. – С. – 237–238.
4. Чуприна В.О., Даценко В.В. Деякі проблеми очистки стічних вод гальванічного виробництва // Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики та рішення в контексті євроінтеграції України», 5 - 6 листопада 2024 р. – Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. – С. 48–52.
5. Datsenko, V.; Khimenko, N.; Egorova, L.; Svishchova, Ya.; Dubyna, O.; Budvytska, O.; Lyubymova, N.; Pasternak, V.; Pusik, L. Construction of the algorithm for assessing the environmental safety of galvanic sludges. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, 6, 10(102), 42–48. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.188251.
6. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення / ДСанПіН 2.2.7.029-99 // Затверджено від 1 липня 1999 р. – К., 1999. – 21 с.

ЕКОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТРАВЛЕННЯ МІДНИХ СПЛАВІВ

*Литовченко В.М. студентка гр. ДХ-11-24
Науковий керівник: канд. хім. наук, доцент, Єгорова Л. М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

У сучасному світі в галузях машинобудування, радіоелектроніки широко використовуваними сплавами, що містять берилій, є мідно - берилієві сплави. Вони займають високе місце серед мідних сплавів за досяжною міцністю, зберігаючи при цьому високі електро- та теплопровідність. Застосування цих сплавів включає[1]:

- Електронні компоненти, де міцність, здатність до формування та сприятливий модуль пружності цих сплавів роблять їх добре придатними для використання як контакти для електронних роз'ємів;
- Електрообладнання, де їх втомна міцність, провідність і стійкість до релаксації напруги призводять до використання їх як перемикачів і реле;
- Системи контактного зварювання, де висока твердість і провідність є важливими для конструктивних і витратних компонентів зварювання.

Берилієва бронза володіє унікальним набором фізико-механічних властивостей. Крім того, при механічній обробці БрБ2 необхідно добре контролювати виділення токсичного пилу, але і ця проблема успішно вирішується при розмірній обробці мідно-берилієвого сплаву операцією хімічного травлення.

Вміст іонів Be^{2+} та Cu^{2+} визначали методом атомно-абсорбційної спектрометрії, використовуючи спектрометр атомної абсорбції МРА-915 МД.

Мінералогічний склад осадів малорозчинних сполук, що утворюються в відпрацьованих травильних розчинах, визначали за допомогою рентгенофазового аналізу. Порошкові дифрактограми отримані на

дифрактометрі «Siemens D500» (випромінювання $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.54184\text{\AA}$, графітовий монохроматор на вторинному пучку, геометрія Бреґґа-Брентано).

Первинна ідентифікація фаз виконана по картотеці PDF-1, що входить в програмне забезпечення дифрактометра. Розрахунок рентгенограм зразків виконаний за методом Ритвельда, з використанням програми FullProf [2].

Згідно з експериментальними даними були обчислені показники травлення, а саме максимальна, мінімальна і середня в часі швидкість травлення сплаву, різниці між значеннями швидкості травлення берилієвої бронзи за цикл травлення, які і наведені в таблиці 1:

Таблиця 1 – Кількісні характеристики травлення сплаву Бр2

№ п/п	Склад розчину, моль/л	*Швидкість травлення сплаву БрБ2, $\text{кг/м}^2\cdot\text{с}$		
		$v_{\max}$	$v_{\min}$	v_{med}
1	0,5M FeCl_3	1,61	0,39	1
2	0,5M FeCl_3 + 0,5M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$	2,0	0,7	1,35
3	0,5M FeCl_3 + 0,5M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ + 0,25M H_2SO_4	2,2	0,77	1,5
4	0,5M FeCl_3 + 0,5M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ + 0,5M HCl	2,5	0,8	1,65
5	1,0M FeCl_3	2,7	0,3	1,5

* $v_{\max}$ – максимальне значення швидкості травлення сплаву БрБ2 за цикл травлення;

$v_{\min}$ – мінімальне значення швидкості травлення сплаву БрБ2 за цикл травлення;

v_{med} – середнє значення швидкості травлення сплаву БрБ2 за цикл травлення.

Саме дані показники, а не первісне значення швидкості травлення, оптимально характеризують здатність розчину до тривалого високошвидкісного травлення сплаву. Висока швидкість травлення в розчині 1,0M FeCl_3 в порівнянні з іншими обумовлена, перш за все, найбільшою концентрацією іона - окислювача Fe^{3+} . Швидкість розчинення сплаву зростає як в залежності від концентрації іона Fe^{3+} , так і від сумарної концентрації іонів хлору і рН розчину, що забезпечують добавки до розчину 0,5M FeCl_3 у

вигляді $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ і HCl . Саме цим можна обґрунтувати високошвидкісне травлення сплаву БрБ2 в розчині $0,5\text{M FeCl}_3 + 0,5\text{M Fe}(\text{NO}_3)_2 + 0,5\text{M HCl}$.

Крім того, зростання швидкості розчинення берилієвої бронзи можна пояснити утворенням в розчині комплексів заліза (III), що активують розчинення мідної складової сплаву, в той час як зниження рН розчину забезпечує розчинення берилієвої компоненти сплаву БрБ2.

Розчинення берилієвої бронзи проводили в одному і тому ж об'ємі розчину до появи завислої твердої фази. Концентрації метало-іонів в відпрацьованих розчинах, визначені атомно-абсорбційним методом. Удосконалити технологічний процес травлення можна за рахунок збільшення його тривалості без скидання відпрацьованих розчинів в промисловий стік.

У цьому випадку використовують розчини, що мають найбільш високу ємність по компонентам сплаву: розчин складу 4 (22,2г/л); складу 3 (21,2 г/л) позначення відповідають таблиці 2. Сумарна концентрація іонів міді і берилію в даний момент часу відповідала «ємності» розчину по компонентам, які розчиняються (табл 2).

Таблиця 2 – Максимальна сумарна концентрація іонів міді та берилію за цикл травлення (нумерація складів травильних розчинів відповідає таблиці 1)

Склад розчину	Тривалість циклу травлення до випадіння осаду, хв.	Сумарна концентрація іонів міді і берилію, г/л
$0,5\text{M FeCl}_3$	160	10,45
$0,5\text{M FeCl}_3 + 0,5\text{M Fe}(\text{NO}_3)_2$	180	20,27
$0,5\text{M FeCl}_3 + 0,5\text{M Fe}(\text{NO}_3)_2 + 0,25\text{M H}_2\text{SO}_4$	160	22,1
$0,5\text{M FeCl}_3 + 0,5\text{M Fe}(\text{NO}_3)_2 + 0,5\text{M HCl}$	180	22,2
$1,0\text{M FeCl}_3$	160	21

При повному виснаженні травильних розчинів в них утворюються малорозчинні сполуки. Мінералогічний склад цих сполук було визначено рентгенофазовим аналізом. В кожному зразку присутня фаза FeOOH і фаза $\text{CuCl}_2 (\text{H}_2\text{O})_2$ в найбільшій кількості. Причому осад отриманий з розчину складу $0,5\text{M FeCl}_3 + 0,5\text{M Fe} (\text{NO}_3)_2 + 0,5\text{M HCl}$ більш збагачений $\text{CuCl}_2 (\text{H}_2\text{O})_2$ (42,7%) в порівнянні з осадом з розчину складу $0,5\text{M FeCl}_3$, в якому вміст $\text{CuCl}_2 (\text{H}_2\text{O})_2$ становить 21,4%. Це доводить, що найбільшою ємністю по мідній компоненті сплаву БрБ2 має саме розчин складу $0,5\text{M FeCl}_3 + 0,5\text{M Fe} (\text{NO}_3)_2 + 0,5\text{M HCl}$, що узгоджується і з результатами атомно-абсорбційного аналізу. Берилій не входить до складу сполук осаду і залишається в рідкій фазі у вигляді комплексів [3].

Обрані склади розчинів, які забезпечує високошвидкісне і рівномірне травлення сплаву БрБ2: 1) $0,5 \text{ M FeCl}_3$; 2) $0,5 \text{ M FeCl}_3 + 0,5 \text{ M Fe}(\text{NO}_3)_3 + 0,25 \text{ M H}_2\text{SO}_4$; 3) $0,5 \text{ M FeCl}_3 + 0,5 \text{ M Fe}(\text{NO}_3)_3 + 0,5 \text{ M HCl}$. З урахуванням факторів простоти і дешевизни складу при високих показниках швидкості травлення і рівномірності розчинення обох компонентів берилієвої бронзи БрБ2 в якості оптимального запропоновано склад $0,5 \text{ M FeCl}_3$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kong D. Insight into the mechanism of alloying elements (Sn, Be) effect on corrosion during long – term degradation in harsh marine environment / D. Kong, C. Dong, N. Xiaoging, C. Man, K. Xiao, L. Xiaoging // *Applied Surface Science*. – 2018 – Volume 455 – P. 543-553.
2. Rodriguez-Carvajal J., Roisnel T. FullProf. 98 and WinPLOTR: New Windows 95/NT Applications for Diffraction. Commission for Powder Diffraction, International Union of Crystallography, Newsletter No.20 (May-August) Summer 1998.
3. Larin V., Egorova L. Study of chemical dissolution of Cu98Be Alloy in solutions based on FeCl_3 // *French-Ukrainian journal of chemistry*. – 2018. – Vol. 6, ISSUE 01. – P. 82-90.

ЗМІСТ

<i>Секція «Мости, конструкції та будівельна механіка»</i>	3
<i>Босенко Ю. ДМ-22-23</i> ВІДБУДОВА МОСТІВ І ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛІВ УКРАЇНИ: ДОСВІД ХОРВАТІЇ	4
<i>Безвесільний Р. ДМ-51-24</i> СВІТОВИЙ ДОСВІД РОБОТИЗАЦІЇ БУДІВНИЦТВА МОСТІВ	7
<i>Гура В. ДМ-51-24</i> ГЕНЕРАТИВНИЙ ДИЗАЙН В ПРОЄКТУВАННІ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ	13
<i>Токар В. ДМ-51-24</i> БАГАТОРІВНЕВІ ПАРКІНГИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ	20
<i>Негрій Я. ДМ-51-24</i> ЗАСТОСУВАННЯ БІОПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ РОЗВИТКУ ДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	26
<i>Корнейко В. ДМ-41-21</i> ГЕОТЕХНІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПІДЧАС БУДІВНИЦТВА	30
<i>Гетало Д. ДМ-51-24</i> БУДІВНИЦТВО МОСТІВ У СКЛАДНИХ УМОВАХ	36
<i>Миколенко О. ДМ-51-24</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДСИЛЕННЯ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ МОНОЛІТНОЮ НАКЛАДНОЮ ПЛИТОЮ	47
<i>Володченко Є., Середа М. ДМ-36т1-22</i> АНАЛІЗ РОБОТИ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ ЗА ТП 122-62 НА СУЧАСНІ НАВАНТАЖЕННЯ	57
<i>Загорулько І. ДМ-51-24</i> АНАЛІЗ РІЗНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПРОГОНОВИХ БУДОВ	69
<i>Плем'яник Є. ДМ-51-24</i> ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА ЕСТАКАД	76

<i>Ищенко М. ДМ-36m1-22</i> ВІДНОВЛЕННЯ МОСТІВ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ПІСЛЯ РУЙНУВАННЯ	87
<i>Дорожко І., Костенко А., ДМ-31-22 Барабаш К. ДМ-26m1-23</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ТА СПОСОБУ ПІДСИЛЕННЯ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ МОСТОВОЇ СПОРУДИ ПРИ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ	93
<i>Воровік О. ДМ-31-21</i> ІСТОРІЯ БУДІВНИЦТВА МОСТА ПАТОНА	102
<i>Кучерук Я. ДМ-31-21</i> ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЗАХИСТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ БЕТОННИХ ПОВЕРХОНЬ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД	108
<i>Бердак К. ДМ-36m1-22</i> ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОГО АРМУВАННЯ В ТРАНСПОРТНОМУ БУДІВНИЦТВІ	114
<i>Олійник В. ДМ-51-24</i> ДЕЯКІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПОВЕРХОНЬ	119
<i>Швець І. ДМ-51-24</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ В МОСТОВОМУ БУДІВНИЦТВІ	125
<i>Муравой М. ДМ-31-21</i> САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНІ БЕТОНИ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ	131
<i>Бездрабко В. ДМ-36m1- 22</i> ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ГАБІОНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ	136
<i>Семенюк Д. ДМ-51-24</i> ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РЕМОНТУ БЕТОННИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ	143
<i>Клименко В. ДМ-51-24</i> МОСТИ МОГО МІСТА: ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	148
<i>Барабаш К. ДМ-26m1- 23</i> ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЕКСТРАДОЗНИХ МОСТІВ	155

Волков І., Клименко Є. ДМ-26т1-23

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТЕМПЕРАТУРНО-НЕРОЗРІЗНИХ 159
ПРОГОНОВИХ БУДОВ В УКРАЇНІ

Закривидорога В. ДМ-16т1-24

ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА 163
МІЦНІСТЬ

*Овчаренко Г. А-21 Харківський фаховий коледж будівництва,
архітектури та дизайну*

ЕВОЛЮЦІЯ ФЕРМОВИХ КОНСТРУКЦІЙ В МОСТОБУДУВАННІ 175

Шупік Д. З1Д Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж

ВІДНОВЛЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ У 181
2024 РОЦІ

Кузь І. 41ДМ Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж

ВАЖЛИВА РОЛЬ БУДІВНИЦТВА МОБІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ ПІД 186
ЧАС ВІЙНИ УКРАЇНИ З РОСІЄЮ

Секція «Хімія та хімічні технології» 195

Романюк А. ДХ-31-22

ХІМІЧНІ МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ В БУДІВНИЦТВІ 196

Бундюк Д. ДХ-11-24

ВИДИ ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ 200

Чуприна В. ДХ-11-24

ТОКСИКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНГРЕДІЄНТІВ 205
ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Литовченко В. ДХ-21-23

ЕКОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ 212
ТРАВЛЕННЯ МІДНИХ СПЛАВІВ

Збірник наукових праць

Секції

«Мости, конструкції та будівельна механіка»
і «Хімія та хімічні технології»

87-а міжнародна наукова конференція студентів
університету

07-11 квітня 2025 року

Матеріали опубліковано в авторській редакції мовою оригіналу

Відповідальний за випуск О.А. Овчаренко

Комп'ютерна верстка К.В Бережна

Підп. до друку Формат 60 x 84/16. Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman Суг. Друк цифровий
Умов. друк. арк. Обл.-вид. арк.
Зам. № 19/04/25, Тираж 60 прим.

Віддруковано ФОП Крамаренко Ю.М.
Свідоцтво про держреєстрацію АБ №815827
Від 22.03.13р.