

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

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

Збірник наукових праць
85-ї міжнародної наукової конференції студентів
10-14 квітня 2023 року

Харків 2023

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

УДК 66.0 – секція «Хімія та хімічні технології»

Редакційна колегія

Сергій БУГАЄВСЬКИЙ – д.т.н., професор кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського

Тетяна НЕНАСТІНА – д.т.н., доцент 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 85-ї міжнародної наукової конференції студентів (10-14 квітня 2023 року)/ ХНАДУ. Харків, 2023. – 169 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, 2023

©ХНАДУ, 2023

Секція
«Мости, конструкції та будівельна механіка»

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПО ВІДНОВЛЕННЮ МОСТІВ ЗРУЙНОВАНИХ В НАСЛІДОК ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ

*Рябовол О.О. ДМ-51-22, Ялов Ю.М. ДМ-51-22
Науковий керівник: д.т.н, проф. каф. МКБМ Бугаєвський С.О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

При сучасному стані проєктування та будівництва мостів та високому рівні наукових досягнень у галузі теорії їх розрахунку, руйнування мостів за нормальних умов їх експлуатації практично виключені. Але військова агресія Російської Федерації привела до руйнування транспортної інфраструктури в 15 областях України. За даними першого заступника голови Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України Андрія Івко на початок січня 2023 року, в країні, внаслідок бойових дій зруйновані 25,1 тис. км доріг та 341 штучні споруди в їхньому складі. З них на державній мережі - 8,8 тис. км та 150 мостів та шляхопроводів. Найбільше зруйнованих мостів у Чернігівській області – 27, Харківській – 25, Київській – 24. Це підрахунки тільки на підконтрольних Україні територіях [1].

Через війну в Чернігівській області пошкоджено 680 км державних автомобільних доріг, на дорозі М-01 Київ - Чернігів - Нові Яриловичі зруйновані 2 великих автомобільних мости через річку Десна поблизу обласного центру та розірвано пряме сполучення зі столицею. В Луганській, Донецькій та на лівобережжі Херсонської області руйнування поки не встановлювалися [1].

З кожним деокупованим регіоном України необхідність швидкого відновлення зруйнованих мостів для транспортних зв'язків росте у геометричній прогресії. Відновлення мостів є спільною роботою підрядників обласних служб відновлення та розвитку інфраструктури і Спеціальної служби транспорту Міністерства оборони України. На 76 мостах уже відновлено проїзд за рахунок будування об'їзних доріг або зведення тимчасових переправ. На 28.03.2023 р. у Харківській області функціонує вже

22 тимчасові переправи та ще одна знаходиться у будівництві. Також ремонтуються вцілілі мости, як приклад – 200-м міст через річку Псел в Сумській області. Інша проблема при відновленні мостів, зруйнованих війною у тому, що більшість об'єктів доведеться відбудувати «з нуля». Великий міст через річку Десну навколо м. Чернігів потребує значного фінансового ресурсу і часу. За останніми оцінками, на відбудову усієї знищеної інфраструктури України знадобиться близько 4 років [1].

Роботи з відновлення мостів у більшості випадків представляють великі технічні труднощі, внаслідок складності вибору найбільш раціонального способу відновлення, труднощі практичного виконання відновлювальних робіт і значних ускладнень, що викликані різноманітністю і часто невідомістю всіх пошкоджень, що є на мосту. Тому відновлення зруйнованих мостів є своєрідною і складною галуззю мостової справи, що має свій досвід і свої методи. Викладене вище потребує розробки організаційно-технічних рішень з відновлення мостів, зруйнованих в наслідок військової агресії Російської Федерації і перш за все розробки класифікації мостів за групами руйнації.

Руйнування мостів за своїм характером можуть бути дуже різноманітні і залежать від причини, що викликала руйнування, а також від обставин, що його супроводжували. За своїм *характером руйнування мостів* можуть бути поділені на такі основні групи [2]:

- 1) повне руйнування мосту на всій його довжині;
- 2) повне руйнування мосту на частині його довжини;
- 3) руйнування окремих елементів мосту (прогонових будов, опор, тощо);
- 4) дрібні пошкодження мосту, що не викликали обвалення його частин.

Наведений поділ не можна розглядати як вичерпний, тому що характер і види руйнувань вкрай різноманітні й часто несподівані.

Повне руйнування мосту на всій його довжині. При повному руйнуванні на місці малої штучної споруди в насипу утворюється пролом. У більшості мостів через багатководні річки, при повному руйнуванні можуть бути обрушені всі його прогонові будови та опори. Фундаменти опор, а часто і

нижні частини надземної кладки опор зазвичай зберігаються або бувають лише пошкоджені (рис. 1). Однак бувають випадки, коли руйнування поширюється вглиб кладки у фундаменти, нижче поверхні землі, часто на значну глибину.

Повністю зруйнований міст, залежно від причини і характеру руйнування, може бути безладною купою уламків, зовсім не придатних для використання при відновлювальних роботах (рис. 2), або окремі його частини можуть виявитися придатними для подальшого відновлення мосту (рис. 3).



Рисунок 1 – Руйнування опори: а – кам'яної; б – бетонної [2]

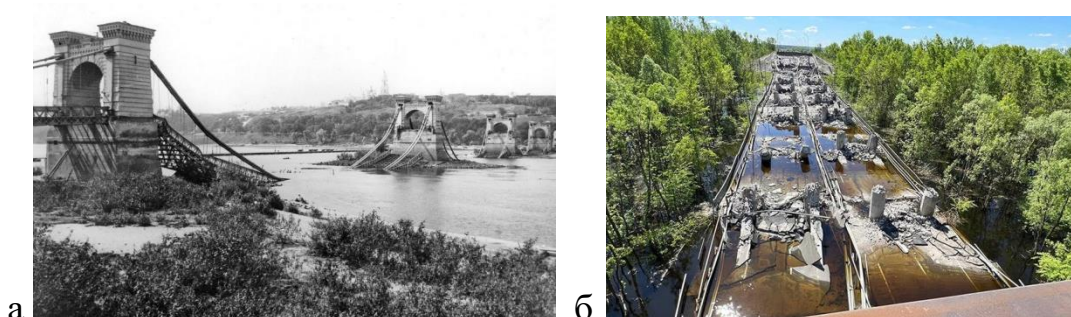


Рисунок 2 – Повністю зруйнований міст, прогонові будови якого не придатні для використання під час відновлювальних робіт (а, б) [1, 2]



Рисунок 3 – Повністю зруйнований міст, прогонові будови якого придатні для використання при відновленні (а, б) [2]

У дерев'яних мостах, повністю зруйнованих пожежею (рис. 4), зазвичай зберігаються лише нижні частини паль опор, що знаходяться у воді або бетонні опори (рис. 5).

Повне руйнування мосту на частині його довжини. Цей вид руйнування відрізняється від попереднього тим, що повністю зруйнованою виявляється тільки частина мосту, зазвичай із великими прогонами, зі складною і важкою конструкцією, що найбільш важко відновлюється (рис. 6).



Рисунок 4 – Руйнування пожежею дерев'яного мосту Ваньань у Китаї: а – міст до пожежі; б – пожежа на мосту [2]



Рисунок 5 – Залишки мостів після пожежі (а, б) [2]

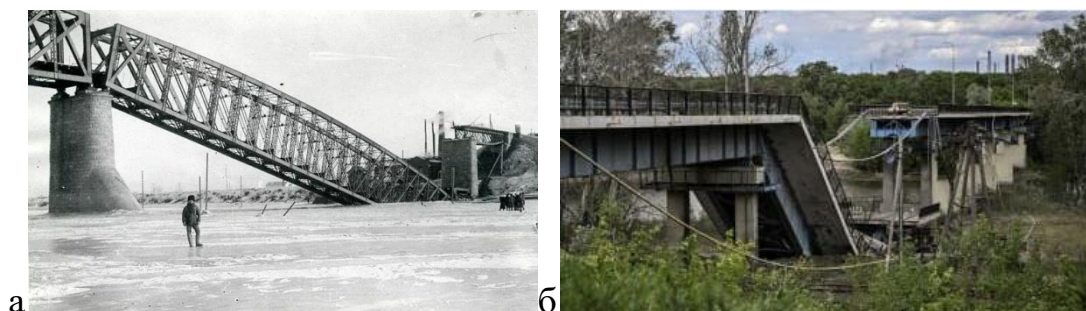


Рисунок 6 – Міст, зруйнований на частині довжини (а, б) [1, 2]

Іноді порушення прогонових будов викликається руйнуванням їх кінців (рис. 7, а), в опорних вузлах, опорних частинах або опорних панелях. У цих випадках верхня частина опор мосту зазвичай також виявляється пошкодженою. У деяких випадках прогонові будови дуже сильно зруйновані, відразу в декількох місцях (рис. 7, б).

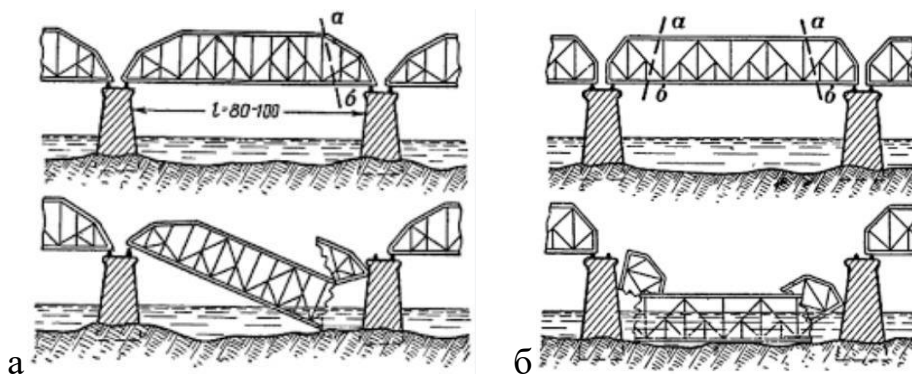


Рисунок 7 – Обрушення прогонових будов у результаті руйнування їх біля опори (а) або в декількох місцях (б) [2]

Якщо руйнування мосту викликано пошкодженням його опор, то сильно пошкоджені і відповідні кінцеві частини прогонових будов. Металеві прогонові будови, що впали, залежно від причини їх обвалення, висоти і умов падіння, в одних випадках виявляються сильно деформованими від падіння, а в інших зберігають експлуатаційний стан на всій або на частині довжини.

Дерев'яні прогонові будови при падінні зазвичай розламуються, перетворюючися на безладну купу уламків. Виняток становлять лише дощаті та клеєні ферми, які при падінні іноді повністю або частково зберігаються (рис. 8).



Рис. 1.8 – Зруйнований дерев'яний шляхопровід (а) та міст (б) [2]

Залізобетонні прогонові будови, що впали, внаслідок великої власної ваги сильно розтріскуються; при цьому в пошкоджених місцях арматура в більшості випадків залишається цілою (рис. 9). Використання залізобетонних мостів, що впали шляхом їх підйому, представляє відомі труднощі внаслідок великої власної ваги конструкції, але іноді все ж таки виявляється можливим.

Кам'яні склепіння при обрушенні ламаються на частини, використання яких для відновлення можливе тільки у вигляді окремих каменів, отриманих шляхом розбирання зруйнованої кладки.

Руйнування окремих елементів мосту зустрічаються найчастіше. На рисунку 10 представлені приклади залізобетонних мостів із різними прогоновими будовами, що мають руйнування окремих елементів.

Дрібні пошкодження мостів, що не викликали обвалення його частин, зазвичай являють собою погнутості, розриви та переломи окремих елементів, пробоїни у проїзній частини та окремих елементів, вибоїни в кладці масивних прогонових будов і опор тощо (рис. 11).

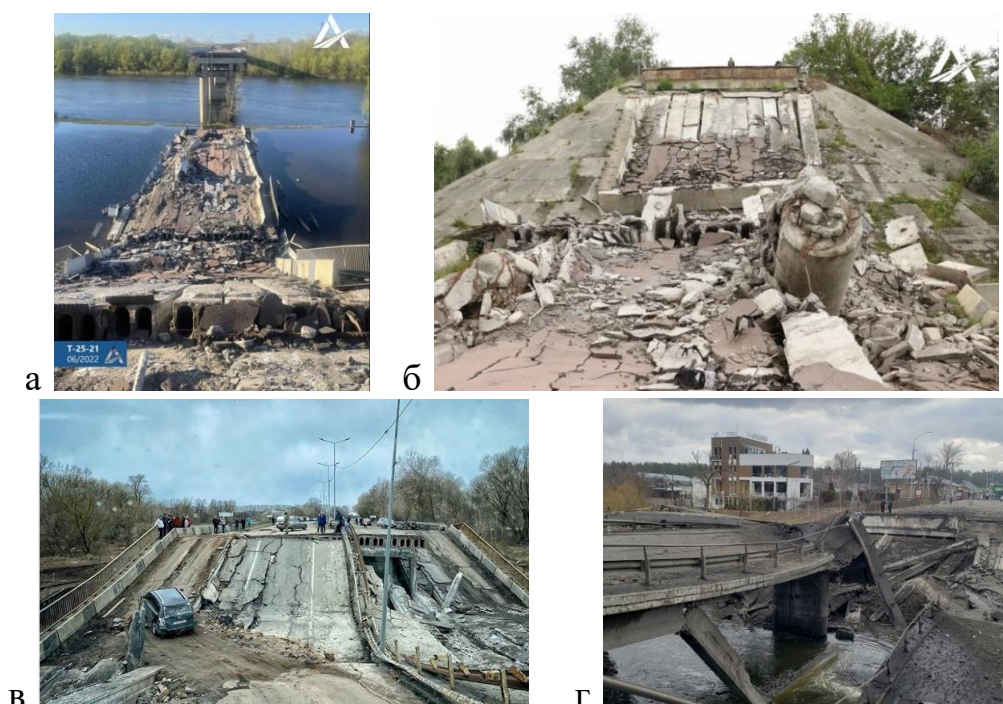


Рисунок 9 – Зруйновані залізобетонні мости (а-г) [1-3]



Рисунок 10 – Мости із руйнуванням окремих елементів прогонової будови (а-г) [1-3]



Рисунок 11 – Пошкодження мостів, що не викликали обвалення прогонової будови (а-г) [1-3]

При дрібних пошкодженнях невідповідальних елементів мосту загалом немає видимих деформацій. При пошкодженні основних несних конструкцій,

розриві поясу або розкосу головної ферми, у прогоновій будові мосту виникають видимі деформації у вигляді провисання або перекосу, що не обов'язково призводить до обвалення мосту (рис. 11, в).

Іноді не призводять до обвалення і серйозніші пошкодження конструкції, руйнування частини ширини склепіння в кам'яних, бетонних і залізобетонних аркових мостах, руйнування однієї з головних балок або ферм в залізобетонних або металевих мостах із їздою поверху тощо.

Висновки

Перелічені вище різні види руйнувань мостів можуть зустрічатися у різних комбінаціях, коли міст повністю зруйновано на частині довжини, а в іншій частині тільки часткова руйнація; часткові руйнування елементів мосту супроводжуються дрібними ушкодженнями конструкції тощо. Руйнування мостів іноді супроводжується також і руйнуванням підходів до них.

Запропонована класифікація руйнувань мостів є початком розробки організаційно-технічних рішень з відновлення мостів, зруйнованих у наслідок військової агресії Російської Федерації.

Перелік посилань

1. Сайт Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України. <http://ukravtodor.gov.ua/>.
2. Бугаєвський С.О. Відновлення мостів і труб після пошкодження : конспект лекцій (частина 1) / С.О. Бугаєвський, К.В. Бережна, С.М. Краснов, Ю.В. Бугаєвська. Харків: ХНАДУ, 2023. 186 с.
3. Проект «Павло Авдокушин. Інфраструктурний оглядач». <https://avdokushyn.info/pro-proekt/>.

ПРОПУСК ВЕЛИКОВАГОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПО АВТОДОРОЖНІМ МОСТАМ В УКРАЇНІ

*Вишняков Є.С. ДМ-51-22, Лебединець І.Є. ДМ-51-22, Щітка О.В. ДМ-51-22
Науковий керівник: д.т.н., проф. каф. МКБМ Бугаєвський С.О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Забезпечення пропуску великовагових транспортних засобів по автодорожнім мостам є одним з основних завдань інженерних військ Збройних сил України, а найскладнішим елементом цієї діяльності є переправа або наведення мостів через природні перешкоди. Збройні сили НАТО поділяють військові мости на три категорії [1]:

- штурмові мости, так звані мости близької підтримки, перевозяться і встановлюються на гусеничному шасі, з прогонами довжиною близько 20 м;
- загальні опорні мости (GSB - general support bridges) з прогонами близько 40 м, перевозяться на декількох колісних транспортних засобах;
- мости ліній зв'язку (LOC – line-of-communication bridges), які найчастіше є складними або понтонними конструкціями, використовуються для переправи через широкі водойми.

Ця класифікація була створена у відповідь на різні сценарії використання, а також у зв'язку із конструктивними відмінностями між перерахованими трьома категоріями мостів. Мости LOC і GSB часто використовуються в рамках заходів із ліквідації наслідків кризових ситуацій для підтримки місцевого населення, для забезпечення життєдіяльності мережі доріг. Використовуються в якості тимчасових мостів, які замінюють постійні мости, пошкоджені повеннями.

Військові мости проєктуються інакше, ніж цивільні постійні мости, які є об'єктами комунальної власності. Цивільні мости оптимізуються шляхом кількісної оцінки їхніх витрат і переваг, в той час як для військових мостів основна увага приділяється наявності конкретних можливостей для виконання певних завдань.

Основні завдання військових мостів включають:

- забезпечення транспортабельності, що розуміється як можливість транспортування компонентів мосту за допомогою типових транспортних засобів, які повинні відповідати навантаженню дороги;
- зменшення кількості робочої сили, необхідної для спорудження тимчасового мосту;
- мінімізацію часу для спорудження тимчасового мосту.
- вантажопідйомність мосту або його прогону.

Вантажопідйомність військового мосту визначається навантаження (MLC), яка представляє собою число, що відповідає безпечній величині навантаження від окремих типів транспортних засобів, яку здатна витримати дана поверхня згідно стандартом STANAG 2021 [2]. Разом з розвитком бронетанкових військ та збільшенням ваги танків зростали і вимоги до несучої здатності мостів. За останні два десятиліття вимоги до вантажопідйомності військових мостів значно зросли: від 70 т до 110 т [3]. Щодо довжини прогону військових мостів, то наявні аналізи, проведені ВМС США [4], показали, що прогін 24 м забезпечує можливість подолання 73% перешкод. З іншого боку, географічні характеристики країн Центральної Європи [5] показують, що 70% водних перешкод мають ширину до 50 м, і ці перешкоди зустрічаються в середньому кожні 6-7 км.

GSB складаються з наступних основних елементів:

- прогонова будова мосту,
- пускова система;
- система пірсів (необов'язково);
- транспортні засоби;
- допоміжне обладнання.

За останні два десятиліття найбільших змін зазнали конструкції прогонових будов і пускових систем. Застосовують у країнах НАТО наступні військові мости:

- the British Dry Support Bridge - британський сухий опорний міст (DSB - використовується збройними силами США);

- шведський Krigsbro 5 5 (KB5);
- російський мостовий механізований комплекс (ММК);
- польський MS-40.

Порівняння вибраних технічних параметрів обраних опорних мостів наведено в таблиці 1.

Прогони GSB мостів - це сталеві або алюмінієві конструкції, виготовлені з використанням плит або ферм в якості балок, хоча останні використовуються рідше. Порівнюючи їх із цивільними мостами подібної конструкції, ми помічаємо, що ці прогонові будови виконані у вигляді модулів, що дозволяє транспортувати їх автомобільним, морським і повітряним транспортом. Така концепція проектування необхідна для збереження мобільності і дозволяє збирати прогонові будови мостів на місці без використання додаткової важкої техніки. Недоліком такого рішення є наявність стиків між модулями, які є зонами потенційного руйнування. Крім того, розміри окремих сегментів обмежені шириною і висотою кліренсу, а вага - вантажопідйомністю транспортних засобів.

Ще одна ключова відмінність, у порівнянні з цивільними мостами, полягає в тому, що у військових мостах балки і покриття проїзної частини невід'ємно з'єднані між собою. Завдяки цій зміні ми можемо значно скоротити час, необхідний для подолання перешкоди. При цьому проїзна частина найчастіше виготовляється з нарізних сталевих листів, пристосованих для проїзду гусеничної техніки без гумових захисних покриттів. Саме завдяки цій зміні такі мости здатні виконувати дві, а то й три функції: слугувати мостами ЛОС, підтримувати операції з ліквідації наслідків кризових ситуацій та бути тимчасовою заміною постійних мостів, пошкоджених внаслідок стихійних лих.

Таблиця 1 - Порівняння вибраних параметрів військових мостів [1]

Параметри	Тип мосту			
	DSB	KB5	ММК	MS-40
Гусеничний транспортний засіб	70 т	70 т	60 т	70 т
Колісний транспортний засіб	120 т	110 т	-	110 т
Максимальний прогін мосту, м	46	48	41	42
Ширина проїзду, м	4,3	4,0	4,0	4,5
Розміри розгорнутого основного модуля, м	5,95×4,3×1,19	8,0×4,0×1,5	6,25×n/a×n/a	5,7×4,5×1,5
Кількість модулів, необхідних для мосту максимальної довжини	8	6	6	8
Вага модуля, кг	4,417	5,300	n/a	5,380
Вага погонного метра, кг	742,4	662,5	n/a	672,5
Матеріал конструкції	Алюмінієвий сплав	Швидкоріжуча сталь	Сталь	Швидкоріжуча сталь
Тип головної балки	Балка пластинчаста з прямокутним поперечним перерізом	Ферма	Балка пластинчаста з трикутним поперечним перерізом	Коробчаста балка
Тип пускової балки	Коробчаста балка	Коробчаста балка	Коробчаста балка	Ферма
Тип підтримки	Міст побудований безпосередньо на прогоні	Дві спеціальні опори	Дві спеціальні опори	Дві спеціальні опори
Спосіб запуску	Під пусковою балкою	На пусковій балці	На пусковій балці	На пусковій балці
Транспортні засоби (ракета-носій + транспортний засіб)	1 + 3	1 + 6	1 + 5	1 + 5
Час розгортання (хв)	90	75	60	90
Екіпаж	8	7	11	8

Останнім важливим аспектом змін у конструкції прогонової будови є можливість її комбінування з іншими типами мостів і опор, зокрема, з плавучими опорами. Можливість використання існуючих мостових конструкцій, які не зазнали пошкоджень, таких як опори або устої, значно прискорила б роботи з відновлення пошкодженої інфраструктури. З іншого боку, плавучі опори, які практично не використовуються в цивільному будівництві, дозволяють перетинати більш широкі річки в будь-якій місцевості, без необхідності будівництва стаціонарних опор. Для цього можна використовувати понтонні мости або баржі з відповідним настилом, належним чином закріплені по осі переходу. Однак, з технологічної точки зору, використання плавучих опор є надзвичайно складним, незважаючи на їх переваги, оскільки такі опори зазнають значних поперечних і поздовжніх зміщень при передачі динамічних навантажень від транспортних засобів. Однак, додатковою проблемою є мінливий рівень води в річці, який може підвищуватися або знижуватися щодня, а отже, комбінація таких конструкцій повинна бути здатна компенсувати ці коливання.

Висновки

Окрім військового застосування, такі конструкції стануть у нагоді під час операцій із реагування на кризові ситуації. Крім того, вони можуть бути використані під час ремонту існуючих мостів, особливо коли такий ремонт не був запланований, де вони можуть бути використані як тимчасові мости.

Найбільшим обмеженням в експлуатації цього типу конструкцій мостів є великі прогини прогонової будови, в порівнянні з постійними мостами.

Перелік посилань

1. 1 Janusz Szelka and Andrzej Wysoczański Modern structures of military logistic bridges. [Open Engineering. https://doi.org/10.1515/eng-2022-0391](https://doi.org/10.1515/eng-2022-0391).
2. 2 AEP-3.12.1.5/STANAG 2021:2017 (ed. 8) - Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles.
3. 3 Donaldson P. Combat engineering update. Mil Technol. 12/2017;29-32.

4. 4 Wagner JL. Military bridging and maneuver warfare: deficiencies and the way ahead. Quantico: United States Marine Corps Command and Staff College, Marine Corps University; 19 February 2008. www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA499632 [online]. [access: 12.11.2017].
5. 5 Lach Z, SkrzypJ, taszczukA. Geografia bezpieczeństwa państw regionu środkowoeuropejskiego, MON. Warszawa: Szt. Gen. WP, Zarzgd Geografii Wojskowej; 2001.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ПІШОХІДНОГО МОСТУ В ALLPLAN BRIDGE 2023

Дроботенко О.Д. ДМ-36т1-20

*Науковий керівник: д.т.н., проф. каф. МКБМ Бугаєвський С.О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Allplan є провідним розробником відкритих рішень для інформаційного моделювання будівель та споруд (BIM). Протягом понад 50 років Allplan є піонером у галузі цифровізації будівельної галузі. Завжди орієнтуючись на наших клієнтів, ми надаємо інноваційні інструменти для розробки та конструювання проєктів, надихаючи користувачів на їх задуми [1-3].

Allplan зі штаб-квартирою в м. Мюнхен (Німеччина), є частиною групи Nemetschek, європейського постачальника номер один інформаційних технологій для будівництва (BIM-технологій) [1-3].

Модифікації моделі мосту є частиною щоденної роботи. Внесення змін потребує часу, дуже трудомістке і супроводжується виникненням помилок. З Allplan Bridge проєктувальники мостів та інженери-будівельники можуть уникнути цих проблем. Завдяки високому ступеню деталізації, параметрична модель ідеально підходить для візуального планування та координації: якщо ви змінюєте свою модель в одному місці, всі пов'язані елементи моста автоматично коригуються.

Розглянемо ефективність робочого процесу у Allplan Bridge.

1. Створення осей. Створення кожного проєкту мосту починається з однієї або декількох осей. В Allplan Bridge ви можете завантажити дані з існуючого проєкту або визначити їх самостійно. В обох випадках дані осі параметрично зберігається (рис. 1, а).

2. Визначення перерізу. Ви можете визначити будь-який поперечний переріз, його геометрію з необхідними залежностями та змінними. Ці параметричні перерізи можуть бути змінені в будь-який час, їх можна зберегти як шаблони та використовувати повторно (рис. 1, б).

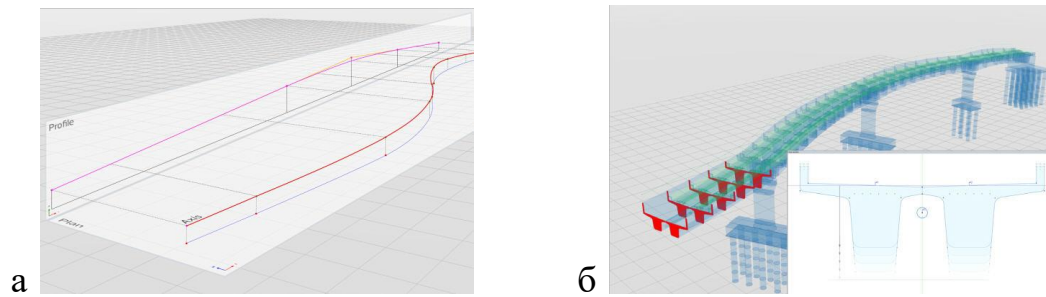


Рисунок 1 - Створення осей (а); визначення перерізів (б)

3. Посилання на стандартні профілі. При визначенні поперечного перерізу стандартизовані та багаторазово розміщені частини поперечного перерізу можуть бути легко розміщені в основному перерізі балки, що дозволяє автоматично адаптувати геометрію до форми поперечного перерізу (рис. 2, а).

4. Параметричне моделювання. Цифрова модель від Allplan Bridge повністю параметрична. Зміни можуть бути зроблені у будь-який час. Залежність об'єктів налаштовується автоматично. Allplan Bridge підходить для всіх етапів робіт - від концепції до планування будівництва (рис. 2, б).

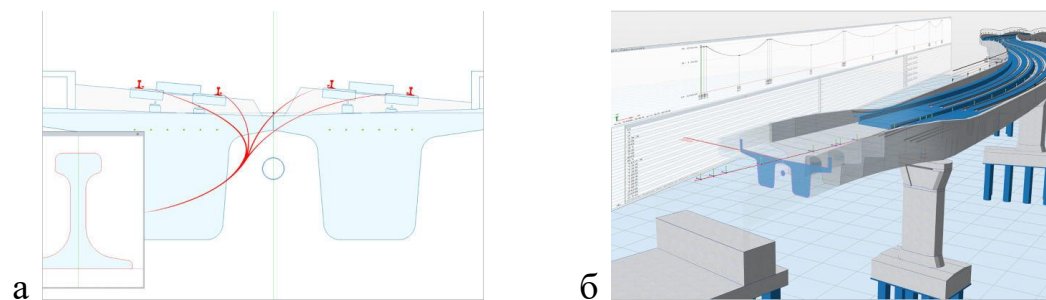


Рисунок 2 - Посилання на стандартні профілі (а);
параметричне моделювання (б)

5. Моделювання напруженого армування. Allplan Bridge можна використовувати для створення ряду параметричних напружених канатів – з указанням з'єднань, внутрішніх і зовнішніх, поздовжніх, поперечних і вертикальних, а також з нестандартною геометрією. Функції копіювання, дзеркального відображення без копіювання тощо, прискорюють робочий

огляд результатів у будь-який час (рис. 5, а).

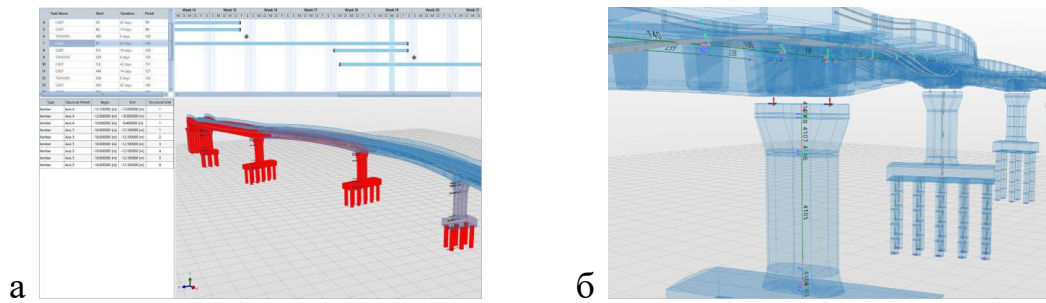


Рисунок 4 - Визначення графіків будівництва (а); автоматична генерація розрахункової моделі (б)

10. Застосування додаткових навантажень. Вагу і положення додаткового навантаження (такого як тротуар, дорожнє покриття тощо) автоматично витягують із геометричної моделі. Користувач повинен вказати момент часу встановлення обладнання, і, отже, навантаження на конструкцію. Додаткові навантаження, такі як зміна температури або вітрові навантаження, можуть бути легко визначені і призначені (рис. 5, б).

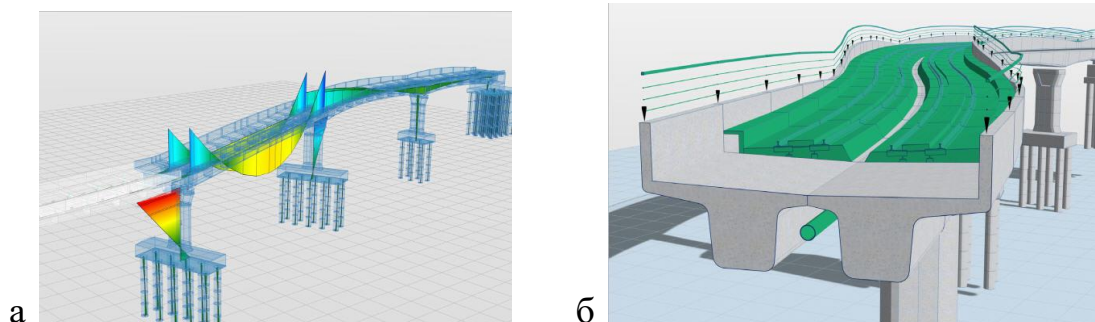


Рисунок 5 - Розрахунок послідовності монтажу (а); застосування додаткових навантажень (б)

11. Транспортне навантаження. Транспортні навантаження задаються зручно для користувача відповідно до обраного стандарту. Враховується будь-який вид рухомого навантаження. Вбудований розрахунок дає можливість визначити найбільш несприятливі поєднання транспортних навантажень. На першому етапі розраховуються лінії впливу, а на другому визначаються моделі

навантажень від транспортних засобів, і результати виводяться у вигляді огибаючих епюр (рис. 6, а).

12. Сейсмічне навантаження. Allplan Bridge використовує лінійно-спектральний метод для оцінки впливу сейсмічного навантаження. Рішення ґрунтується на збудженні відповідних власних частот і об'єднанні різних модальних вкладів. Внутрішні зусилля й амплітуди переміщень накладаються різними методами, щоб отримати огибаючу екстремальних значень (рис. 6, б).

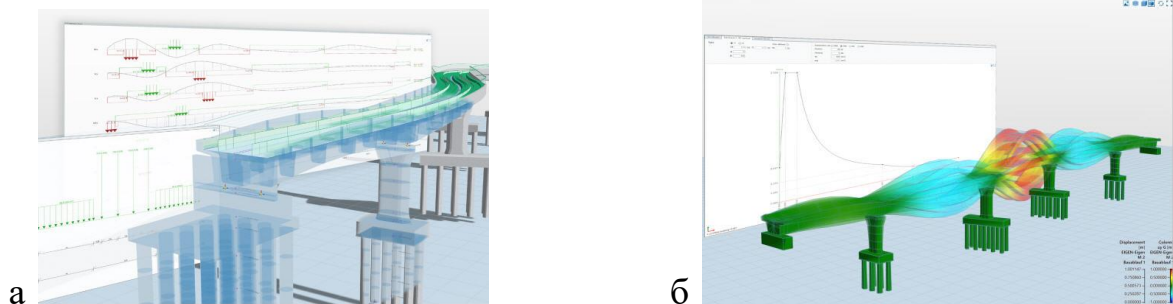


Рисунок 6 - Транспортне навантаження (а); сейсмічне навантаження (б)

13. Суперпозиція та поєднання. Зручність використання суперпозиції в Allplan Bridge являються новаторськими. Схематичне визначення суперпозиції поєднує в собі максимальну простоту й оптимальну візуалізацію. Поєднання навантажень визначаються таблично, даючи користувачеві оптимальну картину різних комбінацій навантаження. Можна виконати суперпозицію декількох складових напруги в заданих точках (рис. 7, а).

14. Розрахунок конструкції. Глобальний статичний аналіз, заснований на теорії балок Бернуллі, виконується для всіх автоматично і вручну генерованих розрахункових дій, визначених раніше у визначенні послідовності монтажу. Аналіз розширено для точного врахування зміни поперечного перерізу. Крім того, виконується нелінійний розрахунок, який залежить від часових ефектів, включаючи формули будівельних норм (рис. 7, б).

15. Розрахунок за граничними станами. Визначення потрібного армування ґрунтується на вимогах 1-ї та 2-ї груп граничних станів. Поєднання внутрішніх зусиль, включно з ефектами 2-го порядку, перевіряються на вигин,

кручення і зсув, а також на обмеження напружень і ширини тріщин. Найбільша розрахункова або будь-яка зазначена вручну величина армування використовується для розрахунку поперечних перерізів (рис. 8, а).

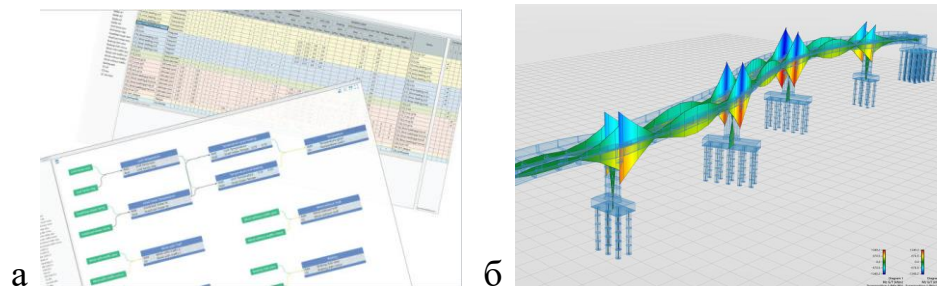


Рисунок 7 - Суперпозиція та поєднання (а); розрахунок конструкції (б)

16. Параметричне розміщення об'єктів. Щоб додати в модель такі деталі, як ліхтарні стовпи або елементи огорожі, Allplan Bridge дає змогу посилається на об'єкти з бібліотеки Allplan. Об'єкти автоматично вирівнюються й адаптуються при кожній зміні геометрії мосту (рис. 8, б).

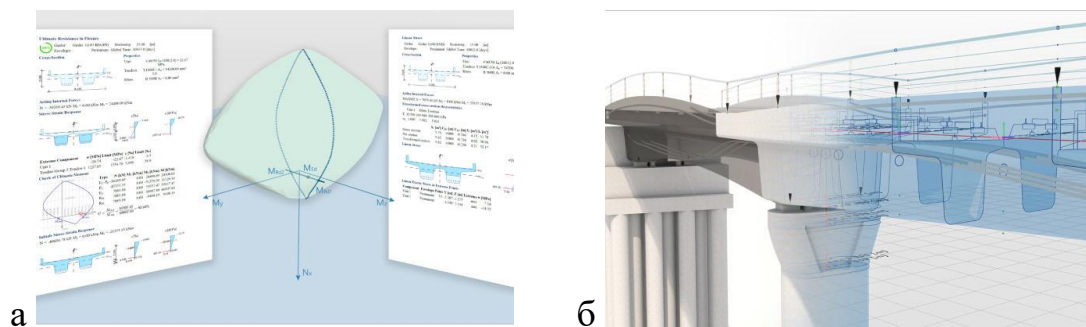


Рисунок 8 - Параметричне розміщення об'єктів (а); параметричне розміщення об'єктів (б)

17. Реалізація змін. Уся 3D-модель коригується в разі будь-яких змін. Наприклад, якщо геометрія осі змінюється, вся геометрія моста автоматично коригується. Це стосується і аналітичної моделі, включно з визначенням послідовності будівництва та пов'язаних із ним навантажень і розрахунків (рис. 9, а).

18. Вільне моделювання. Потужний функціонал 3D-моделлера дає змогу

без проблем реалізувати всі деталі моста: просто, гнучко і з найвищим рівнем точності. Ядро моделювання Parasolid від Siemens легко опрацьовує складні геометричні форми на основі B-сплайнів і NURBS, а також для стандартних завдань, таких як з'єднання, вирізи та дренаж (рис. 9, б).

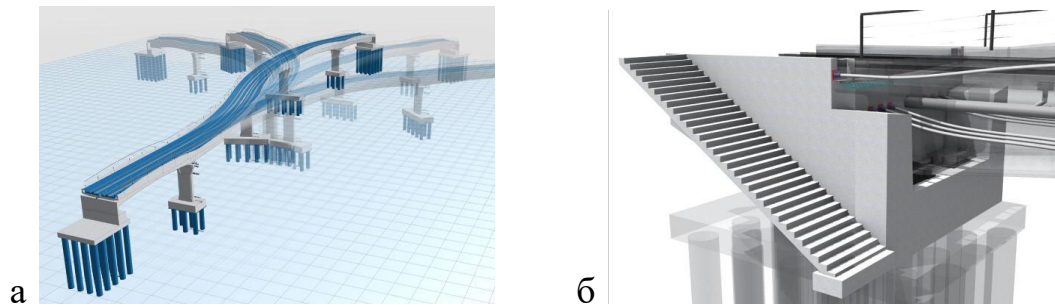


Рисунок 9 - Реалізація змін (а); вільне моделювання (б)

19. Моделювання армування. З Allplan легко армуються навіть мости з подвійною кривизною і змінним поперечним перерізом. Армування визначається в різних перерізах, а переходи між перерізами описуються шляхами. Можна вказати різні правила виконання арматурних з'єднань. Використовуючи цю інформацію, армування генерується автоматично (рис. 10, а).

20. Створення креслень. Фасади, поздовжні розрізи вздовж будь-якої траєкторії і поперечні розрізи є похідними від цифрової моделі моста. CineRender від Maxon використовується для реалістичної візуалізації. Потужні інструменти компоновання та дизайну Allplan використовуються для створення високоякісної будівельної документації (рис. 10, б).

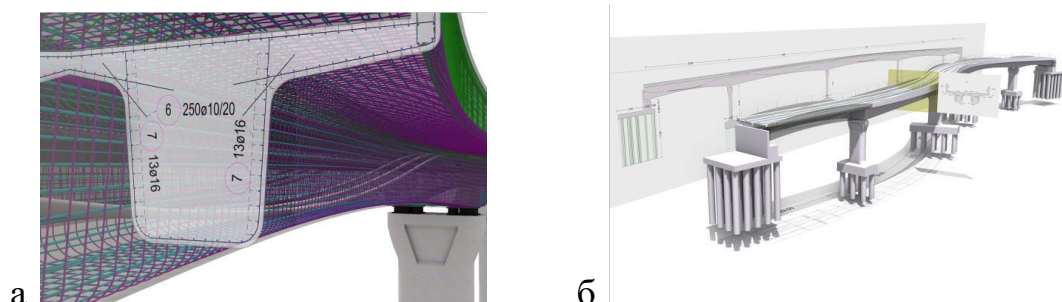


Рисунок 10 - Моделювання армування (а); створення креслень (б)

21. Створення звітів. Цифрова модель моста містить безліч інформації. Всеосяжні звіти з розмірами, площами, вагами та іншими будівельними обсягами доступні одним натисканням кнопки. Це також стосується арматурних специфікацій (рис. 11, а).

22. Сумісність. Allplan Bridge працює в тісній взаємодії з Allplan Engineering і Vimplus, і дає змогу зберігати моделі 4D у багатьох форматах даних, як-от IFC, DWG, DGN або PDF (рис. 11, б).

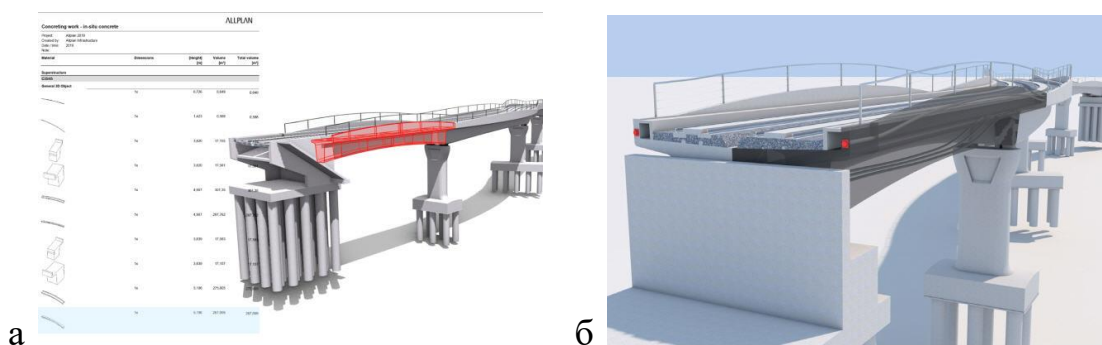


Рисунок 11 - Створення звітів (а); сумісність (б)

23. Інтеграція з іншими розрахунковими програмами. Аналітичну модель, створену в Allplan Bridge, можна завантажити в хмару Vimplus. Це дає змогу поділитися цією моделлю з усіма іншими програмами розрахунку конструкцій, пов'язаними з Vimplus (рис. 12, а).

24. BIM взаємодія. З комбінацією Allplan і хмарної BIM платформи Allplan Vimplus, всі учасники мають доступ до актуальної моделі, у будь-який час, у будь-якому місці та з будь-якого пристрою. BIM-координація відбувається в інтерактивному режимі на цифровій моделі мосту. Розбіжності виявляються на ранній стадії і вирішуються спільно. Це важливий внесок у забезпечення того, щоб будівництво об'єкта було виконано вчасно і в рамках бюджету (рис. 12, б).

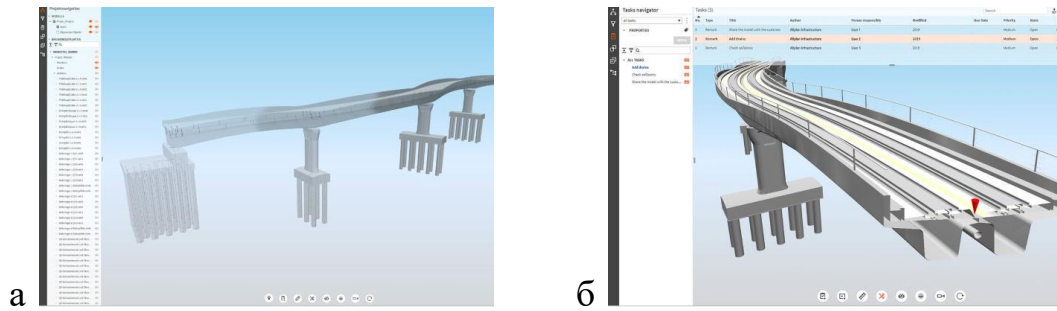


Рисунок 12 - Інтеграція з іншими розрахунковими програмами (а); BIM взаємодія (б)

Висновки

1. Багаторічне ноу-хау щодо проектування мостів: усі види протяжних об'єктів; параметрика, що налаштовується; інтегровані розрахунки; просунуті інструменти армування; сучасна BIM платформа.

2. Наведення порядку з варіантним проектуванням, розрахунками, конструюванням, обсягами, поставками, монтажем, виробництвом, термінами і кошторисами.

Перелік посилань

1. Broschure Allplan Bridge. http://allbau-software.de/phocadownload/Broschure_Allplan_Bridge.pdf.
2. Broschure Allplan Bridge – BIM в мостобудуванні. <http://allbau-software.de/phocadownload/Allplan%20Bridge%202021.pdf>.
3. Allbau Software. <http://allbau-software.de/index.php/produkty/allplan-bridge.html>.

ОСОБЛИВОСТІ НОВОЇ РЕДАКЦІЇ ДБН В.2.3-22 МОСТИ І ТРУБИ. ОСНОВНІ ВИМОГИ ПРОЄКТУВАННЯ

*Соловей Т.А. ДМ-41-19, Тебенєв Г.Г. ДМ-41-19, Орлов Є.С. ДМ-41-19
Науковий керівник: д.т.н., проф. каф. МКБМ Бугаєвський С.О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Підставою для розроблення проєкту ДБН В.2.3-22:2023 Мости та труби. Основні вимоги проєктування є Тематичний план науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України на 2021 рік, схвалений Науковою радою Укравтодору та затверджений наказом Укравтодору від 29.04.2021 № 183/07-02, і договір, укладений між Державним агентством автомобільних доріг України та Державним підприємством «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» [1].

Призначенням і завдання будівельних норм є розроблення проєкту ДБН, в яких будуть встановлені сучасні вимоги та правила проєктування конструкцій мостів та водопропускних труб, приведення їх до чинних нормативно-правових, нормативних актів та нормативних документів.

Розроблення ДБН спрямоване на розвиток та удосконалення нормативно-технічної бази дорожнього господарства щодо проєктування мостів та труб та дає можливість:

- встановити сучасні, із врахуванням міжнародного досвіду, норми, вимоги та правила проєктування мостів і труб;
- забезпечити відповідність вимог до проєктування мостів та труб вимогам чинного законодавства, зокрема Законів України «Про будівельні норми» та «Про регулювання містобудівної діяльності», підзаконних нормативно-правових актів, а також інших будівельних норм та національних стандартів України.

Запровадження проєкту ДБН забезпечить:

- проєктування транспортних споруд із підвищеним рівнем безпеки та довговічності;

- використання сучасних матеріалів, обладнання та технологій виготовлення і монтажу конструкцій.

Проект ДБН належить до групи документів класу В, підкласу В.2 «Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення», комплексу В.2.3 «Споруди транспорту» відповідно до вимог ДБН А. 1.1-1:2009 «Система нормування та стандартизації. Основні положення».

Проект ДБН розробляється на заміну ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування».

За період дії ДБН В.2.3-22:2009 змінилися обладнання та технології, вимоги до надійності та експлуатаційної безпеки мостів та труб. При цьому, зміни до будівельних норм за цей час не розроблялись.

Розроблення проекту ДБН є актуальним і доцільним у зв'язку зі зростанням обсягів дорожнього будівництва та потреб у сучасному нормативному забезпеченні проектування споруд, складних в інженерному плані, зокрема таких, як мости. Проект ДБН тісно пов'язаний із вимогами щодо пожежної та техногенної безпеки, охорони навколишнього середовища, а також вимогами щодо безпеки учасників дорожнього руху.

Під час розроблення проекту ДБН було забезпечено здійснення всебічного аналізу чинних нормативно-правових, нормативних актів та нормативних документів із зазначених питань і врахований передовий міжнародний досвід.

Економіка України та дорожньо-будівельний комплекс готові до впровадження та застосування ДБН, що розробляється.

Розроблення проекту ДБН має відповідати вимогам ДСТУ Б.А. 1.1-91:2008 «Система стандартизації та нормування у будівництві. Вимоги до побудови, викладення, оформлення та видання будівельних норм» та ДСТУ Б.А. 1.1-92:2008 «Система стандартизації та нормування у будівництві. Вимоги до оформлення документів при розробленні будівельних норм».

Положення проекту ДБН взаємоузгоджені з положеннями:

- ДБН В. 1.2-15:2009 «Мости та труби. Навантаження і впливи»;

- ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»;
- ДБН В. 1.2-2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проєктування»;
- ДБН В. 1.2-6:2008 «Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість»;
- ДБН В. 1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»;
- ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина І. Проєктування. Частина ІІ. Будівництво».

Проєкт ДБН відповідає Законам України «Про регулювання містобудівної діяльності», «Про архітектурну діяльність» та «Про будівельні норми».

Основні відмінності проєкту ДБН від ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проєктування» [2, 3].

1. Структура ДБН. Розділ Основні вимоги розширено і він тепер включає такі підрозділи:

- 5.1 Класифікація мостів.
- 5.2 Надійність.
- 5.3 Проєктний строк експлуатування споруд.
- 5.4 Граничні стани.
- 5.5 Розрахункові схеми.
- 5.6 Архітектурні вимоги.
- 5.7 Планувальні рішення.
- 5.8 основні вимоги до конструкцій.

Розділ Розрахунки отримав такі підрозділи:

- 7.1 Розрахунок мостів і труб на вплив водного потоку.
- 7.2 Розрахунки несних конструкцій мостів та основ у разі дії різних видів навантажень.

- 7.3 Деформації, переміщення, поздовжній профіль.

Розділ Конструктивні вимоги отримав такі підрозділи:

8.1 Верхня будова колії на залізничних мостах.

8.2 Мостове полотно автодорожніх і міських мостів.

8.3 Проєктування пішохідних, вело-пішохідних, велосипедних мостів і тунелів.

8.4 Відведення води.

8.5 Сполучення мостів з підходами.

Перероблені розділи ДБН:

- Особливості проєктування, реконструкції та капітального ремонту мостів (розділ у старому ДБН Особливості проєктування, реконструкції та ремонту автодорожніх і міських мостів).

- Оцінювання впливу на навколишнє середовище (розділ у старому ДБН Оцінювання впливу на довкілля).

- Експлуатаційне обладнання та облаштування розділ у старому ДБН Утримання мостів. Експлуатаційне обладнання).

2. Терміни визначення понять. Нове тлумачення термінів: капітальний ремонт моста, проектний строк експлуатації, реконструкція моста тощо. Введено нові терміни: пішохідний тунель, вело-пешохідний міст, вело-пешохідний тунель, велосипедний міст, велосипедний тунель тощо.

3. Розширено перелік мостів, які віднесено до позакласних:

- мости, які не повністю охоплені діючими мостовими нормами на проєктування (розвідні мости, наплавні мости, мости для літаків, мости-трубопроводи, мости-канали, мости транспортери, біопереходи тощо) і які потребують використання додаткових стандартів на навантаження і на методику розрахунків;
- мости підвісних, комбінованих, аркових систем або з нетрадиційними схемами, які підкорені архітектурним рішенням;
- балкові мости з прогонами понад 140 м;
- суміщені під рух автомобільного транспорту і залізниці та міські мости;
- мости, в яких існує вірогідність появи коливань типу вихрового збудження (аеропружні явища як галоп, флатер і дивергенція не допускаються).

4. Введено клас відповідальності для різних типів мостів та значення коефіцієнта надійності.

5. Розширено перелік другорядних елементів мосту для яких визначено проектні строки служби.

6. Додано новий підрозділ Проектування пішохідних, вело-пішохідних, велосипедних мостів і тунелів.

7. Додано схеми габаритів на пішохідних, вело-пішохідних велосипедних мостах.

8. Визначено у додатку перелік основних техніко-економічних показників споруди.

Висновки

Після затвердження та надання чинності проекту ДБН будуть визнані такими, що втратили чинність ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування».

Введення ДБН в новій редакції дозволить наблизити проектування мостів і труб в Україні до європейських норм.

Перелік посилань

1. Тимчасове завдання на розроблення нової редакції ДБН В.2.3-22:202X «Мости та труби. Основні вимоги проектування». https://dorndi.org.ua/files/upload/%D0%A2%D0%97%20-%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92.2.3-22%202009_19.10.2021.pdf.
2. ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування».
3. Друга редакція. Проект ДБН В.2.3-22:202X «Мости та труби. Основні вимоги проектування». https://docs.google.com/document/d/165HlP8_U8iYDFp1kZewe8CiDa0wNup2ErxiWV4kkYx8/edit.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НА РОБОТУ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНОЇ МЕТАЛЕВОЇ ФЕРМИ

*Гура Вікторія ДМ-31-20, Гетало Дмитро ДМ-31-20,
Воробйов Євген, ДМ-26т1-21*

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

Для несучих конструкцій інженерних споруд на автомобільних дорогах широко застосовуються статично невизначені системи, які як правило, економічніші та надійніші за подібні статично визначені.

У сучасному мостобудуванні прольотні будови перекривають два або більше прольотів без шарнірів і розрізів, тому вони називаються нерозрізними і статично невизначеними. Якщо нерозрізні балочні системи мають решітчасту структуру то вони називаються нерозрізними балочними фермами. Нерозрізними фермами з паралельними поясами можуть перекриватися прольоти 80-150 м.

Відомо, що у фермах, які застосовуються на практиці, стержні з'єднуються у жорстких вузлах. Однак для спрощення розрахунку ферм приймаються з'єднання стержнів у шарнірних вузлах.

У статично невизначених фермах, які працюють при змінюванні температури відбуваються не тільки переміщення, а й виникають внутрішні зусилля. Нехтувати цими зусиллями не можна, оскільки вони можуть бути достатньо небезпечними. Тому спочатку виконується окремо розрахунок на дію зовнішнього навантаження, а потім на дію температури. Далі враховуються результати обох розрахунків.

Розрахунок статично невизначеної ферми на дію зовнішнього навантаження.

Розрахункова схема досліджуваної ферми наведена на рис. 1, а, ферма має один зайвий зв'язок. Ознака статичної невизначеності – зовнішня. За основну невідому приймається зайвий зв'язок з землею. Основна і еквівалентна система показана на рис.1, б, в.

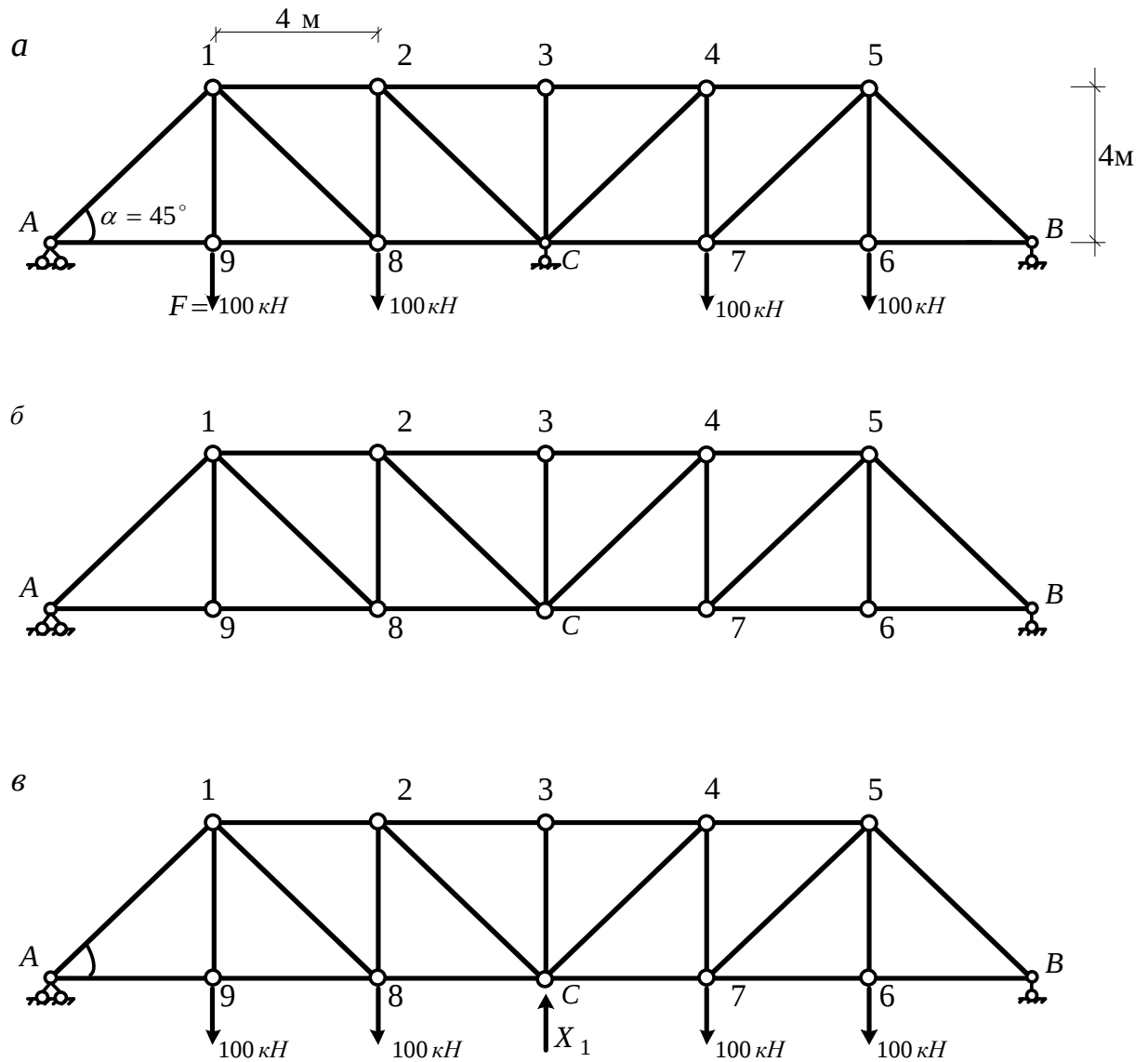


Рисунок 1 – Задана ферма (а), основна система (б), еквівалентна система (в)

Однак для виконання розрахунку на зовнішнє навантаження слід мати площі поперечних перерізів всіх стержнів заданої ферми, тобто необхідно виконати підбір перерізів стержнів. Для початкового призначення розмірів перерізів використовують наближене, орієнтоване визначення зусиль. Для цього ми замінили задану ферму на статично визначену з ознакою – внутрішня. За основну невідому приймаємо зусилля в одному із стержнів заданої ферми, наприклад – зусилля N_{2-3} (рис.2).

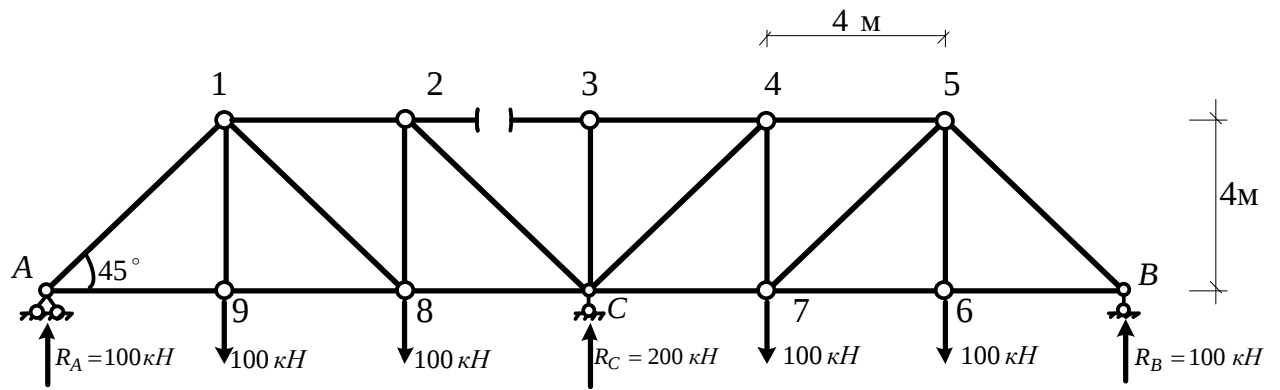


Рисунок 2 – Статично визначена ферма

Для визначення внутрішніх зусиль в стержнях статично визначеної ферми використовуються два методи: метод вирізування вузлів та метод перерізів (метод моментної точки).

Переріз стержнів ферми має вигляд двох рівнобічних кутиків.

Для розтягнутих стержнів потрібна площа визначається із умов міцності

$$\frac{N}{A} \leq [\sigma]. \quad (1)$$

Для стиснутих стержнів поперечний переріз визначається із умов стійкості методом послідовних наближень

$$\frac{N}{A} \leq \varphi[\sigma]. \quad (2)$$

Результати обчислень наведені у табл.1.

Позначимо площі всіх стержнів так:

$$A_i = \kappa A, \quad (3)$$

де A – одна з площин перерізу, яка приймається за основну;

κ – відношення площин інших перерізів до основної.

Запишемо канонічне рівняння методу сил

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1F} = 0. \quad (4)$$

Для визначення переміщень δ_{11} і Δ_{1F} використовуються формули

$$\delta_{11} = \sum_{i=1}^C \frac{\bar{N}_{1i}^2 \cdot \ell_i}{EA_i}; \quad \Delta_{1F} = \sum_{i=1}^C \frac{N_{1F}^o \cdot \bar{N}_{1i} \cdot \ell_i}{EA_i}, \quad (5)$$

де $\bar{N}_{1i}$ – одиничні зусилля в i -му стержні в основній системі від $X_1 = 1$;

N_{1F}^o – зусилля в i -му стержні в основній системі від зовнішнього навантаження;

ℓ_i – довжина i -го стержня;

EA_i – жорсткість i -го стержня.

З рівняння (4) з урахуванням (5) знаходимо

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1F}}{\delta_{11}} = -\frac{\sum_{i=1}^C \frac{N_{Fi}^o \cdot \bar{N}_{1i} \cdot \ell_i}{EA_i}}{\sum_{i=1}^C \frac{\bar{N}_{1i}^2 \cdot \ell_i}{EA_i}}. \quad (6)$$

Визначивши зайве невідоме X_1 за (6) знаходимо зусилля в кожному i -му стержні ферми за формулою

$$N_i = \bar{N}_{1i} \cdot X_1 + N_{Fi}^o. \quad (7)$$

Зусилля у стержнях, що визначені підлягають перевірці (остання графа табл. 1).

Наступним кроком нашого дослідження є розрахунок заданої статично невизначеної ферми на задані температурні впливи.

Температурний режим в Україні встановлено: від -35° до $+35^\circ$.

Коливання температури, тобто амплітуда добового коливання температури в розрахунку приймається:

зима: від -10° до -35° , тобто різниця температур -25° ;

літом: від $+20^\circ$ до $+60^\circ$, різниця температур $+40^\circ$.

Літом сонячні промені протягом доби нагрівають елементи конструкції, особливо опівдні, коли сонце знаходиться в zenіті, тобто стержні ферми нагріваються найдужче.

Таблиця 1 – Внутрішні зусилля у стержнях статично невизначеної ферми від дії зовнішнього навантаження і перевірка правильності визначення зусиль

Елемент ферми	№ стержня	Довжина стержня, $\ell_i, м$	$N_F^1, \kappa H$	Орієнтовна площа перерізу, $A_i, м^2$	$A_i = \kappa A$	$\bar{N}_{li}, м$	$N_{Fi}^\circ, \kappa H$	$\frac{\delta_{11} = \bar{N}_{li}^2 \cdot \ell_i}{EA_i}$	$\frac{\Delta_{Fi} = N_{Fi} \cdot \bar{N}_{li} \cdot \ell_i}{EA_i}$	$\frac{N_{Fi} = \bar{N}_{li} X_1 + N_{Fi}^\circ}{\kappa H}$	перевірка $\frac{N_{Fi} \cdot \bar{N}_{li} \cdot \ell_i}{EA_i}$
Верхній пояс	1-2	4	-100	$38,48 \cdot 10^{-4}$	3A	1	-300	1,33	-400	-123	-162
	2-3	4	0	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	1,5	-300	9	-1800	-34	-67
	3-4	4	0	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	1,5	-300	1,33	-1800	-34	-67
	4-5	4	-100	$38,48 \cdot 10^{-4}$	3A	1	-300	9	-400	-123	-162
Нижній пояс	A-9	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	-0,5	200	1	-400	111	-223
	8-9	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	-0,5	200	1	-400	111	-223
	6-8	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	-1	200	4	-800	23	-91
	7-C	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	-1	200	4	-800	23	-91
	6-7	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	-0,5	200	1	-400	111	-223
	B-6	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	-0,5	200	1	-400	111	-223
Стояки	1-9	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	0	100	0	0	100	0
	2-8	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	0,5	0	1,25	0	89	367
	3-C	4	0	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	0	0	0	0	0	0
	4-7	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	0,5	0	1,25	0	89	367
	5-6	4	100	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	0	100	0	0	100	0
Розкоси	A-1	5,66	-141	$46,48 \cdot 10^{-4}$	3,8A	0,707	-288	0,744	-307	-163	-174
	1-8	5,66	0	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	-0,707	142	2,83	-568	17	-87
	2-C	5,66	-141	$46,48 \cdot 10^{-4}$	3,8A	-0,707	0	0,744	0	-125	660
	4-C	5,66	-141	$46,48 \cdot 10^{-4}$	3,8A	-0,707	0	0,744	0	-125	660
	5-7	5,66	0	$12,4 \cdot 10^{-4}$	A	-0,707	142	2,83	-568	17	-87
	5-B	5,66	-141	$46,48 \cdot 10^{-4}$	A	-0,707	-288	0,744	-307	-163	-174

$$\sum_{i=1}^C = \frac{43,8}{EA} \quad \sum_{i=1}^C = -\frac{7800}{EA} \quad \sum_{i=1}^C = 0$$

$$X_1 = \frac{7800}{43,8} = 178 \kappa H$$

Розрахунок статично невизначеної ферми на дію температури проводиться саме так, як на дію зовнішнього навантаження.

Температурна умова для стержнів заданої ферми однакові. При цьому всі стержні змінюють свою довжину, тобто або подовжуються, або укорочуються.

Канонічні рівняння приймають вигляд:

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1t} = 0, \quad (8)$$

де Δ_{1t} – переміщення у напрямку $X_1 = 1$ від змінювання температури.

Вільний член канонічного рівняння визначається як температурне переміщення в статично визначеній системі за залежністю:

$$\Delta_{1t} = \alpha t \sum_{i=1}^C N_{1t}^o \cdot \ell_i, \quad (9)$$

де α – коефіцієнт лінійного теплового розширення (для сталі $\alpha = 13 \cdot 10^{-6}$);

t – зміна температури стержня у порівнянні з початкової.

Тоді невідома X_1 знаходиться за формулою:

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1t}}{\delta_{11}} = -\frac{E\alpha t \sum_{i=1}^C N_{1t}^o \cdot \ell_i}{\sum_{i=1}^C \frac{N_{1t}^2 \cdot \ell_i}{A_i}}. \quad (10)$$

Зусилля в кожному стержні статично невизначеної ферми визначається за формулою:

$$N_t = N_{1t} \cdot X_1. \quad (11)$$

Обчислення внутрішніх зусиль в кожному стержні при зміні температури наведено у табл. 2.

Аналіз впливу температурного режиму металевої статично невизначеної ферми наведено у табл. 3.

Таблиця 2 – Внутрішні зусилля у стержнях статично невизначеної ферми від змінення температури

Елемент ферми	№ стержня	Довжина стержня, м	$\bar{N}_{li}$, м	N_{Fi} , кН	Температурний режим					
					Літо ($t = +40^\circ \text{C}$)			Зима ($t = -25^\circ \text{C}$)		
					$\Delta_{1t} = \bar{N}_{li} \cdot \ell_i \cdot \alpha t E$	$N_{ti} = \bar{N}_{li} \cdot X_1$	$N_{Fi} + N_{ti}$, кН	$\Delta_{1t} = \bar{N}_{li} \cdot \ell_i \cdot \alpha t$	$N_{ti} = \bar{N}_{li} \cdot X_1$	$N_{Fi} + N_{ti}$, кН
Верхній пояс	1-2	4	1	-123	4	-12,5	-135,5	4	8	-115
	2-3	4	1,5	-34	6	-19	-53	6	12	-22
	3-4	4	1,5	-34	6	-19	-53	6	12	-22
	4-5	4	1	-123	4	-12,5	-135,5	4	8	-115
Нижній пояс	A-9	4	-0,5	111	-2	6,3	117,3	-2	-4	107
	8-9	4	-0,5	111	-2	6,3	117,3	-2	-4	107
	6-8	4	-1	23	-2	12,5	35,5	-2	-8	15
	7-C	4	-1	23	-2	12,5	35,5	-2	-8	15
	6-7	4	-0,5	111	-2	6,3	117,3	-2	-4	107
	B-6	4	-0,5	111	-2	6,3	117,3	-2	-4	107
Стояки	1-9	4	0	100	0	0	100	0	0	100
	2-8	4	0,5	89	2	-6,3	82,7	2	4	93
	3-6	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	4-7	4	0,5	89	2	6,3	82,7	2	4	93
	5-6	4	0	100	0	0	100	0	0	100
Розкоси	A-1	5,66	0,707	-163	4	-9	-172	4	5,5	-159
	1-8	5,66	-0,707	17	-4	9	26	-4	-5,5	13
	2-6	5,66	-0,707	-125	-4	9	-116	-4	-5,5	-129
	4-6	5,66	-0,707	-125	-4	9	-116	-4	-5,5	-129
	5-7	5,66	-0,707	17	-4	9	26	-4	-5,5	13
	5-B	5,66	0,707	-163	4	-9	-172	4	5,5	-159

$$\sum_{i=1}^C = 4\alpha t = 0,00208$$

$$X_1 = -\frac{0,00208EA}{43,8} = -24,8 \text{ кН}$$

$$\sum_{i=1}^C = (-4)\alpha t = -0,0013$$

$$X_1 = -\frac{(-0,0013)EA}{43,8} = -7,36 \text{ кН}$$

Таблиця 3 – Порівняння внутрішніх зусиль в стержнях досліджуваної ферми від дії зовнішнього навантаження і змінення температури.

Елементи ферми Стержні	Внутрішні зусилля в стержнях, кН		
	від зовнішнього навантаження	від температурного режиму літом + зовнішнє навантаження	від температурного режиму зимою + зовнішнє навантаження
верхній пояс 1-2, 4-5	-123	-135,5	-115
нижній пояс А-9, 8-9	111	117,3	107
стояки 1-9, 5-6	100	100	100
розкоси А-1, 5-13	-163	-172	-159

Висновки:

1. У стержнях статично невизначеної металевої ферми, в яких виникають найбільші значенні внутрішніх зусиль, змінюють ці зусилля при роботі ферми під час дії зовнішнього навантаження, а також змінення температури:

у стержнях 1-2, 4-5 (верхній пояс) – літом збільшуються на 7%, зимою зменшуються на 7%; у стержнях А-9, 8-9 (нижній пояс) – літом збільшуються на 5,6%, зимою зменшуються на 3,7%; у стержнях 1-9, 5-6 (стояки) – внутрішні зусилля не змінюються; у стержнях А-1, 5-13 (розкоси) – літом збільшуються на 5,5%, зимою зменшуються на 2,5%.

2. Однак, як показала перевірка, підібраних перерізів стержнів ферми достатньо, щоб забезпечити необхідну міцність для стержнів, що розтягуються, а також стійкість для стержнів, що стискаються.

Перелік посилань

1. Чихладзе Е.Д. Будівельна механіка: Підручник / Е.Д. Чихладзе .- Х.; УкрДАЗТ, 2002. -305 с.
2. Опір матеріалів : Підручник / за ред. Писаренко Г.С.- К.: Вища шк., 1993.- 605 с.

МОЖЛИВОСТІ ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МОСТІВ ЗАСОБАМИ BIM ТЕХНОЛОГІЙ ПК ALLPLAN

Балбекін І.А. ДМ-51-22

*Науковий керівник: к.т.н., доцент кафедри МКБМ Безбабічева О.І
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

В сучасному світовому будівництві останніми роками як ефективні визнаються технології BIM (Building Information Modeling). Це процес комплексного інформаційного моделювання споруд, який дозволяє здійснювати великий різновид аналітичних задач: внесення, використання, експорт інформації про об'єкт на всіх етапах життєвого циклу будівлі (споруди) [1]. Повноцінне використання можливостей цих технологій передбачає високий рівень підготовки фахівців, поєднання зусиль на основі командної співпраці виконавців. Основою процесу при застосуванні BIM технологій стає інформаційна модель, в якості структурованої інформації щодо об'єкту, який проектується, або експлуатується (існує), або є втраченим. Ця модель створюється та відстежується для вирішення конкретних задач з застосуванням комп'ютерних технологій. Для мостового будівельного виробництва корисними можуть бути рішення задач, які завжди потребують тривалого часу: вибір проектного рішення; прогнозування експлуатаційних якостей споруди; створення проектної документації; проробка вузлів та деталей конструкції споруди; розробка генерального плану будівельного майданчику та замовлень на матеріали та обладнання; керування процесом зведення та навіть, управління експлуатацією; контрольні функції та інші задачі конструювання та менеджменту [2]. Інформаційні дані, їх обробка, створення моделей з використанням шаблонів або нових, архітектурно - конструктивні, технологічні, розрахункові та інші складові процесу виконуються як комплексне рішення.

При створенні моделей важливим є деталізація та ступінь деталізації, які використовують учасники проектної групи. Інформаційне моделювання

поширює можливості 3D, яке базується на вимірах: ширина, довжина та висота елементів, додаючи використання засобів 4D (час) та 5D (вартість). До найбільш важливих складових процесу організації будівництва мостів відносяться складні індивідуальні конструктивні рішення, різні методи зведення, технологічні та часові відмінності процесів будівництва,— і все це має багато параметрів невизначеності.

З 2020р розробники програмного забезпечення Allbau Software GMBH через німецьку компанію Nemetschek Group, пропонують для використання новий модуль ALLPLAN BRIDGE, діапазон задач якого поширюється з початкових етапів створення моделі мосту до кінцевих етапів управління зведенням. Можливості саме цього модулю та його використання для окремих задач є об'єктом нашого дослідження, яке почалося з навчання: з використання студентської версії для моделювання мостових споруд. Слід зазначити, що ALLPLAN BRIDGE буде використовуватися ефективніше, якщо в процесі приймають участь групи учасників проекту і окремі учасники працюють над власними задачами з можливістю обміну даними та з використанням вже створених фрагментів (шаблонів елементів, ланцюгів процесу тощо) та з паралельним виконанням схожих завдань для порівняння результатів. Зручним сучасним інструментом ALLPLAN BRIDGE є параметричне моделювання. Використання параметричного моделювання дозволяє швидко змінювати геометрію моделі. Наприклад, конструктору потрібно змінити лише один параметр, і після цього всі інші зміняться автоматично. Без можливостей параметричного моделювання подібні зміни виконують окремо за всіма параметрами (довжина, ширина, висота і т.д.) [3]. Можна виконати зразу ж перерахунок зміненої моделі, і при серії змін параметрів моделі такі процедури будуть корисними для аналітичних досліджень. На рис. 1, 2 показані принципові можливості ALLPLAN BRIDGE при виконанні таких задач.



Рисунок 1 – Параметричні зміни моделі (автоматизація проекту) [4]

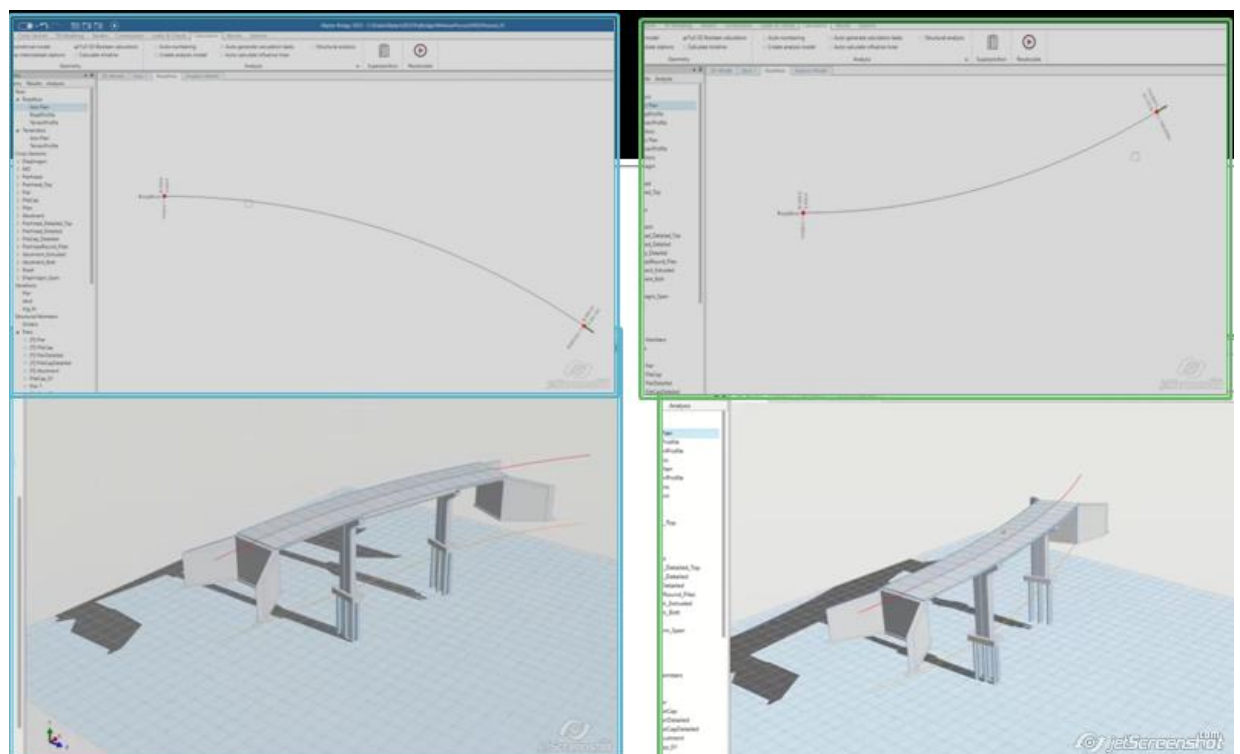


Рисунок 2 – Миттєве змінення геометрії споруди (план, профіль) [4]

Якщо геометрія осі змінюється (рис.2), вся з'єднана з нею надбудова моста автоматично коригується. Зміни у будівельному сегменті впливають на

всі елементи, пов'язані з ним, і навіть на опори моста, які необхідно перемістити вздовж нової осі.

Навчання за програмою ALLPLAN (ALLPLAN BRIDGE), яке проводили представники Nemetschek Group за договором з ХНАДУ, надало можливість власноруч виконати моделі балкового розрізного та нерозрізного мостів, розробити в параметричному моделюванні перерізи опор, головних балок, деталей мостового полотна, провести проектування споруд в плані з можливостями змін (рис. 3). Так, на рис. 3 показані поперечний переріз проміжної опори та головної балки коробчастого перерізу, побудовані в параметричному вигляді, що дозволяє проводити миттєві зміни перерізу і відповідні зміни моделі в цілому з можливістю відстежувати процес змін у 3-D режимі.

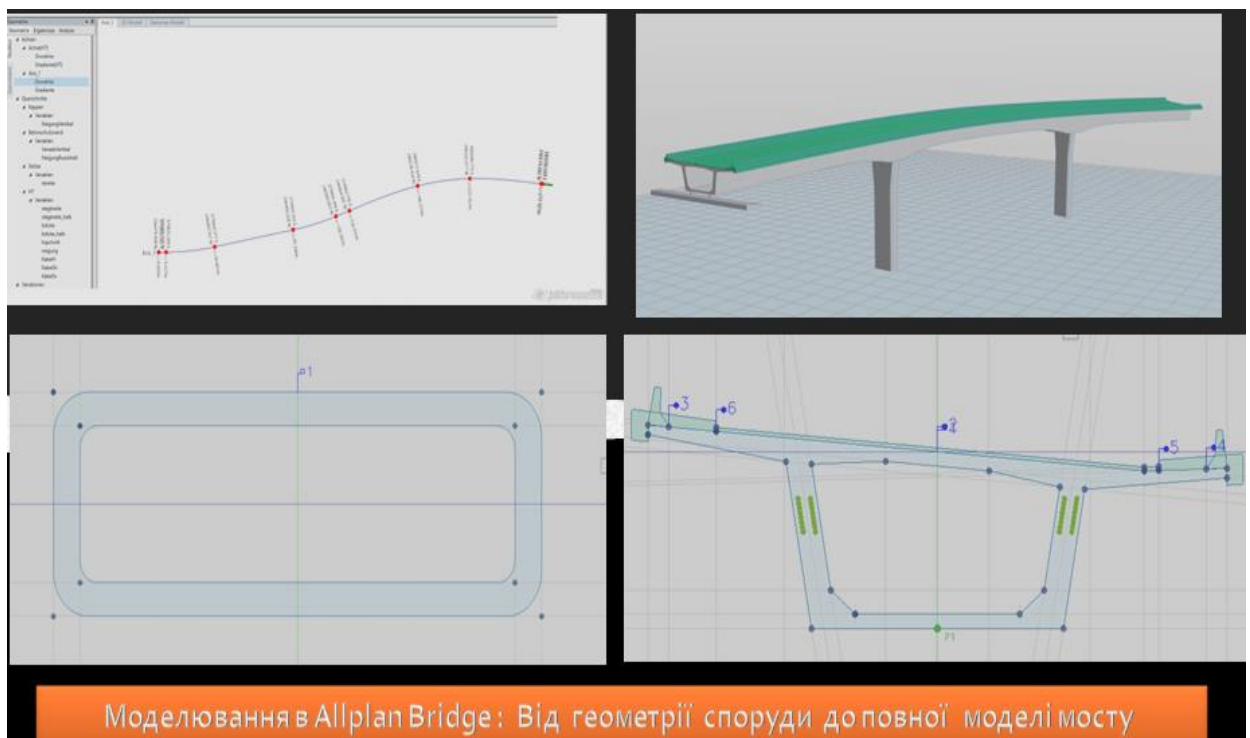


Рисунок 3 – Фрагменти з робіт, виконаних за програмою навчання

Особливо зручною є зміни виду та розмірів окремих елементів (рис 4.5), з швидким виконанням перерахунків моделі, що розробляється.

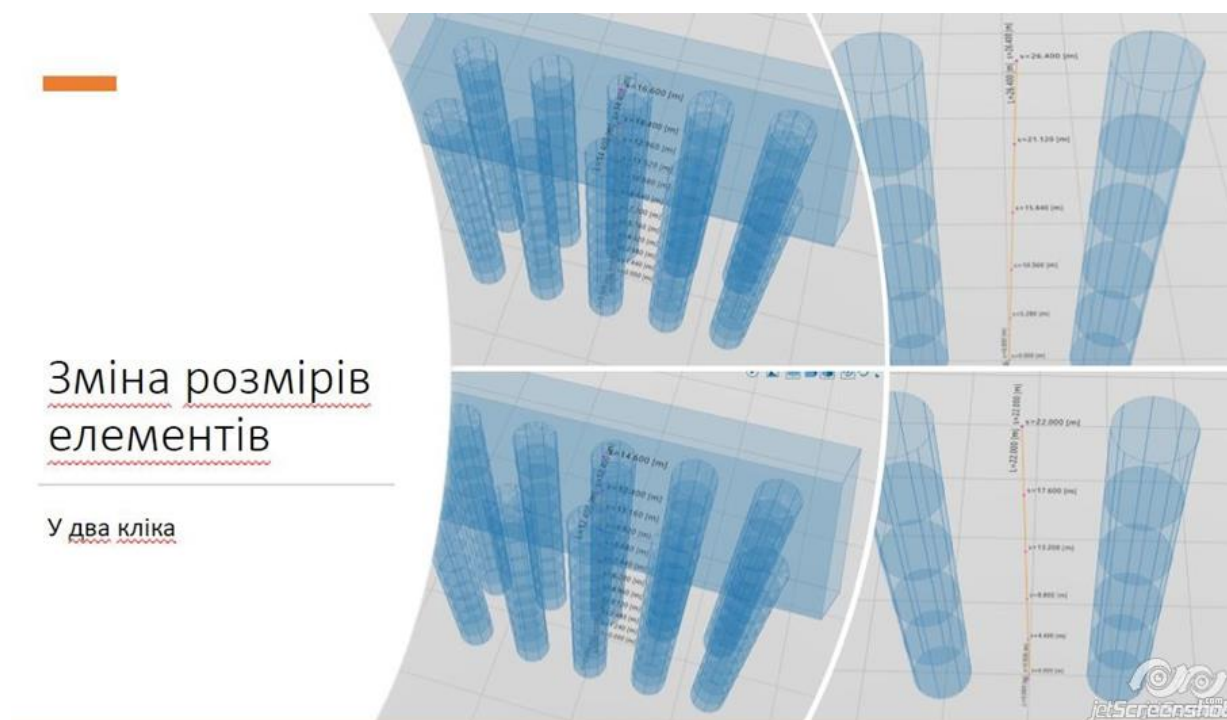


Рисунок 4 – Швидка зміна розмірів елементів паль на 3-D вигляді опори

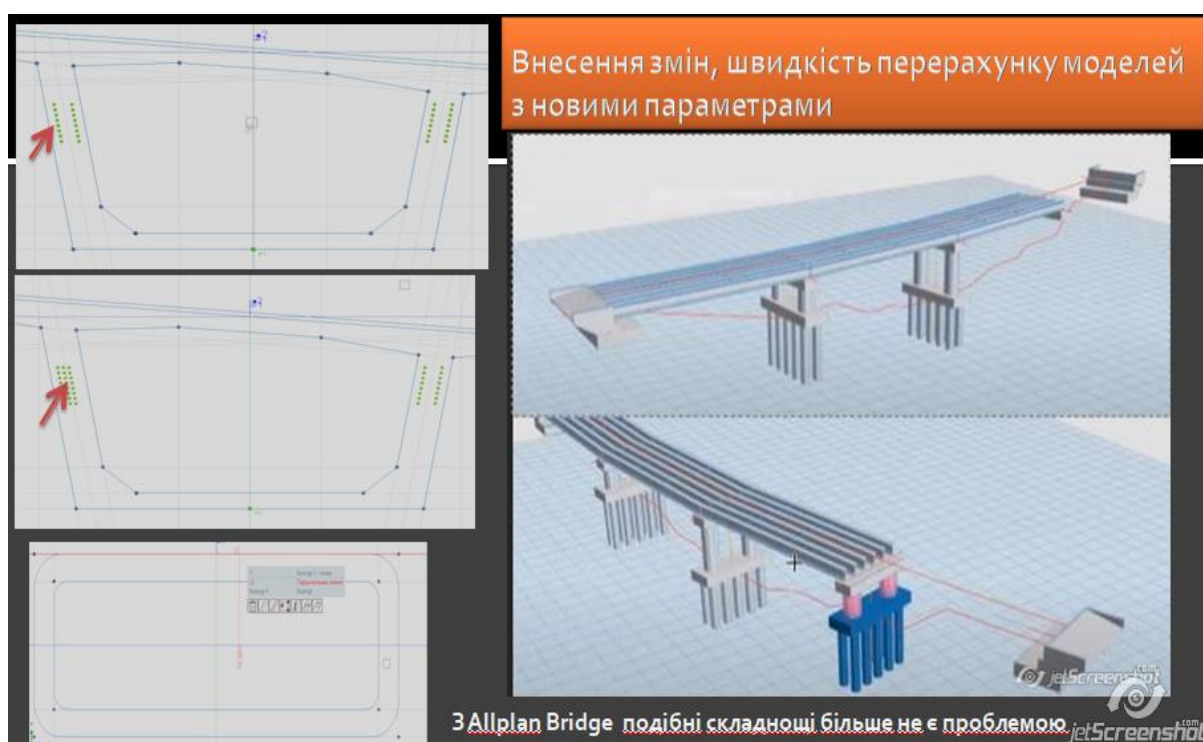


Рисунок 5 – Швидка зміна армування в режимі растрів, зміни перерізу опори та добудова балкового розрізного мосту з використанням шаблону

Висновки:

- у сучасному світі будівництво надійних мостових споруд підкріплюється потужними розрахунковими програмними комплексами, серед яких перспективним можемо вважати ПК ALLPLAN;

- BIM технології , які можливі з ПК ALLPLAN , та з дружніми з ним ПК (ЛИРА, REVIT, AutoCAD та ін.) дозволяють вирішувати комплексні задачі “Від моделі мосту до графіка будівництва та контролю за виконанням робіт”;

- ALLPLAN BRIDGE від ПК ALLPLAN , набуває розвитку з 2020р і має сучасні можливості для параметричного моделювання будь-яких систем, що дозволяє швидко змінювати параметри споруд, виконувати відповідні розрахунки та здійснювати роботи командою з зручним обміном даними проєкту;

- швидкість та якість є головними запоруками успіху і ALLPLAN поєднує ці дві якості. За рахунок швидкого редагування частин проєкту та автоматичного перерахування зміненої конструкції , не витрачається багато часу на заміну усіх змінних роботи. Це є корисним також при проведенні наукових досліджень;

- навчання, що проводять фахівці-представники компанії ALLBAU ALLPLAN дозволяють отримати базові навички користування сучасними розробками, ALLPLAN BRIDGE та інших модулів з наданням технічної допомоги та консультацій.

Перелік посилань

1. Chuck Eastman. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors / Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston // BIM handbook 2nd edition. – 2011. – 611с.
2. Балбекін І.А. Застосування технологій інформаційного моделювання мостових споруд. Секція «Мости, конструкції та будівельна механіка»

Збірник наукових праць 83-ї міжнародної студентської наукової конференції (12-16 квітня 2021 року)/ ХНАДУ. Харків, 2021. С.84-90.

3. Проскурено Д. М. Параметричне моделювання / XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 р, м. Київ: збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 159–162. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31640>
4. Переваги та можливості ALLPLAN 2023 для проектувальників https://www.youtube.com/watch?v=kl3YpB_gcYM

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ МОНТАЖУ МОСТОВИХ СПОРУД

Васильєв Д.О. ДМ-51-22

*Науковий керівник: к.т.н., доцент кафедри МКБМ Краснов С.М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

На момент 2023 року Україна зазнає втрати та руйнувань через російську агресію, попри те що житлові будівлі зазнали найбільшої кількості атак з боку російської федерації, найбільшу шкоду економіці країни завдає пошкодження логістичної інфраструктури. Так, за підрахунками «Укравтодору», під час бойових дій в російсько-української війні було зруйновано 341 штучну споруду, включаючи в це число мости та шляхопроводи. Для українського будівничого сектору вкрай важливо відбудувати усі штучні споруди для відновлення інфраструктури країни. Що відбувається прямо зараз не дивлячись на важкі умови в яких доводиться працювати українським будівельникам.

Окрім усього це дає інженерам можливість замінити старі мостові споруди використовуючи нові технології та методики будівництва. Більшість мостів та шляхопроводів на дорогах України були збудовані за технічними нормами 1962 року та попередніми, і на теперішній час не відповідають вимогам ДБН В.2.3-22:2009 „Мости та труби”.

Предмет дослідження: методи монтажу споруд.

Задачі дослідження: аналіз методів монтажу прогонових будов мостових споруд.

Існують різні види монтажу прогонових будов, а саме такі як:

- Монтаж за допомогою поздовжнього насування. Передбачає насування зібраних на стапелі прогонових будов за допомогою накатних та штовхаючих пристроїв.
- Складання на підмостях. Цей варіант передбачає використання прогонових будов з головними фермами наскрізного типу, елементи спираються на підмостки кожним вузлом.

- Навісне або напівнавісне складання. Роботи виробляються від опор у проліт між ними, конструкція працює як консоль. Елементи в окремих місцях мають наголос, а в інших місцях провисають. Напівнавісне складання застосовується у тих випадках, коли ставити тимчасові опори з якихось причин визнано недоцільним.
- Кранове складання. Монтаж металевих прогонових будов виконується за допомогою різного кранового обладнання, що дозволяє максимально скорочувати час виконання будівельно-монтажних робіт.
- Монтаж із використанням плавучих засобів. Застосовується під час будівництва багатопрогових мостів за неможливості влаштування тимчасових опор у руслі річки.
- Та інші.

Технологію монтажу прогонових будов проектувальники закладають з огляду на тип конструкції, умови для її монтажу та наявність техніки та обладнання у будівельників.

У цьому докладі я зосереджусь на повздовжньому насуванні.

Повздовжнє насування є одним із розповсюджених сьогодні засобів установки зібраної прогонової будови в проектне положення шляхом переміщення його вздовж осі моста. Ці процеси найбільш характерні для металевих прогонових будов, але в окремих випадках можливі і для залізобетонних прогонових будов.

Спосіб повздовжнього насування полягає в наступному. Залізобетонні конструкції (секції) постійної висоти збирають з блоків, що доставляють з полігону, або бетонують на насип підходу до мосту, а потім насувають на опори. Пролітну будову монтують у міру її насування секціями, що нарощуються з тилового боку, тобто виконують роботи конвеєрно-тиловим способом. Для підвищення точності складання конструкції на насипу підходу влаштовують спеціальний металевий або залізобетонний стенд довжиною близько 0,6-0,7 прольоту. До головної частини конструкції, що насувається,

закріплюють металевий аванбек довжиною не менше половини найбільшого прольоту мосту.

Кожен поперечний переріз збірної прогонової будови, перебуваючи на різних стадіях поздовжнього насування, зазнає додаткових зусиль, які за розмірами та за знаком не збігаються з розрахунковими значеннями, визначеними для стадії експлуатації моста. Щоб уникнути появи великих розтягує напруги в бетоні його конструкцію до насування обтискують тимчасовими монтажними пучками. Монтажні пучки укладають на верхній і нижній плитах коробчастого перерізу на складальному стенді і нарощують число їх у міру збирання прогонової будови поетапного насування. Після закінчення поздовжнього насування ці пучки знімають. Чисто монтажних пучків залежить від розміру прольотів, довжини аванбеку, наявності чи відсутності проміжних тимчасових опор, від вагових характеристик конструкцій, що насуваються.

Поздовжнє насування важких залізобетонних прогонових будівель виконують шляхом ковзання конструкцій по накочувальних пристроїв, що розташовуються на опорах. Накатальні пристрої складаються з прокладок з антифрикційного полімерного матеріалу та полірованих хромованих сталевих листів. Коефіцієнт тертя металу по фторопласту не становить більше 0,05-0,06, а можливий тиск досягає 25-30 МПа. До складу накатувальних пристроїв входять гідравлічні домкрати, що встановлюються на опорах для підйому аванбеку, прогонових будов, перестановки хромованих сталевих листів та зміни зношених пластин фторопласту. Поздовжнє переміщення конструкції забезпечують за допомогою горизонтально розташованих гідравлічних домкратів, що штовхають, з великим ходом поршня.

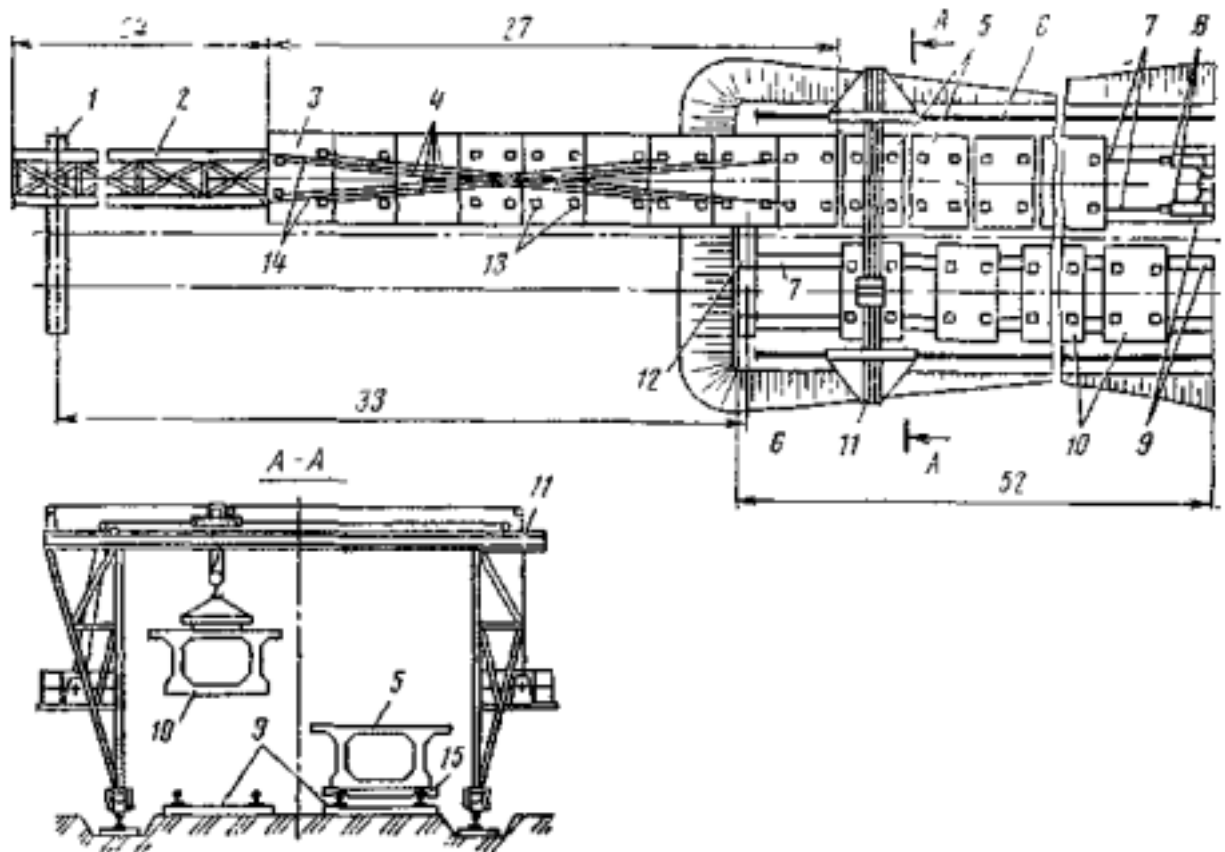


Рисунок 1 – Майданчик для укрупнювального збирання залізобетонних балок: 1 – опора моста; 2 – аванбек; 3 – перша секція балки, 4 – верхні напружані пучки балки; 5 – блоки другої секції, 6 – рейковий шлях крана; 7 – рейковий шлях стенду; 8 – штовхаючий домкрат; 9 – складальний стенд; 10 – готові блоки; 11 – козловий кран; 12 – берегова опора моста; 13 – анкерні упори напружуваних пучків; 14 – кріплення аванбека до балки, 15 – санки.

Переваги поздовжнього насування

До переваг методу поздовжнього насування слід зарахувати:

- можливість монтажу прогонових будівель з блоків повної заводської готовності;
- можливість спорудження прогонових будов великої довжини без влаштування проміжних опор (при прольотах до 65 м) з мінімальною

кількістю обладнання та кранів невеликої вантажопідйомності; незалежність від місцевих топографічних та гідрологічних умов;

- відсутність необхідності розробки акваторій, спорудження тимчасових естакад та встановлення кранів-перевантажувачів для подачі блоків до місця монтажу.

Недоліки поздовжнього насування:

- до недоліків належать наявність у конструкції монтажних швів;
- необхідність спорудження підхідний насип до початку робіт;
- неможливість, у більшій частині випадків, насування балок прольотом більше 55-65 м без влаштування допоміжних опор у руслі;
- складність здійснення мостів на кривих.

Найпростіший спосіб монтажу розрізних прогонових будов - **установка блоків прогонових будов стріловими кранами**, що розташовані внизу на землі збоку біля прольоту або на змонтованій частині моста.

При монтажі мостів на водотоку або за наявності поганих ґрунтів монтаж може виконуватись кранами, розміщеними на змонтованій частині моста. Установка балок при цьому провадиться «з голови». Кран, що веде монтаж перед собою, повинен мати достатню вантажопідйомність на великому вильоті стріли. Балки, призначені для монтажу, складують на насип підходу, подаючи під монтаж за допомогою візків.

Кранове збирання буде головним методом відбудови через свою простоту та економічність.

У практиці вітчизняного мостобудування знайшов застосування спосіб монтажу великих мостів великими блоками, виготовленими на березі, з доставкою їх до місця встановлення води. Маса блоків може досягати кількох тисяч тон.

Викочувальні пірси, що забезпечують переміщення блоків з риштування на плавучі опори, є складними і дорогими спорудами. Тому для скорочення їхньої довжини часто між пірсами виробляють місцеве поглиблення дна річки, достатнє для заведення плавучих опор у підтопленому стані.

З урахування того що більшість пошкоджених мостових будов є мостами середньої довжини цей метод не є основним для відбудови пошкоджених споруд. До цього висновку підбиває також висока собі вартість монтажу за допомогою плавучих засобів.

Висновки: Характер відбудови пошкоджених будов потребує від країни прийняти найшвидші методи будівництва для відновлення сповільненої економіки, для цього підходять методи кранового складання та поздовжнього насування для прогонів великої довжини та металевих мостів.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-22:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. Гнідець Б.Г. Збірно-монолітні залізобетонні конструкції мостів. Проектування, дослідження і будівництво, 2020.
3. Герасимчук В. В., Коваль П. М., Снитко В. П. Проектування сталезалізобетонних мостів: Навч. посіб. К., 2005
4. Демченко Т. Становлення та розвиток школи мостобудування // Дослідж. з історії техніки: Зб. наук. пр. 2013. Вип. 18

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ ВЛАШТУВАННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ НА МОСТАХ

Захарченко М. Р. ДМ-51-22

*Науковий керівник: к.т.н., доцент кафедри МКБМ Краснов С.М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Транспортні споруди є важливими об'єктами інфраструктури, що з'єднують різні області та дозволяють безперешкодно переміщати людей, матеріали та обладнання з одного місця до іншого. Погіршення стану мостового полотна, залізобетонних чи сталевих конструкцій є однією з найбільш серйозних проблем експлуатації транспортних споруд, які впливають на термін служби. Руйнування несучих конструкцій порушує рух транспорту та надає серйозний вплив на соціальний та фінансове становище регіонів.

Залізобетонні та металеві конструкції в галузі мостобудування та тунелебудування нерідко виявляють недостатні показники в області несучої здатності та довговічності в умовах інтенсивного впливу навколишнього середовища.

Такі фактори, як агресивність середовища, витік і просочування води або протиожеледного розчину солі, що негативно позначаються на стані несучих конструкцій транспортних споруд. Проникнення вологи та хлоридів солей у залізобетон може призвести до подальшої корозії сталевих арматур. Це призводить до розтріскування бетону або ослаблення перерізу арматури, в результаті погіршується несуча здатність, надійність і довговічність конструкції.

Якщо розглядати сталеву плиту мостів чи інші металеві елементи, то зайва волога може призвести до корозії металу і приведе всю несучу конструкцію у непридатність.

Проблему значною мірою можна вирішити, якщо поверхні залізобетонних або сталевих конструкцій захистити від попадання вологи та

солей. Іншими словами, якщо на конструкції транспортної споруди наноситься захисний шар у вигляді надійної системи гідроізоляції.

У світовій практиці існує безліч мостових та транспортних споруд, пошкодження дорожнього полотна, опорних чи підземних конструкцій яких настало внаслідок неправильного вибору типу, а іноді й відсутності гідроізоляційної системи, недотримання технології нанесення гідроізоляції, а також використання неякісного матеріалу.

Також, через старіння бітуму, деградація матеріалу заповнювача і зниження міцності бітумних матеріалів через низьку в'язкість при високих температурах може зменшитися зчеплення між плитою прогонової будови та дорожнім одягом. Після порушення зчеплення між несучою конструкцією та поверхневими шарами настає руйнування дорожнього одягу, що може призвести до корозії металу або арматури залізобетонної плити проїжджої частини.

Крім мостового полотна гідроізоляцію слід наносити на підземні конструкції транспортних споруд, щоб запобігти передчасному руйнуванню, як самих конструкцій, і споруди загалом.

У результаті перед будівельними організаціями постає проблема вибору якісної та ефективної гідроізоляційної системи, від використання якої залежить термін служби конструкції без застосування дорогих ремонтних робіт.

Гідроізоляційна система – це матеріал чи комбінація матеріалів, які утворюють непроникну мембрану, щоб захистити залізобетонні чи сталеві конструкції від проникнення води та протиожеледних солей.

Технології влаштування проїжджої частини мостових покриттів сильно змінилося за останнє десятиліття. Підвищені вимоги до якості покриття та його довговічності послужили серйозним поштовхом у бік використання більш сучасних технологій та створення матеріалів, що забезпечують термін служби без ремонту покриття мостів до 30 років. Традиційна технологія пристрою проїжджої частини автодорожніх мостів включає укладання

залізобетонного шару, що вирівнюється, шару гідроізоляційного покриття, залізобетонного захисного шару, армованого металевою сіткою, і двошарового асфальтобетонного покриття.

Найважливішою вимогою до сучасних гідроізоляційних матеріалів для транспортних споруд є забезпечення їх високої адгезії до ізольованого матеріалу. Адгезія характеризується здатністю гідроізоляційного матеріалу проникати в поверхневі пори та мікротріщини основи, а також показником температурного відшаровування, що впливає на його здатність не відшаровуватись від основи при коливаннях температури навколишнього повітря. Великою адгезії значною мірою визначаються такі характеристики гідроізоляції, як водонепроникність, водостійкість, довговічність та жорсткість.

При виборі гідроізоляційного матеріалу необхідно враховувати такі основні технічні умови та функціональні вимоги:

- водо- та повітрoneпроникність у будь-яких умовах;
- морозостійкість та еластичність;
- матеріал має бути екологічно безпечним та нетоксичним;
- гідроізоляція повинна мати хорошу адгезію до плити проїжджої частини мосту і до вищих шарів дорожнього одягу;
- стійкість до ультрафіолетового випромінювання, біологічних та хімічних впливів;
- механічна міцність (транспортне навантаження, теплове розширення);
- сумісність із асфальтобетонною сумішшю;
- стійкість до високих температур при укладанні гарячої асфальтобетонної суміші;
- економічна ефективність.

Крім основних фізико-механічних характеристик гідроізоляційного матеріалу та функціональних вимог не менш важливими факторами є технологічні та техніко-економічні показники:

- для скорочення трудовитрат та людських ресурсів можливість використання механізованого способу виконання;
- для зменшення залежності від кліматичних умов гідроізоляція повинна задовольняти необхідному діапазону температур під час виконання робіт;
- можливість нанесення гідроізоляційного матеріалу на вологу поверхню призведе до скорочення витрат на її осушення;
- щоб скоротити додаткові витрати на вжиття додаткових заходів щодо охорони праці та охорони навколишнього середовища при влаштуванні гідроізоляційних систем повинні бути відсутні виділення токсичних речовин.

Вид гідроізоляційного матеріалу вибирають в залежності від типу конструкції та умов експлуатації споруд. Недотримання вимог до гідроізоляційних матеріалів, а також порушення технології нанесення гідроізоляції може призвести до плачевного результату.

Застосування сучасних високотехнологічних гідроізоляційних матеріалів при будівництві або ремонті мостів та інших штучних споруд дозволяє не тільки забезпечити захист від руйнівного впливу води та інших агресивних середовищ, а й домогтися здешевлення будівництва та скорочення його термінів, а також зниження ваги прогонової будови за рахунок застосування конструкцій дорожнього одягу полегшеного типу, без улаштування бетонних захисних та вирівнюючих шарів. Для вирішення цього завдання розроблені спеціальні гідроізоляційні матеріали та технології, що дозволяють укладати асфальтобетон або литий асфальт безпосередньо на поверхню самого матеріалу.

У цьому випадку конструкція проїжджої частини складається з шару, що вирівнює, або праймера, шару гідроізоляційної мембрани і шару асфальтобетону або литого асфальту. На практиці для гідроізоляції мостового полотна транспортних споруд в даний час застосовують чотири основні типи матеріалів:

- Рулонна обклеювальна гідроізоляція (Рисунок 1);
- «Гарячі» та «холодні» гідроізоляційні мастики (Рисунок 2);

- Рулонно-мастичну гідроізоляцію (Рисунок 3);
- Бітумно-латексні емульсії (Рисунок 4).
-

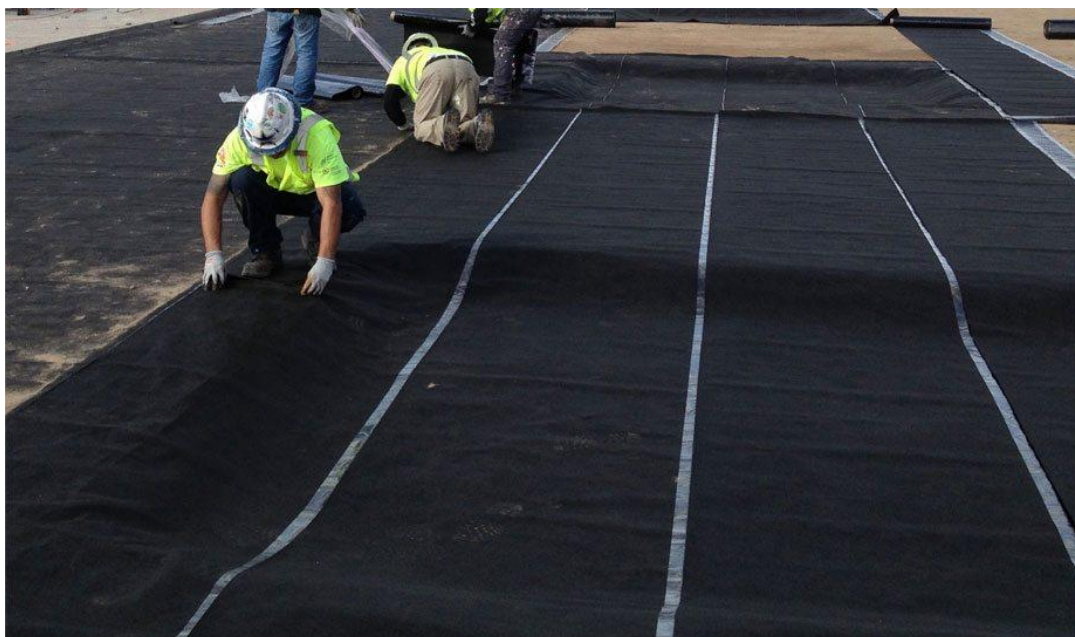


Рисунок 1 – Рулонна обклеювальна гідроізоляція



Рисунок 2 – «Гаряча» та «холодна» гідроізоляційна мастика



Рисунок 3 – Рулонно-мастична гідроізоляція



Рисунок 4 – Бітумно-латексні емульсії

Перелік посилань

1. Лучко Й.Й., Коваль П.М., Корнієв М.М., Лантух-Лященко А.І., Хархаліс М.Р. Мости: конструкції та надійність/за ред. В.В.Панасюка і Й.Й. Лучка.- Львів: Каменяр.2005.
2. О.І.Безбабічева, О.М.Лукін. Інноваційні технології будівництва транспортних споруд. Автодорожні мости та тунелі. Навчальний посібник. Харків, ХНАДУ – 2018р. Електронне видання на &D-R20.

АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД ПРИ ЗЕМЛЕТРУСАХ

*Корнейко В.В. ДМ-21-21,
Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. МКБМ Смолянчук Н.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Підземні споруди є невід'ємною частиною інфраструктури сучасних міст і використовуються як транспортні мережі, підземні стоянки, сховища тощо. Проектування таких споруд завжди є складним, із врахуванням великої кількості індивідуальних особливостей регіону умов будівництва. Особливо складними є регіони з підвищеної сейсмічною активністю через те, що таке стихійне лихо, як землетрус, відбувається миттєво та продовжується невеликий проміжок часу. Отже споруди, збудовані в районах, з підвищеною сейсмічною активністю повинні витримувати сейсмічні навантаження.

Відомо, що тунелі, як і інші підземні споруди, менш схильні до руйнувань при землетрусах, ніж наземні конструкції. Тим не менш, сейсмічними впливами на тунелі не можна нехтувати. Підчас недавніх сильних землетрусів, деякі підземні конструкції зазнали серйозних пошкоджень і навіть були зруйновані [1].

Аналіз пошкоджень конструкцій, спричинених землетрусами, є важливим завданням сучасної науки, оскільки дозволяє критично підійти до проектування нових споруд.

Велика кількість даних про руйнування, які спостерігаються в тунелях при землетрусах [2], дозволило класифікувати види руйнувань та виділити три типи підземних споруд, які поведуться по-різному під час землетрусів:

- тунелі, побудовані закритим способом;
- тунелі, побудовані відкритим способом;
- сталеві та пластикові трубопроводи.

Було встановлено, що пошкодження тунелів відбувається внаслідок однієї або комбінації кількох наступних причин:

- пошкодження, спричинені руйнуваннями навколишнього ґрунту, такими як розрідження або зсуви в тунельних порталах (передбачити можливі пошкодження можна за допомогою геомоніторингу);
- пошкодження від зміщення у зоні розлому (можливо попередити, застосовуючи спеціальні міри сейсмозахисту);
- пошкодження через коливання ґрунту, що виникають при поширенні сейсмічних хвиль.

Підземні споруди можуть зазнавати три види деформації при сейсмічному впливі: поздовжні деформації (стискання і розтягування), згинальні деформації та деформації зсуву. Пошкодження тунелів залежить від параметрів землетрусу, характеру деформацій масиву ґрунту біля тунелю та особливостей конструкції тунельної оправи. Залежно від співвідношення жорсткості тунельної оправи і масиву ґрунту тунель буде або деформуватися разом з масивом ґрунту, або чинити опір деформаціям. Якщо жорсткість тунелю перевищує жорсткість середовища, у зоні контакту в ґрунті може утворитися пластична зона.

Розглянемо окремі випадки пошкоджень підземних споруд.

Якщо тунелі перетинають зони активних розломів, виникає руйнування тунельних конструкцій при зсуві (рис.1).

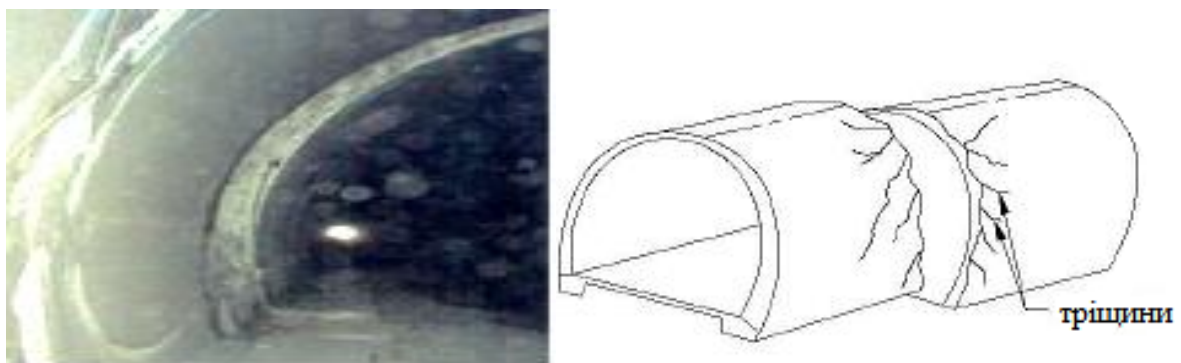


Рисунок 1 – Руйнування тунелю при зсуві ґрунту в зоні розлому

Відомо, що найбільшу небезпеку для тунельних конструкцій представляють великі зсуви ґрунтових масивів, що виникають внаслідок

нестійкості ґрунтових умов (наприклад, розрідження, зсуви) або зсувів ґрунту по розломах. Такі пошкодження при землетрусах зазнали такі тунелі, як: тунель Інаторі при землетрусі 1978 р.; гідротехнічний тунель під час землетрусу Наганокен-Сейбу у 1984 р.; залізничний тунель Райт під час землетрусу у Сан-Франциско 1906; тунель Болу під час землетрусу 1999 року у Туреччині [3]; тунель Шиганг під час землетрусу Чи-Чи 1999 року на Тайвані [4] та інші. Нажаль, неможливо розрахувати тунелі, щоб вони витримували великі зміщення ґрунту, але можливо прокласти трасу таким чином, щоб вона не знаходилася в зоні розлому, заглибити тунель на небезпечну глибину, видалити чи замінити жорсткі ґрунти навколо тунелів, стабілізувати ґрунт.

Руйнування тунелів при обваленні відкосів відбуваються тоді, коли тунель розташований паралельно зсувонебезпечного схилу (рис.2). Посилення сейсмічних хвиль при землетрусі відбувається через відбиття від вільної поверхні схилів, що призводить до руйнувань. Причому тунелі у цьому випадку є концентраторами напружень.



Рисунок 2 – Руйнування тунельної оправи внаслідок обвалу укосу

Поздовжні тріщини у склепіннях тунелів та тріщини у стінах тунельних оправ, спрямовані вздовж осі тунелів, виникають при розповсюдженні поперечних хвиль під кутом 45° до осі тунелю та при впливі поздовжніх хвиль уздовж осі тунелю. У деяких випадках такі впливи викликають руйнування склепінь тунелів (рис. 3).

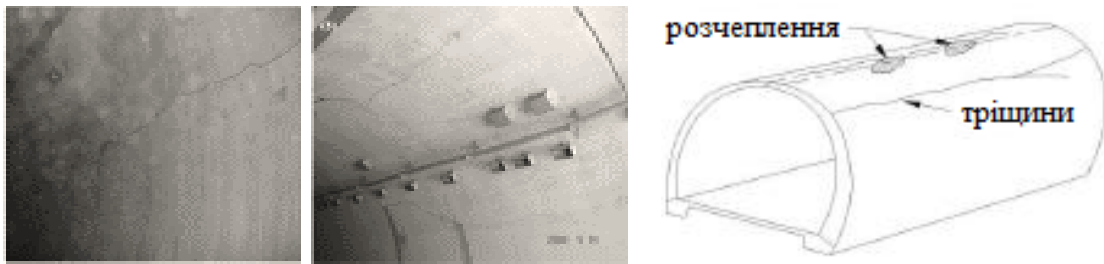


Рисунок 3 – Поздовжні тріщини та руйнування склепінь

Поперечні тріщини (рис. 4) виникають у тому випадку, коли в тунельній оправі відсутні або недостатньо міцні поздовжні зв'язки між кільцями. При поширенні поздовжньої хвилі вздовж осі тунелів у перерізах виникають напруження розтягування стиснення, які призводять до розкриття тріщин.



Рисунок 4 – Поперечні тріщини

Окрім поперечних і поздовжніх тріщин можуть утворюватися і похилі тріщини, які зазвичай нахилені під кутом $30-60^\circ$ до горизонту. Тріщини з'являються на одному боці тунелю і перериваються на границях кілець (рис.5).



Рисунок 5 – Похилі тріщини

При деяких впливах відбувається руйнування лоткової частини тунельної оправи, яке являє собою протяжні тріщини, а також хвилеподібні деформації поверхні основи (рис. 6). Такі деформації можуть мати велику протяжність та великі амплітуди вертикальних переміщень.

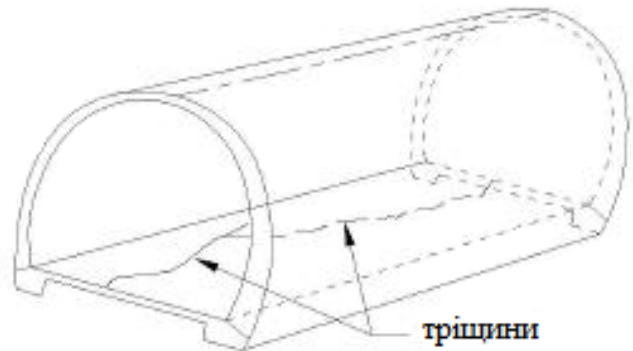


Рисунок 6 – Тріщини в лотковій частині тунелю

Деформація стін (рис. 7) відбувається через зменшення розмірів зворотного склепіння внаслідок його руйнування. Таке пошкодження оправи призводить до деформації бічних стін, а також виникненню численних тріщин у бетонній оправі.



Рисунок 7 – Деформація стін

Дуже часто тріщини розвиваються біля різного роду ніш: вентиляційних, пожежних та інше (рис. 8). Зазвичай ці тріщини мають довжину в декілька десятків сантиметрів. Однак, у деяких випадках при великих нішах, тріщини можуть простягатися в обидві сторони і об'єднуватися.

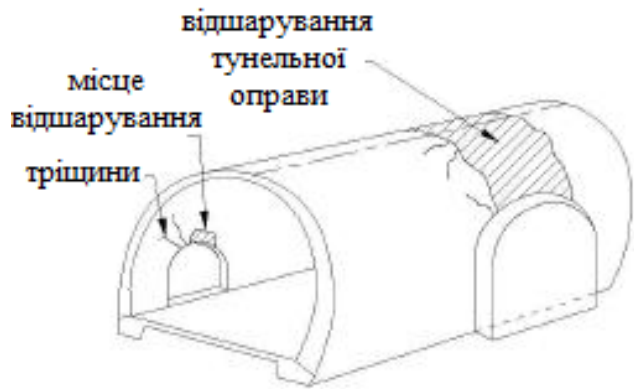
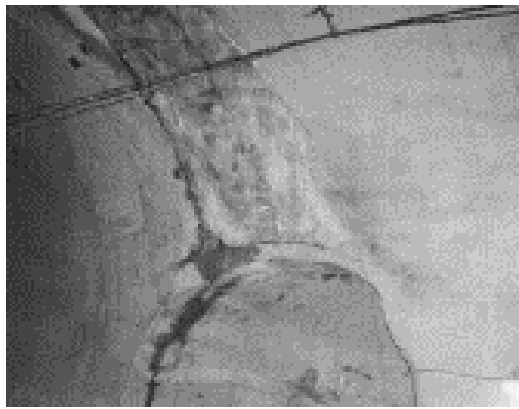


Рисунок 8 – Тріщини біля ніш

Окрім тунелів колового або склепінчастого обрисів, необхідно звернути увагу на руйнування тунелів прямокутного поперечного перерізу. Більшість таких тунелів – це тунелі дрібного закладення, які будуються відкритим способом.

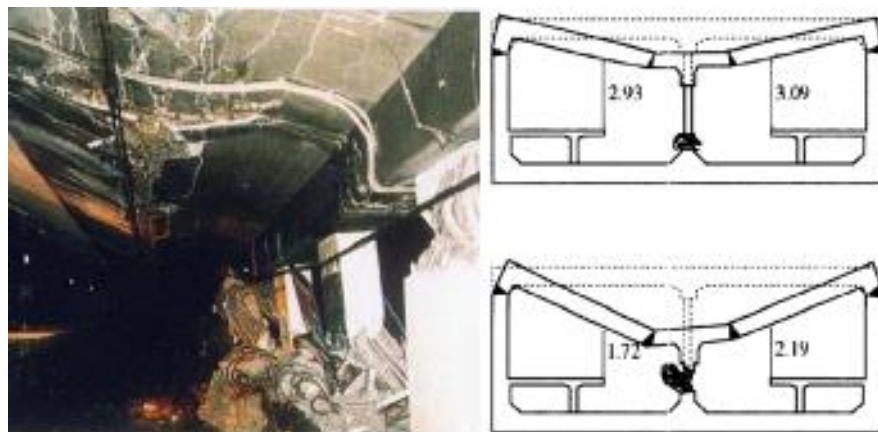


Рисунок 9 – Пошкодження оправи прямокутного перерізу
(станція метро Дайкай у Кобе, Японія, 1995 р.)

При землетрусах в них ушкоджуються колони, а також з'єднання в верхніх та нижніх кутах тунельних оправ. Аналіз ушкоджень (рис. 9) показує, що коли конструкція отримала велткі деформації зсуву підчас землетрусу, відбувся перерозподіл напружень, що призвело до руйнування центральних колон, обвалення перекриттів та осідання ґрунту над тунелем [5].

Аналізуючи руйнування тунелів при можливому сейсмічному впливі, можна зробити висновок про необхідність розглядати характеристики ґрунту

навколишнього масиву. При розрахунках тунелів на сейсмостійкість застосовуються аналітичні та чисельні методи аналізу, які закладені у різноманітні програмні комплекси.

Перелік посилань

1. Hashash, Y.M.A., Hook, J.J., Schmidt, B., Yao, J.I-C.. Seismic design and analysis of underground structure. Tunn. Undergr. Sp.Technol. 16, 2001, 247–293. URL: https://about.ita-aite.org/publications/wg-publications/download/118_315dce9c4c65ed8e9c8385d1418278e8 (дата звернення: 03.04.2023).
2. G. Lanzano, E. Bilotta, G. Russo. Tunnels under seismic loading: a review of damage case histories and protection methods. DIGA, 2008. URL: https://www.academia.edu/3142588/Tunnels_under_seismic_loading_a_review_of_damage_case_histories_and_protection_method (дата звернення: 03.04.2023).
3. Kontogianni V., Stiros S. Earthquakes and Seismic Faulting – Effects on Tunnels, Turkish Journal on Earth Sciences, Vol. 12, 2003, pp. 153-156.
4. Z.Z. Wang, Z. Zhang. Seismic damage classification and risk assessment of mountain tunnels with a validation for the 2008 Wenchuan earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 45, 2013, p. 45–55.
5. Nakamura S., Yoshida N., Iwatate T. Damage to Daikai Subway Station During the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake and Its Investigation. Japan Society of Civil Engineers, Committee of Earthquake Engineering, 1996, pp. 287-295.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ТОРКРЕТУВАННЯ У БУДІВНИЦТВІ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

Комісаренко І.М. ДМ-36т1-20

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

Підземне будівництво існує з давних давен. Щоправда, якщо раніше це були підземні ходи, галереї, підземелля культових споруд та палаців, то сьогодні до них додалися такі будови, як станції метрополітену, сховища, підземні інфраструктурні споруди тощо. В таких спорудах рано чи пізно виникає необхідність ремонту склепінь тунелів та підземних споруд, причому торкретування – найефективніший і недорогий спосіб реанімації таких складних об'єктів.

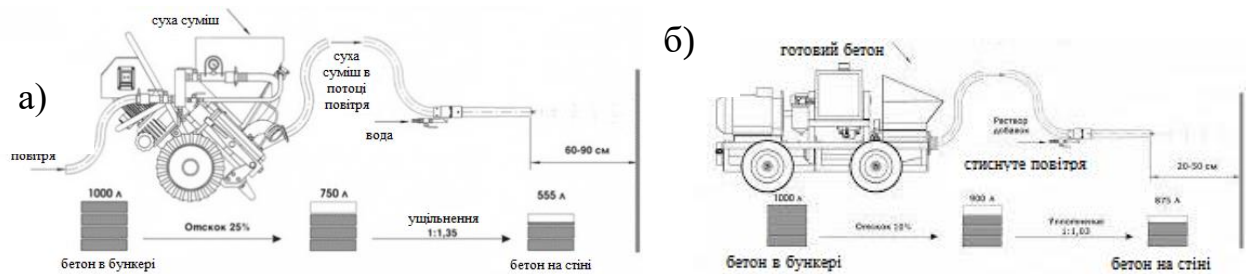
У перекладі з латини це поняття означає «ущільнена штукатурка» (*tor* – штукатурка, *cret* – «щільний»). З середини минулого століття всередину і на поверхню бетонних і металевих конструкцій стали нагнітати розчин для запобігання руйнуванню тіла об'єкта.

Отже, торкретування - це метод бетонування поверхонь за допомогою спеціального обладнання, торкрет установок, при якому бетонна суміш шарами наноситься на бетоновану поверхню під тиском стисненого повітря. Бетонна суміш - цемент, пісок, щебінь та вода - подається в спеціальну форсунку, де змішується з прискорювачами схоплювання бетону, а також стисненим повітрям і далі наноситься на поверхню, що торкретується [1].

Торкретування є незамінним при ремонтних роботах, будівництві, гідроізоляційних та герметизаційних процесах, будівництві тунелів, а також у галузях гірської та переробної промисловості [2].

Існують два способи торкретування: сухий та мокрий. Метод сухого торкретування відбувається наступним чином: попередньо приготована суміш з цементу, заповнювачів (піску, щебню) і добавок, завантажується в установку для сухого торкретування (рис. 1а). Стисненим повітрям суміш подається по шлангу до сопла, змочується в ньому водою, і з великою швидкістю (130-

170 м/с) наноситься на поверхню.



а – сухе торкретування; б – мокре торкретування

Рисунок 1 – Схеми торкретування

До переваг методу сухого торкретування відноситься наступне: не потрібно попереднє змочування водою суміші; можливість подачі матеріалу на великі відстані; можливість нанесення «товстого» шару за один прохід; висока продуктивність; висока надійність і тривалий термін експлуатації обладнання; простота очищення обладнання (продування повітрям); рідкісне засмічення шлангів і обладнання; можливість роботи в режимі «старт-стоп». Недоліки: високе пилоутворення, небезпечно проводити торкрет роботи у замкнутому приміщенні, та в приміщеннях з поганою вентиляцією.

Метод мокрого торкретування відбувається наступним чином: готова бетонна суміш подається в бетононасос і гідравлічним способом (суцільним потоком) подається по шлангу до сопла. По іншому шлангу до сопла подається стиснене повітря, за допомогою якого суцільний потік суміші розривається і доставляється до поверхні (рис. 1б). Швидкість, з якою проводиться набризк істотно нижче ніж при сухому торкретуванні. Переваги методу мокрого торкретування: висока продуктивність; невеликий відсоток відскоку; покращене зчеплення; можливість використання сталевих фібр та нових передових добавок. Недоліки: необхідність введення добавок істотно здорожує вартість нанесення суміші; виключається можливість перерв в торкретуванні без операції промивки шланга (бетонна суміш схоплюється в шлангу).

Порівнюючи сухий та мокрий способи, можна прийти до висновку, що сухий спосіб доцільно застосовувати для виконання робіт невеликого обсягу (наприклад при ремонті) та в особливих випадках, коли існують довгі дистанції подачі суміші та часті перерви у роботі. Спосіб мокрого набризку доцільно застосовувати у всіх інших випадках і тим паче у підземному будівництві. З використанням набризк-бетону підземні споруди можна будувати там, де вони потрібні, незалежно від гірничо-геологічних умов (рис. 2).



Рисунок 2 – Нанесення набризк-бетону в тунельних спорудах

Товщину бетонного шару, що наноситься, контролюють по маяках. При нанесенні кількох шарів кожен наступний шар наносять з таким інтервалом, щоб під дією свіжої суміші не руйнувався попередній шар. Максимально допустима перерва не повинна перевищувати часу схоплювання цементу, щоб забезпечити втоплення свіжого шару попередній та гарне зчеплення між ними.

Завдяки торкретуванню можна отримати поверхні з різноманітними структурами. Крім того, торкретбетон володіє відмінними водонепроникними властивостями і високою стійкістю до низьких температур [3]. Також існують спеціальні добавки і наповнювачі, використовуючи які, можна досягти підвищення теплопровідності, морозостійкості, вогнестійкості та інших характеристик бетону. Торкретування не тільки підвищує несучу здатність, але одночасно є й ефективним протипожежним захистом.

Ця технологія є однією з перспективних у будівництві підземних споруд. З її використанням безпосередньо пов'язане можливе поширення на ринку нових систем гідроізоляції та методів армування, наприклад, синтетичного структурного фіброармування.

Сучасні темпи будівництва тунелів гірським способом у міцних породах і породах середньої міцності можуть бути дуже високі. Наприклад, в Норвегії швидкість зведення автодорожнього тунелю під протокою Хітра прольотом 11,6 м і висотою 7,6 м склала 96 м на тиждень у кожному забої, а автодорожнього тунелю Манхеллер – близько 80 м на тиждень.

Сьогодні набризк-бетон здебільшого використовується при кріпленні гірничих виробок, де його застосування стало вирішенням безлічі проблем та стало необхідністю. Спостерігається чітка тенденція до зростання застосування набризк-бетону в тунелебудуванні у великомасштабних проектах. Тільки в Європі загальний обсяг становить понад 3 млн. м³ на рік.

В Україні із застосуванням технології торкретування було побудовано у 2018 р. Бескидський гірський тунель, довжина якого складає 1765 м, ширина 10,5 м, висота – 8,5 м, глибина закладання 180 м. Гарантійний термін експлуатації цього тунелю – 100 років, було досягнуто завдяки застосуванню торкрет-бетону зі спеціальними добавками компанії BASF [4]. Це прискорювач схватування і твердіння бетону MasterRoc SA 160, який не містить луку і застосовується в будівництві підземних об'єктів. Добавка хімічно не агресивна, що знижує ступінь негативної дії на довкілля. Інша добавка – MasterRheobuild 1000 – суперпластифікатор на основі нафталінсульфонату. Вона збільшує зручність укладання бетонної суміші і покращує механічні характеристики бетону, підвищує міцність за рахунок зменшення водоцементного відношення та передання бетонній суміші реопластичних властивостей.

Завдяки торкретуванню ми отримуємо конструкції з високою щільністю і незначною капілярною пористістю. При використанні цього методу, в отриманому матеріалі, практично відсутні усадочні раковини і тріщини, що

утворюються в звичайному бетоні. При застосуванні пошарової технології усадка кожного шару відбувається індивідуально та ймовірність виникнення наскрізних усадочних тріщин практично виключається. Метод торкретування дозволяє практично повністю механізувати виробництво робіт і виключити використання опалубки.

Перелік посилань

1. Тренінг з технології нанесення торкрет-бетону в тунелі. URL: <https://interbudtechnica.com.ua/treniing-z-tehnologiiyi-nanesennya-torkret-betonu-v-tunelii.html> (дата звернення: 05.04.2023).
2. Будівельні матеріали і конструкції підземних споруд: Конструкції кріплення [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. Спеціальності 184 «Гірництво» / Г. І. Гайко; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,37 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 134 с.
3. Торкретування. URL: <https://www.alpdnepr.com.ua/torkretuvannya.php> (дата звернення: 05.04.2023).
4. Інноваційні розробки концерну BASF використані при будівництві Бескидського тунелю. Прес-реліз. URL: <http://surl.li/gixsz> (дата звернення: 05.04.2023).

КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ТУНЕЛІВ З ФІБРОБЕТОНУ

Заморіна А.Д. ДМ-51-22,

Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. МКБМ Смолянчук Н.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Особливий інтерес представляє бетон, армований металевими волокнами - фібробетон. Його отримують шляхом дозованої подачі в суху або мокру вихідну суміш відрізків тонкого дроту (рис.1). В технології нанесення звичайного і армованого бетону особливої різниці не існує. Незважаючи на те, що вартість армованого набризкбетону перевищує номінальну вартість звичайного, економія може бути досягнута за рахунок зменшення товщини кріплення.

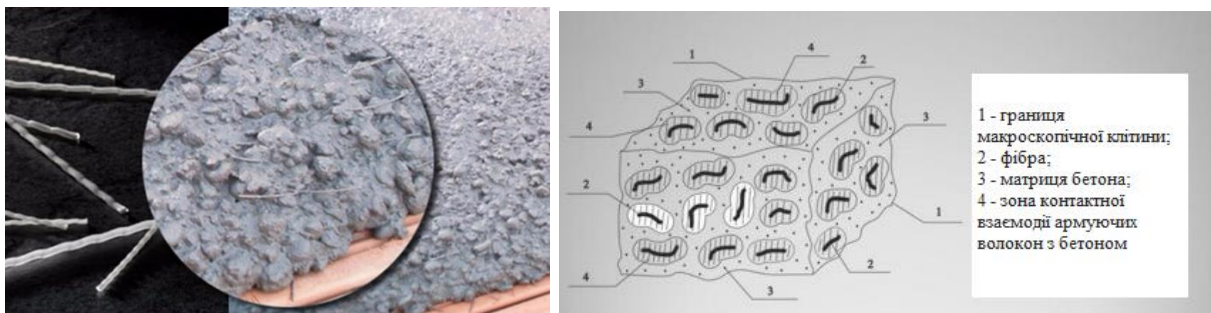


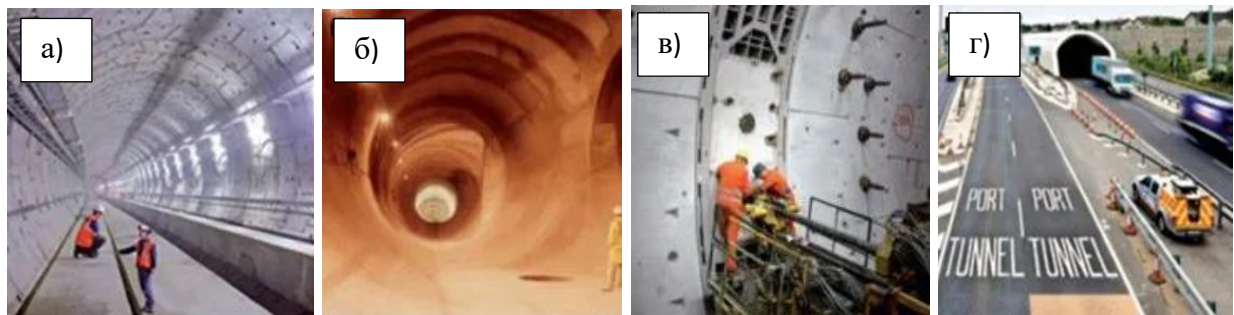
Рисунок 1 - Структура фібробетону

Перевага фібробетону полягає в його високому опорі деформаціям розтягування і динамічним навантаженням, що дозволяє істотно підвищити сейсмостійкість кріплення, його опірність до ударних впливів і зменшити витрати на кріплення виробок [1]. Наявність фібр обмежує появу тріщин в композиті, збільшує його пластичність і стійкість до ударних навантажень. Для забезпечення повної передачі напружень армуючому елементу модуль пружності композиту повинен бути значно нижче модуля пружності волокна, що має місце в системі «бетон-сталь». Зв'язок на границі «волокно-бетон» залежить від зчеплення волокна з цементно-піщаною сумішшю. При міцному зчепленні компонентів виникає більш високий опір розриву. При використанні

армованого набризкбетону на 50% підвищується границя міцності на стискання і на 30% межа міцності на розтягнення.

За кордоном фібробетон застосовують в основному для влаштування тимчасових кріплень і облицювань тунелів, зведення підземних споруд, а також в ремонтних роботах. Географія його використання достатньо широка – Японія, Норвегія, Німеччина, Франція, Великобританія, КНР, Канада, Індія, Австралія і ін..

Прикладами використання фібробетону (рис. 2) є: конструкції перегінних тунелів метрополітену в м. Осло (Норвегія); кріплення гідротехнічного тунелю діаметром 2,34 м в р. Кар'єїнгтон (Великобританія); тунель Хеггура і газопровідні тунелі під дном Північного моря (Норвегія); залізничні тунелі в Канаді; тунелі колекторів метрополітену в м. Гамбург (Німеччина) і м. Ліон (Франція); автодорожній тунель протяжністю 8,63 км на глибині до 1 км на дорозі Енасан-2 (Японія) [2].



а - North Downs Tunnel (графство Кент, Великобританія);

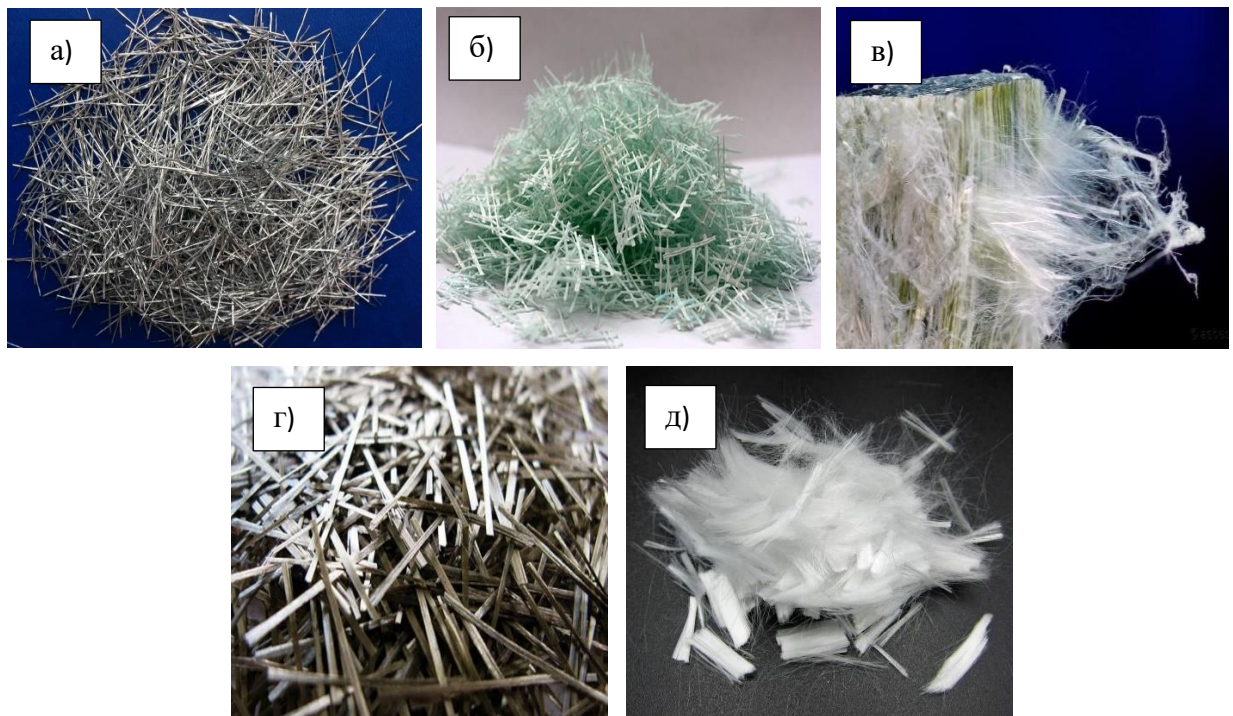
б - аеропорт Хітроу (Лондон, Великобританія); в - Westerschelde Tunnel (Нидерланди);

г - Dublin Port Tunnel (Дублін, Ірландія)

Рисунок 2 – Приклади конструкцій підземних споруд з використанням фібробетону Ignis

Для виготовлення фібробетону застосовують такі види фібри: сталева; полімерна (поліпропіленова); фібра зі скловолокна; базальтова фібра та інші. Фібру виробляють дрібного розміру в таких межах: діаметр фібри 0,2...3 мм; довжина 5...150 мм. Розмір фібри залежить від її виду (рис. 3).

Застосування поліпропілену дозволяє на 60-90% скоротити ризик тріщиноутворення під час пластичної усадки сумішей. Склофібра відрізняється низькою лугостійкістю і використовується тільки для попереднього армування при виготовленні виробів із гіпсу або стінових блоків із пористих бетонів. Базальтова фібра стійка до лужних процесів. Модуль пружності на 15-20% вищий, ніж у волокон зі скла. Азбестові волокна нейтральні до агресивного впливу цементів, їх характеризує висока міцність та вогнестійкість. Раціональний вибір добавок для армування бетону дозволяє отримати вироби, що мають стійкість до механічних навантажень [3].



а – сталеве волокно; б – скловолокно; в – азбестове волокно;

г – базальтова фібра; д – поліпропіленове волокно

Рисунок 3 – Різновиди фібрових волокон

В практиці транспортного тунелебудування фіброве армування застосовують в якості заміни стержньового армування або в комбінації зі стержньовою арматурою (рис. 4). Введення в бетон модифікаторів у вигляді фібр сприяє підвищенню експлуатаційних та робочих характеристик.

Механічні якості композитних матеріалів, армованих волокнами, залежать від типу добавки, об'єму та розміру елементів.

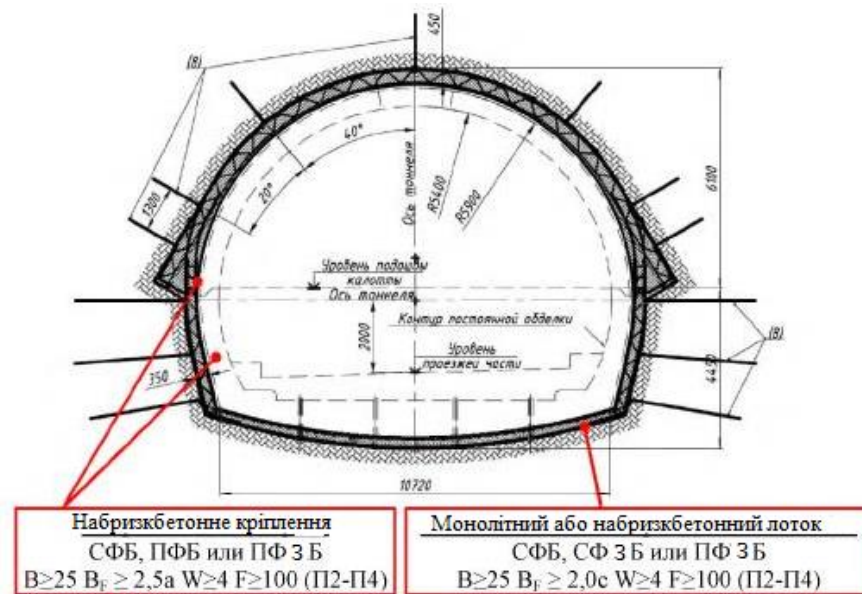


Рисунок 4 – Приклад застосування фібронабрызкбетону з анкерним кріпленням в оправі транспортного тунелю

Як висновок, можна сказати, що багаторічний досвід застосування фібробетонів в якості кріплення виробок гірськорудної промисловості та при ремонті і будівництві тунелів показав свою ефективність і успішно застосовується в усьому світі.

Перелік посилань

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. Настанова з проектування та виготовлення сталевібробетонних конструкцій. – К.: Мінбуд України, 2009. – 63 с.
2. Durus EasyShot 50. Maximizing Reinforcement Performance in Sprayed Concrete.
URL: https://www.adfil.com/media/3357/leaflet_adfil_durus_easyshot-50-english.pdf.
3. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. – Brussels: GEN, 2004. – 226 p.

ВІТЧИЗНЯНІ ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ І ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Вербицький К.І. ДМ-51-22

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

Проектування - це формалізована, структурована діяльність, ітераційний процес створення образу об'єкта, розписаний поетапно. Він починається з формулювання технічного завдання, проведення певних досліджень, щоб отримати розуміння якими шляхами рухатись, і обґрунтування тих чи інших шляхів для подальшої проробки. На кожному кроці мають залишатися описані певні результати, щоб кожний хто потім буде проходити ці етапи дослідження, щоб він міг зрозуміти, чому ми обираємо ті чи інші шляхи. Результати досліджень вносяться в технічний звіт.

Моделювання - це процес створення та дослідження моделі, як форми наукового пізнання, експериментального вивчення технологічних процесів за критеріями подібності. Частіше за все під моделюванням розуміють створення та дослідження математичної або об'ємної моделі в різних програмних комплексах, тоді як під проектуванням розуміють процес створення конструкції, якою будуть користуватись люди, і від якої можуть залежати їх життя. І тому будь яка помилка в будівельній галузі на проектуванні, може повністю перекидати витрати на програмні комплекси розрахунку і моделювання будівель та споруд.

Вся історія будівельної механіки в докомп'ютерний період була пов'язана з розробкою прийомів, орієнтованих на чисельну реалізацію тієї або іншої розрахункової схеми. Методи моментних і кутових фокусних відношень, метод Кроса, метод перерозподілу початкових кутових деформацій, метод пружного центру та інші прийоми – ось невеликий перелік з величезного ряду прийомів, що існували у той час, і методів розрахунку конструкцій, які, по суті, зводилися до прагнення уникнути великої кількості

обчислень. І коли фахівець складав розрахункову схему, він перш за все думав про можливість вирішення задачі в такій постановці. Положення докорінно змінилося з появою ЕОМ і методу скінченних елементів.

Метод скінченних елементів (МСЕ) – це чисельний метод вирішення задач прикладної фізики. Ключова ідея методу при аналізі поведінки конструкцій полягає в наступному: суцільне середовище (конструкція в цілому) моделюється шляхом розбиття її на області (скінченні елементи), в кожній з яких поведінка середовища описується за допомогою окремого набору вибраних функцій, що представляють напруження і переміщення у вказаній області. Ці набори функцій часто задаються в такій формі, щоб задовольняти умовам неперервності описуваних ними характеристик у всьому середовищі.

Основні переваги МСЕ:

- легка алгоритмізація при використанні обчислювальної техніки;
- просте формування систем лінійних рівнянь;
- можливість розрахунку неоднорідних і складних конструкцій за різних умов навантаження;
- широкий спектр розв'язуваних завдань.

Недоліки МСЕ:

- значний об'єм розрахунків;
- відсутність аналітичного розв'язку (необхідність повного розрахунку схеми для оцінки локального НДС);
- необхідність оцінки точності результатів розрахунку.

МСЕ в своєму розвитку пройшов через ряд безперервних модифікацій. Були сформульовані спеціальні елементи для плоского напруженого стану, введені скінчено-елементні співвідношення для деформівного твердого тіла, пластин, що згинаються, тонких оболонок та інших конструктивних форм. Багато видатних науковців працювали над задачами МСЕ, такі як Городецький Олександр Сергійович, Шмуклер Валерій Самуїлович, Лантух-Лященко Альберт Іванович.

- ЛІРА-САПР. ЛІРА-САПР реалізує технологію інформаційного моделювання будинків (BIM) і орієнтована на проектування і розрахунок будівельних конструкцій. Розрахунок проводиться на різні види динамічних впливів: сейсміка, вітер з урахуванням пульсації, вібраційні навантаження, імпульс, удар, відповідь-спектр, сейсміка на основі акселерограми. Дозволяє по зусиллям в перерізі, знайденим в процесі рішення задачі визначити головні та еквівалентні напруження і здійснити перевірку за різними теоріями міцності: найбільші головні напруження, найбільші головні деформації, найбільші дотичні напруження, енергетична теорія Губера-Мізеса-Генки, теорії Мора, Друкера-Прагера, Писаренко-Лебедева, Кулона-Мора, Боткіна, Генієва. Розвинена бібліотека скінченних елементів дозволяє створювати комп'ютерні моделі практично будь-яких конструкцій: плоских і просторових рам, балок стінок, згинальних плит, оболонок, масивних тіл, а також комбінованих систем - плит і оболонок підпертих ребрами, плит на ґрунтовій основі, каркасних конструкцій будівель, системи "надземна будова - фундаментні конструкції - ґрунтова основа" та багато інших. Великий набір спеціальних скінченних елементів, що дозволяють скласти адекватні комп'ютерні моделі для складних і неординарних споруд. Наприклад: скінченний елемент, що моделює податливість вузлів; скінченний елемент, що моделює роботу ґрунту за межами конструкції; скінченний елемент, що моделює натягувальний пристрій (форкопф) і який дозволяє забезпечувати задане первинне натягнення конструкції або знаходити необхідне натягнення, що забезпечує задану геометрію (наприклад, тенту або вантової сіті). Модулі врахування геометричної нелінійності, що дозволяють розраховувати, як конструкції від самого початку геометрично незмінні (гнучкі плити та балки, гнучкі ферми та ін.), так і конструкції спочатку геометрично змінні, для розрахунку яких необхідно спочатку визначити рівноважну форму під заданий вид навантаження (окремі канати, вантові ферми, вантові покриття, тенти, мембрани та ін.).

- **МОНОМАХ-САПР.** МОНОМАХ-САПР призначений для розрахунку та проектування конструкцій будівель із монолітного залізобетону житлових та громадських багатоповерхових будівель, а також будівель із цегляними стінами. У процесі роботи проводиться розрахунок будівлі та її окремих частин із формуванням робочих креслень і схем армування конструктивних елементів. Комплекс складається з окремих програм - КОМПОНІВКА, БАЛКА, КОЛОНА, ФУНДАМЕНТ, ПІДПІРНА СТІНА, ПЛИТА, РОЗРІЗ (СТІНА), ЦЕГЛА. Ці програми пов'язані інформаційно, крім того, кожна може працювати в автономному режимі.

- **САПФІР-3D.** Система параметричного 3D моделювання САПФІР-3D займається питаннями проектування архітектурних конструкцій всіляких об'єктів будівництва: багатоповерхових житлових і громадських будівель, споруд цивільного призначення, прогонових будов, малих архітектурних форм. САПФІР-3D містить в собі зручні та потужні інструменти графічного побудови та редагування параметричних 3D моделей архітектурних конструкцій створюють всі умови для повного розкриття творчого потенціалу проектувальника.

Коректна й адекватна аналітична модель, яка формується з урахуванням безлічі нюансів, дозволяє виконувати розрахунки на міцність і аналіз напружено-деформованого стану конструкцій в ПК ЛІРА-САПР.

Параметризація та структурування інформаційної моделі дозволяють контролювати навіть дуже складні проекти, з легкістю вносити корективи на будь-якому з етапів проектування і тут же здійснювати міцнісний розрахунок, що провокує багатоваріантність і заохочує до творчого пошуку.

Оперування звичними поняттями і термінами, такими як: поверх, перекриття, стіна, колона, балка, переріз, сходи, фасад і т.д., дозволяє негайно включитися в роботу без освоєння додаткових формалізованих понять і визначень.

Можливість отримувати плани поверхів, розрізи і фасади на основі єдиної інформаційної моделі будівлі забезпечує повну взаємну відповідність видів і виключає механічні креслярські помилки.

МОНОМАХ-САПР, САПФІР-3D, разом із ЕСПРІ (електронний довідник інженера), входять до групи ЛІРА-САПР, і працюють разом доповнюючи один одного.

- SCAD Office. Обчислювальний комплекс SCAD реалізований як інтегрована система міцнісного аналізу та проектування конструкцій на основі методу скінченних елементів. SCAD містить розвинену бібліотеку скінченних елементів для моделювання стержневих, пластинчастих, твердотільних и комбінованих конструкцій, модулі аналізу стійкості, формування розрахункових сполучень зусиль, перевірки напруженого стану елементів конструкцій за різними теоріями міцності, визначення зусиль взаємодії фрагмента з усією конструкцією, обчислення зусиль і переміщень від комбінацій завантажень. До складу комплексу введено програми добору арматури в елементах залізобетонних конструкцій і перевірки перерізів елементів металоконструкцій.

SCAD Office так само як і ЛІРА-САПР має широку лінійку продуктів: SCAD (Обчислювальний комплекс для міцнісного аналізу конструкцій методом скінченних елементів); Кристал (Розрахунок елементів сталевих конструкцій); АРБАТ (Добирання арматури та експертиза елементів залізобетонних конструкцій); КАМІН (Розрахунок кам'яних і армокам'яних конструкцій); ДЕКОР (Розрахунок дерев'яних конструкцій); ЗАПРОС (Розрахунок елементів основ і фундаментів); УКІС (Аналіз стійкості укосів і схилів); ВеСТ (Розрахунок навантажень за СНіП «Навантаження та діяння» та ДБН); Моноліт (Проектування монолітних ребристих перекриттів); КРОСС (Розрахунок коефіцієнтів постелі будівель і споруд на пружній основі); КОНСТРУКТОР ПЕРЕРІЗІВ (Формування та розрахунок геометричних характеристик перерізів з прокатних профілів і листів); КОНСУЛ (Побудова довільних перерізів і розрахунок їхніх геометричних характеристик на основі

теорії суцільних стержнів); ТОНУС (Побудова довільних перерізів та розрахунків їхніх геометричних характеристик на основі теорії тонкостінних стержнів); СЕЗАМ(Пошук еквівалентних перерізів); КОМЕТА-2 (Програма виконує розрахунок та проектування вузлів сталевих конструкцій); КоКон (Довідник з коефіцієнтів концентрації напружень та коефіцієнтів інтенсивності напружень); КУСТ (Розрахунково-теоретичний довідник проектувальника); Магнум (Нормативний розрахунок несних елементів конструкцій з холодно-гнутих профілів).

Були також Маестро (призначений для проектування цивільних будівель і складається з архітектурного, конструктивного та сантехнічного розділів) і Каліпсо (інструмент підрахунку обсягів робіт будівельних об'єктів, прив'язки кошторисним нормативам, експорту в кошторисні комплекси та системи управління будівництвом), які на сьогоднішній день безнадійно застаріли.

Також окремо існували спеціалізовані програми для розрахунку основ і фундаментів ФОК-ПК і ФОК-ПК Стрічкові фундаменти, які займалися питаннями проектування фундаментів під колони каркасних будівель на природній, пальовій забивній та пальовій буро-набивній основі, проектування (перевірка) стрічкових фундаментів на природній та пальовій основі під стіни безкаркасних будівель, проектування гравітаційних підпірних стін та підпірних стін з буро-набивних паль та шпунтів іншої конструкції.

- Autodesk Revit. В Autodesk Revit Architecture створюється єдина модель будівлі (Building Information Model - BIM), що включає плани поверхів, фасади, розрізи, специфікації та інші елементи архітектурного проекту. Параметричні елементи будівельних конструкцій - стіни, вікна, колони, сходи, дахи, двері та інші компоненти логічно пов'язані, що дозволяє швидко створювати та редагувати тривимірну модель об'єкта. У моделі будівлі, створеної в пакеті, кожен 2D або 3D вигляд, кожен лист, кожна специфікація - це відображення інформації з єдиної бази даних споруди. У програму закладено технологію параметричних змін, яка дозволяє автоматично проводити через усі види та листи операцію, виконану у будь-якому вигляді.

BIM-модель будівлі – це чисельна модель, яка може бути відредагована, існуюча в реальному часі єдина комплексна модель, яка містить повну графічну та текстову інформацію про всі елементи будівлі. Основні переваги BIM-моделювання:

- Створення шляхом додавання в базу даних нетипових елементів, позначень і так далі;
- Спільна робота як між учасниками проекту, так і між відділами;
- Параметризація;
- Пошук колізій, і як наслідок, своєчасне усунення;
- Випуск будь-якої документації. Від проекту до кошторису та бухгалтерських рахунків;

Завдяки використанню BIM-технології підвищується ефективність взаємодії всіх ділянок процесу, скорочується вартість, термін та ризики. Такий підхід полегшує впровадження концепцій енергоефективності, перехід на інноваційні, енергозберігаючі технології будівництва.

В Revit представлена можливість створювати відкриті інтелектуальні параметричні бібліотеки як зовнішні сімейства та впроваджувати їх у файли моделі, легко керуючи їх параметрами та редагуючи в міру потреби. Параметричні компоненти сімейств можуть являти собою як прості будівельні елементи (стіни, отвори, колони тощо), так і складніші - наприклад, меблі та різноманітні обладнання. Зовнішні сімейства створюються на основі шаблонів і не вимагають знання мови програмування. Сімейства бувають системні, розроблені дружніми фірмами, або створені продавцями будівельних компонентів.

В Revit Structure можливі розрахунки балок, колон на міцність за методами розрахунків з будівельної механіки.

Revit виконує роботи з армуванням, координаційними, аналітичними моделями, хмарним середовищем Autodesk Docs (який є по суті заміною сервера, можна переносити свої проекти в хмарне середовище, і вони там

досить добре працюють), переважна більшість команд Autodesk орієнтовані на хмару.

Базові файли Revit цілісні - це пакет документації, який працює комплексно, де архітектурна, конструктивна частини, а також інженерні мережі разом. Дуже швидка і зручна робота з лінкованими файлами, а також можливість одночасно розглядати декілька варіантів конструкції. Autodesk роблять програму по найкращих світових практиках роботи в Revit, і постійно оновлюють інструментарій.

Одні з останніх впроваджень - робота з рельєфами, як із звичайним перекриттям, яке має залежності, відчуття об'єму, чутлива тріангуляція в топосоліді з гранями за які можна причепитись, і гнучко налаштуванні пікети. З рельєфом можна працювати як із об'ємним тілом, що дуже зручно для ландшафтної роботи. Також робота з тунелями, покращена робота зі специфікаціями, з автоматичним розміщенням їх на листі.

- Allplan. Усі комплексні BIM-системи мають як слабкі так і сильні сторони. Allplan сильний в залізобетоні, збірних будовах і протяжних об'єктах.

Не секрет, що в будівельній галузі не менш як 20% бюджетів будівництва приходить на втрати: 10% матеріалів витрачається марно; 30% будівництва переробляється; 40% робіт непродуктивні; 40% проектів перевищують бюджет; 90% проектів спізнюються. Багато в чому через неефективні комунікації, планування та взаємодії. В будівництві мостів це питання стоїть особливо гостро.

Програмний комплекс Allplan містить в собі окремий підрозділ Allplan Bridge.

Можливості Allplan Bridge:

- Параметричне моделювання з правилами, які можна налаштувати;
- Легке змінення в будь який час;
- Календарний план будівництва;
- Автоматичне формування розрахункової моделі;
- Вбудований і зовнішній розрахунок конструкцій;

- Моделювання і розрахунків напруженого армування;
- Деталювання та випуск робочих креслень;
- Взаємодія на BIM-моделі.

Параметричний моделлер Allplan Bridge створює моделі за класичним принципом “Переріз-Вісь”, швидко створення того та іншого. І коли ми змінюємо чи то вісь, чи то переріз, змінюється уся наша конструкція, виконується перерахунок структурної моделі. Паралельно можливе виконання розрахунку на міцність, в тому числі в незавершеному стані, тобто з урахуванням фактору часу. Цей метод дуже добре зарекомендував себе до мостів коробчастого перерізу.

До балочних же мостів використовується інша методика, де геометрія балки напряму не залежить від вісі, а визначається структурними елементами, розміщенням опор. В моделюванні балочних мостів існують основні елементи моделювання (вісі, перерізи, основи, балки, плита, елементи вирівнювання (ребра, вути)), за допомогою яких виконується деталізація моделі, а також їх параметричного розміщення, через певні закони розміщення повторюваних об’єктів (опорні частини, ребра жорсткості, елементи огорожі і вітрозахисту, освітлення і т.п.).

Також в Allplan Bridge є можливість створення графіку послідовності побудови конструкції і в подальшому отримувати об’єми з окремих охоплень.

Allplan Bridge містить більш зручні способи визначення опор, створення універсальних шаблонів опор, введення та керування пікетами. Також більш зручна користувальницька структура проекту (дерево навігації, і методи групування елементів). Також містить зручну бібліотеку параметричних елементів, шаблонів. Використання движка Parasolid для побудови сітки перерізів у місці скосу. Використання допоміжних вісей (бічних бордюрів, підпірних стін).

Армування в Allplan дуже докладне, міститься можливість створення своїх сортаментів сіток (зі своїми габаритними розмірами, маркуванням, розташування стержнів)

Також міститься система контролю проектних рішень Allcheck, яка дозволяє автоматизовано виконувати перевірки моделей, отриманих від КБ, до передачі на машини, в підготовку виробництва, логістику, облік, такі як вхідний контроль архітектури, конструктивні перевірки та перевірки на міцність, положення монтажних закладних деталей, розміщення отворів, геометрія виробів, відповідність вихідному завданню.

Також існує хмарна платформа Vimplus для інтеграції робочих процесів, і взаємодії їх учасників, імпорт вісей, каталогів матеріалів, імпорт/експорт об'ємної, розрахункової моделей.

В підсумку можемо зазначити, що програмний комплекс Allplan дає замовнику/підряднику:

- Автоматизований контроль якості проектування в експертній системі Allcheck;
- Отримання ТЕО та кошторисів з моделі Design2Cost;
- Зв'язок з системами календарного планування Design2Time;
- Зв'язок з розрахунковими програмами Design2Static;
- Спілкування учасників проекту в хмарі Vimplus;
- Керування заводами збірних ЗБК;
- Зв'язок з ERP системами управління будівельним проектом.

Allplan поєднує в своєму середовищі конструкторів, спеціалістів по розрахункам, замовників, підрядників, експертів, і т.ін., поєднує розділи і стадії проектування будівель, поєднує програми, в яких виконується робота. Допомогає наводити лад з варіантним концептуванням, розрахунками, конструюванням, об'ємами, поставками, монтажем, виробництвом, термінами та кошторисами.

Перелік посилань

1. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
2. Городецкий А.С. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Учебное пособие [Текст] /

- А.С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В. Бондарев - Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.
3. МОНОМАХ-САПР 2013. Учебное пособие. Примеры расчета и проектирования [Электронное издание] / Д.А. Городецкий, С.В. Юсипенко, Л.Г. Батрак, А.А. Лазарев, А.А. Рассказов
 4. Офіційний сайт ЛІРА-САПР [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – LIRALAND Group, 2002-2023. – Режим доступу: <http://www.liraland.ua>
 5. Офіційний сайт SCAD Office [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – SCAD Structure, 2001-2023. – Режим доступу: <https://scadsoft.com/ua>
 6. Офіційний сайт Autodesk [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Autodesk Inc., 2023. – Режим доступу: <https://www.autodesk.eu/>
 7. Офіційний сайт Allplan [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – ALLPLAN Deutschland GmbH, ALLPLAN is part of the Nemetschek Group, 2023. – Режим доступу: <https://www.allplan.com/>
 8. Портал програмних рішень Allplan [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Allbau Software, 2022. – Режим доступу: <https://www.allbau-software.de/>

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ОПТИМАЛЬНИХ (ЗА ВИТРАТОЮ МАТЕРІАЛУ) МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Мелещенко Р.М. ДМ-51-22, Нагієв Алі Мурадхан огли ДМ-51-22
Науковий керівник: к.т.н., доц. кафедри МКБМ Бережна К.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Останнім часом, проблеми оптимізації конструкцій привертають велику увагу і їм присвячене значна кількість робіт, опублікованих головним чином в останні 15-20 років [1]. На основі оптимального проектування досягається значне зниження ваги конструкцій та поліпшення її механічних характеристик.

Проблеми оптимального проектування мають і теоретичне значення. Становить інтерес дослідження нових класів математичних задач у цій області, урахування при оптимальному проектуванні різних фізичних факторів, розробка ефективних методів оптимізації. Відшукування оптимальних форм і структури пружних тіл нашої хвустя на серйозні математичні труднощі. Так, у ряді випадків оптимальне проектування зводиться до рішення варіаційних задач з невідомими границями й ігровими задачами оптимізації, для яких відсутні регулярні методи дослідження.

Звичайно в теорії оптимального проектування конструкцій передбачається що зовнішні впливи, умови закріплення і властивості матеріалу конструкції відомі точно. Ставиться задача відшукування форми і внутрішньої структури конструкції, що доставляють мінімум (чи максимум) заданому критерію якості. Розшукується форма конструкції і її внутрішня структура, що оптимізує критерій якості й забезпечує задоволення міцнісних і геометричних обмежень для всіх можливих реалізацій сил і інших зазначених вище факторів.

У теорії оптимального проектування вивчаються питання найкращого вибору силової схеми, форми, властивостей матеріалів і умов роботи

конструкції, досліджуються загальні закономірності екстремальних рішень і розвиваються ефективні методи оптимізації. У результаті досліджень по оптимальному проектуванню з'ясовуються граничні можливості поліпшення конструкцій, оцінюється якість традиційних (неоптимальних) споруджень і виявляються найбільш ефективні способи їхнього удосконалювання. Теорію оптимального проектування відрізняє широка розмаїтість постановок задач.

При оптимальному проектуванні конструкцій прагнуть застосовувати розрахункові схеми, що дозволяють єдиним образом визначити як істотні величини напружено-деформованого стану, так і шукані перемінні проектування. Однак цього не завжди вдається досягти через відсутність точної інформації про зовнішні впливи, недосконалостей виготовлення виробу, розкиду параметрів, що характеризують матеріал конструкції й інших факторів неповноти інформації. Для адекватної схематизації в цій ситуації доцільне зм'якшення вимог до точності опису реального об'єкта і прийняття або схеми розрахунку конструкції на найгірший випадок, або схеми стохастичного опису конструкції. Це так називані гарантований і ймовірнісний методи.

У теорії оптимального проектування різні ситуації виникають у залежності від того, чи проектується традиційна принципово нова конструкція. У першому випадку мається корисна інформація про прототипи, і накопичений досвід може використовуватися у виді "опорних" рішень і початкових наближень для процесу оптимального проектування. У цьому випадку незначне число параметрів проектування є шуканим, і оптимізація конструкції сполучена з обрахуванням порівняно невеликого числа варіантів. В другому випадку конструкція характеризується великим числом параметрів проектування і процес оптимізації зв'язаний з розглядом значного числа припустимих варіантів (проектів).

Вага - одна з основних характеристик конструкції, і тому в більшості робіт з оптимального проектування цей функціонал або розглядається в якості критерію якості, що оптимізується, або фігурує серед інших прийнятих

обмежень. Вага конструкції характеризує як витрата матеріалів, необхідних для її створення, так і деякі її експлуатаційні властивості. Наприклад, збільшення ваги конструкцій літальних апаратів приводить не тільки до збільшення кількості матеріалів, що йдуть на виготовлення конструкції, але і до більшої витрати палива при польоті, погіршенню ряду інших літних характеристик.

Задачі мінімальної ваги конструкції при обмеженнях по міцності, а також родинні їм задачі граничного зниження концентрації напруг при виконанні ізопериметричних умов на кількість застосовуваного в конструкції матеріалу є основними в теорії оптимального проектування. Ці задачі виникають як при проектуванні традиційних конструкцій, так і при розробці унікальних виробів.

Однак дослідження питань про граничні можливості зниження концентрації напруг для тіл кінцевих розмірів наштовхується на серйозних математичних труднощів. Тому дослідження даних питань ведеться на основі чисельних методів.

Важливу роль у теорії оптимізації проектування грає поняття рівномірності. Це поняття зв'язане з представленнями про одночасне вичерпання міцності і несучої здатності всіма частинами конструкції. Вимозі відсутності резервів міцності й одночасного руйнування всіх частин конструкції асоціювалося на практиці проектування з умовами мінімальної ваги й інтуїтивно сприймалися як критерій оптимальності. Принцип рівномірності має важливе значення і для сучасних робіт із проектування. З використанням принципу рівномірності проблема оптимального проектування істотно спрощується і зводиться до рішення деяких "зворотних" задач теорії пружності.

Часте поняття оптимізації і рівномірності розглядається як еквівалентні. Однак ці поняття далеко не завжди виявляються тотожними. Умови оптимальності є більш загальними в порівнянні з критерієм рівномірності. Доказу оптимальності рівномірних проектів отримані лише при

накладенні ряду додаткових вимог і за умови, що несуттєвими є обмеження на твердість і стійкість конструкції, а також на деякі її динамічні характеристики.

Підходи до оптимізації конструкцій, засновані на методах оптимізації систем з розподіленими параметрами і варіаційним численням, дозволяють при континуальній постановці проблеми проектування провести аналіз чутливості й одержати оптимальне рішення. Ці підходи добре сполучаються з такими методами прямого розрахунку напружено-деформованого стану конструкції (НДС) як метод кінцевих елементів (МКЕ) і метод граничних інтегральних рівнянь (ГІР). Викладаючи далі МКЕ і ГІР, насамперед маємо на увазі їхнє застосування при проектуванні форм пружних тіл, коли відшукуванню підлягає сама форма області, де визначені рівняння рівноваги.

Ефективним є використання МКЕ в алгоритмах послідовної оптимізації. У цих алгоритмах побудова поліпшуючих варіацій форми засновано на співвідношеннях аналізу чутливості, що апроксимовані кінцево-різницевиими вираженнями й адаптовані до чисельних схем розрахунку НДС. Вибір апроксимованого представлення співвідношень аналізу чутливості погоджений з видом базисних функцій у прямій задачі розрахунку НДС і крайовій задачі розрахунку сполучених перемінних.

Алгоритм МКЕ в сполученні з алгоритмом послідовної оптимізації реалізовані у виді програми, що виявляє на кожному кроці наступні операції:

- 1) тіло, що деформується, автоматично розбивається на кінцеві елементи, тобто генерується сітка кінцевих елементів;
- 2) відповідно до виду кінцевих елементів формується матриця твердості, вектор правих частин і виконується розкладання матриці твердості на дві трикутні;
- 3) визначаються переміщення, напруги, деформації і формується вектор правих частин сполученої системи;
- 4) за допомогою розкладань на дві трикутні матриці твердості визначаються сполучені перемінні;

5) будується поліпшуюча варіація границі і визначається нова форма конструкції.

Знання переміщень і напружень у внутрішніх крапках тіла представляється корисним, оскільки ця інформація використовується для повного аналізу конструкції. Але при побудові оптимальних форм конструкцій у ряді випадків знання цих величин може і не знадобитися. Це порозумівається тим, що для широкого кола проблем у формулах аналізу чутливості й умовах оптимальності фігурують тільки граничні значення функцій стану і сполучених перемінних. Для розрахунку НДС у таких задачах доцільно використовувати методи граничних інтегральних рівнянь (ГІР) і граничних елементів (МГЕ). Застосування МГЕ, заснованого на ГІР, дозволяє істотно скоротити обсяг обчислень, виконуваних при використанні МКЕ і варіаційно-різницевого методів. Метод граничних інтегральних рівнянь заснований на зведенні крайових задач для диференціальних рівнянь до інтегральних рівнянь на границі області. Розмірність вихідної задачі при цьому знижується на одиницю.

При рішенні задач оптимального проектування з застосуванням варіаційно-різницевого методів і методу кінцевих елементів функції, що описують напружено-деформований стан, перемінні обчислюються для всіх елементів, тобто у всьому обсязі конструкції.

У останні роки оптимальне проектування конструкцій стає частиною загальної теорії систем і як слід з'являються нові підходи до вирішення питання оптимізації (енергетична теорія, яка пропонується у роботах проф. Василькова В.Г. [2], стверджує що для конструкції с *постійним об'ємом матеріалу* при зміні конфігурації конструкції потенційна енергія деформації зменшується). Однак економія енергії системи, не є важливим критерієм оптимізації [1], цікавішим в роботах Шмуклера В.С, є отримання залежності потенційної енергії системи і витрат матеріалу на конструкцію.

Для визначення цієї залежності нами було проведено розрахунок деяких існуючих металевих конструкцій, котрими можна перекрити

однаковий проліт. Кожна конструкція підбиралась таким чином щоб прогин що виникає в конструкціях був однаковим, тому що розрахунок прогинів у металевих конструкціях є важливим питанням.

Всі розрахунки проводилися з допомогою програмного комплексу «Ліра» [3].

В результаті розрахунків було отримано чотири види конструкцій з індивідуальними перерізами стержнів, а як слід зі своєю вагою. Розрахунок енергії деформації системи проводили по таким формулам:

для балки

$$U = \frac{M^2 \cdot L}{2EI}$$

для арки

$$U = \frac{M^2 \cdot L}{2EI} + \frac{N^2 \cdot L}{2EA}$$

для ферм

$$U = \frac{N^2 \cdot L}{2EA}$$

1) Балка



Рисунок 1 – Розрахункова схема балки

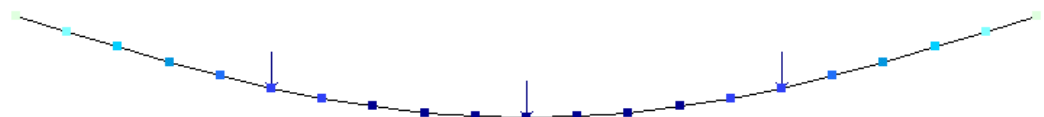


Рисунок 2– Деформації отримані в балці

По розрахунку балка має переріз що складається з двох балок 90Б2 загальною масою 7696,8кг. Потенціальна енергія дорівнює 1,9882.

2) Арка

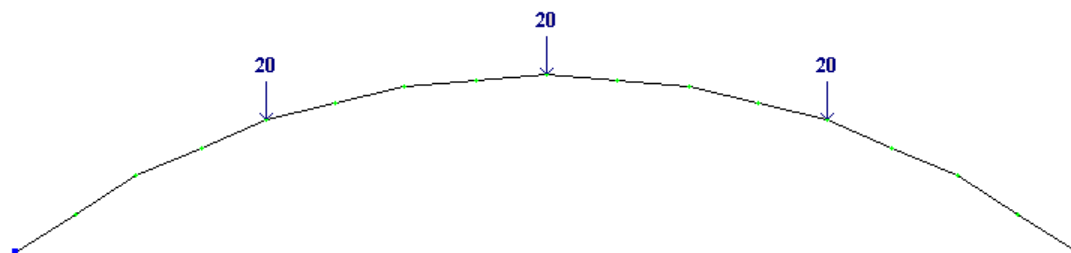


Рисунок 3 – Розрахункова схема арки

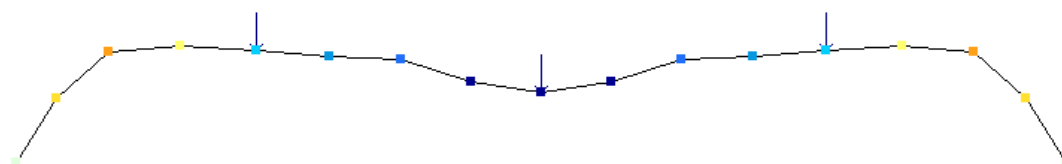
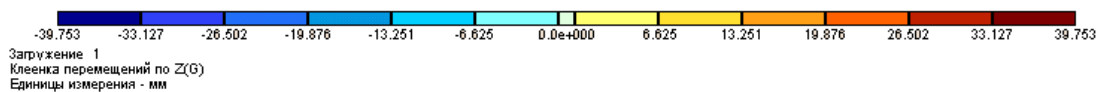


Рисунок 4 – Деформації отримані в арці

По розрахунку арка має переріз що складається з двох балок 18Б1 загальною масою 749,1кг. Потенціальна енергія дорівнює 3,33.

3) Ферма з паралельними поясами

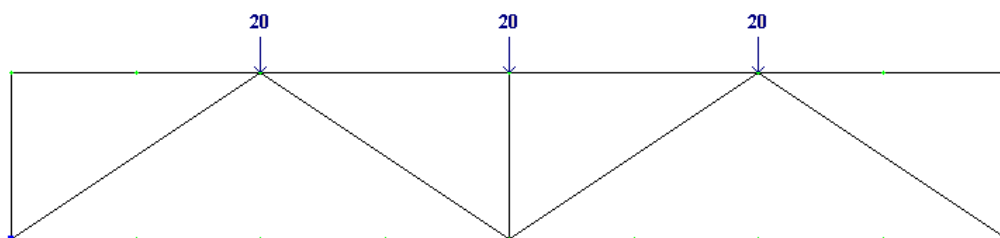


Рисунок 5 – Розрахункова схема ферми з паралельними поясами

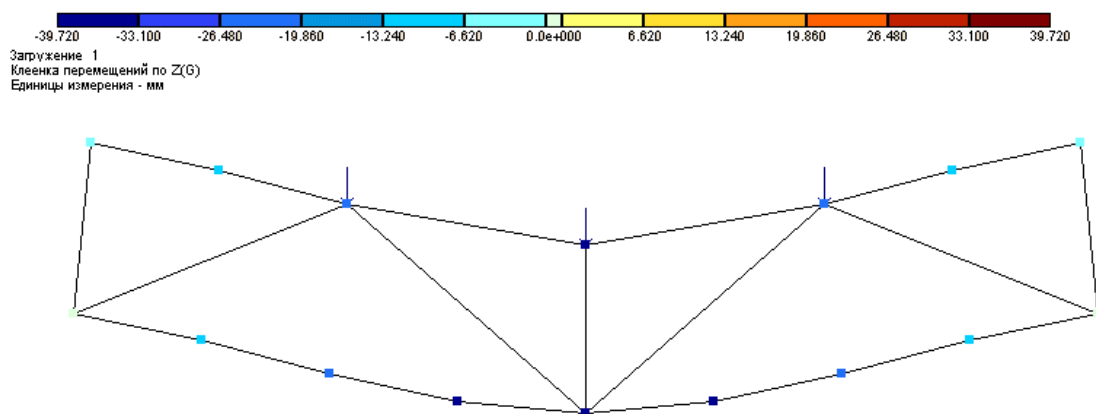


Рисунок 6 – Деформації отримані у фермі

По розрахунку ферма має переріз що складається з кутиків 120x8 загальною масою 1365,6кг. Потенціальна енергія дорівнює 3,21789

4) Арочна ферма

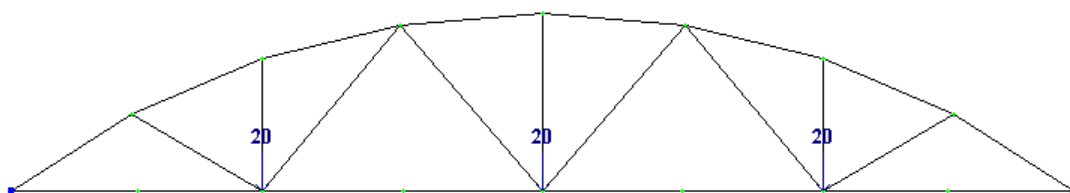


Рисунок 7 – Розрахункова схема арочної ферми

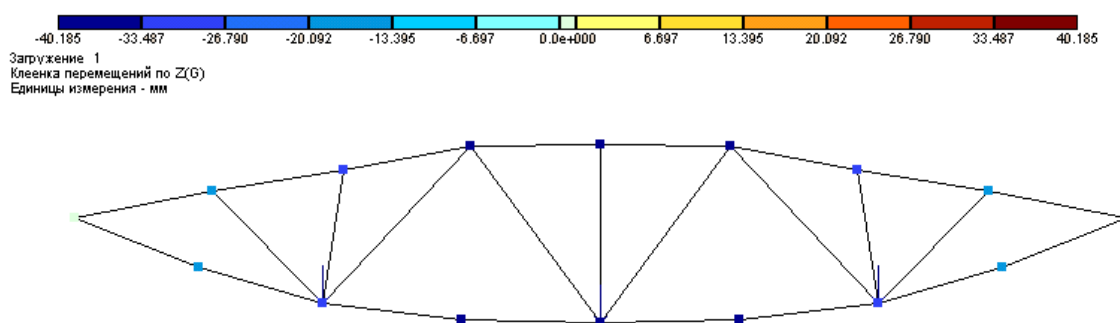


Рисунок 8 – Деформації отримані у фермі

По розрахунку ферма має переріз що складається: арки з кутиків 90x9, пояс, розкоси та підвіски з кутиків 70x7, загальною масою 1132,2кг. Потенціальна енергія дорівнює 2,97054.

Слідуючи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що при більших витратах матеріалу потенційна енергія системи зменшується. Таки самі результати були отримані для залізобетонних конструкцій, що підтверджує достовірність отриманих результатів. Отримання такого результату дає можливість використовувати у подальших дослідженнях збільшення енергетичної енергії як критерію оптимальності з точки зору економії матеріалу.

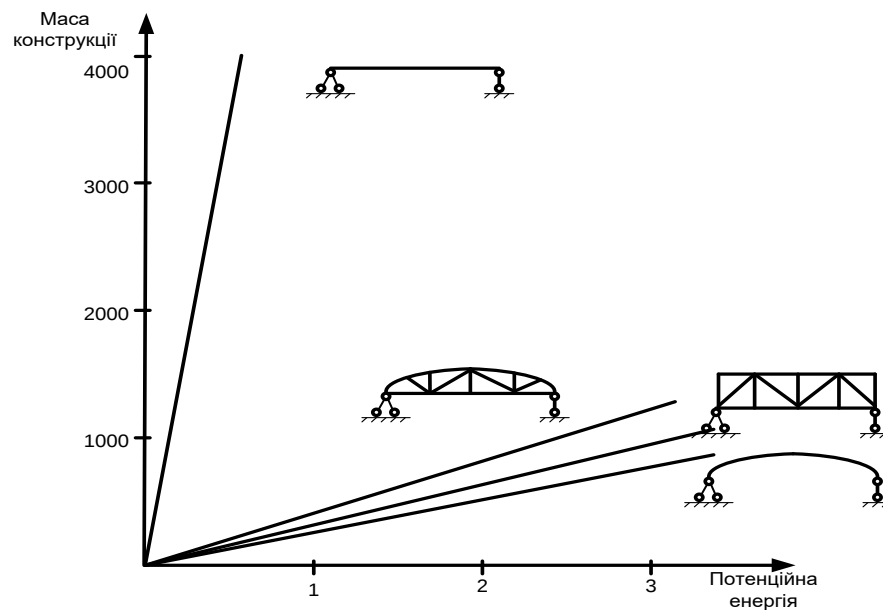


Рисунок 9 – Графік порівнянні залежності потенціальної енергії системи від ваги конструкцій різних типів.

Перелік посилань

1. Бабаєв В.М., Бугаєвський С.О., Євель С.М., Євзеров І.Д., Лантух-Лященко А.І., Шеветовський В.В., Шимановський О.В., Шмуклер В.С. Чисельні та експериментальні методи раціонального проектування та зведення конструктивних систем. – К.:Вид-во «Сталь», 2017. – 404 с.
2. Васильков Г.В. Эволюционные задачи строительной механики (Синергетическая парадигма). Ростов на Дону: ИнфоСервис, 2003. 253с.
3. Городецький О.С. Комп'ютерні моделі конструкцій [Видання друге доповнене] / О.С. Городецький, І.Д. Євзеров – К. : "Факт", 2007. - 394 с.

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ОПОР ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗОК ТА ЕСТАКАД

*Полікарпов А.О. ДМ-51-22, Романенко Ю.В. ДМ-51-22
Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. МКБМ Бережна К.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Опори міських естакад, а також багаторівневих транспортних розв'язок та перетинів мають свої особливості в порівнянні з опорами мостів [1-4]. Ці відмінності обумовлені розташуванням опор таких споруд в міській забудові, що відрізняється стисненими місцевими умовами, підвищеними вимогами до безпеки руху транспорту і пішоходів. Зазначені відмінності вимагають від проектувальника у багатьох випадках приймати нестандартні рішення, що вимагають проведення попередніх досліджень особливостей роботи під навантаженнями або спиратися на аналоги раніше побудованих споруд.

Як матеріал для тіла опор в сучасній практиці застосовують залізобетон і рідше сталь. Оскільки опори багаторівневих транспортних розв'язок у багатьох випадках відрізняються складними конструктивними формами, ригелі і тіла таких опор часто армують не тільки звичайною, а й попередньо напруженою арматурою. Сталеві опори найчастіше використовують для шляхопроводів і мостів рамної системи. На практиці є приклади застосування сталевих опор у вигляді стояків і рам у мостах балкової системи.

За формою тіла опор їх можна поділити на такі види: стійкові (з поперечним перерізом менше 1 м); стовпчасті (з поперечним перерізом більше 1 м); опори-стілки; масивні; рамні. Найбільш поширеними по формі є стійкові і стовпчасті опори з різною формою поперечного перерізу: круглої, прямокутної, квадратної, багатокутної, овальної. Такі опори економічні, займають мінімальний простір і прості у виготовленні. Вони широко застосовуються у світовій практиці при будівництві естакад і транспортних розв'язок, що складаються з декількох криволінійних мостових конструкцій.

Стійкові і стовпчасті опори по верху зазвичай мають розширення у вигляді залізобетонного ригеля, на який спирається прогонова будова. На розвинений ригель стовбчастої опори може спиратися дві окремих прогонових будови. В сучасних естакадах опори з одиночним стояком з невеликим розширенням поверху мають висоту до 15...20 м. Для забезпечення їх міцності і тріщиностійкості застосовують напружену арматуру, що проходить по всій висоті стовпів та закріплена у в фундаменті. Для підвищення естетичних якостей міських транспортних споруд ригелі стовпчастих опор виготовляють з бічними декоративними стінками (рис. 1, а) або їх поверхні роблять рельєфними (рис. 1, б).



а) бічними стінками



б) створенням рельєфної поверхні

Рисунок 1 – Декоративне оформлення ригелів стовпчастих опор

При двох головних балках стовпчасті опори зазвичай складаються їх окремо розташованих стояків, закладених у фундамент. Спирання прогонових будов на такі стояки здійснюються через опорні частини, розташовані по осі стовпів, що створює для них центральний стиск з вигином. Стійкові опори мають підвищену гнучкість у порівнянні з іншими типами опор естакад і тому при їх застосуванні в високих естакадах доводиться влаштовувати поперечні розпірки між окремими стійками для виключення втрати стійкості форми. На рисунку 2 а показаний приклад такої високої залізобетонної стовпчастої

опори. Поперечна балка між стояками вдвічі зменшує вільну довжину стійок. Стійкові опори виконують також зі сталі (рис. 2, б). Тонкі стійки опори спільно з прольотними будовами активно працюють на температурні впливи і вимагають проведення відповідних розрахунків.



а)



б)

Рисунок 2 – Стійкові опори високої естакади

Опори-стілки теж широко використовуються при будівництві естакад, шляхопроводів та розв'язок. Опори-стілки можуть мати одну або кілька стінок як симетричної, так і несиметричної форми в залежності від розташування прогонових будов в плані.

Масивні опори не характерні для сучасних міських естакад і транспортних розв'язок. Проте, опори, у яких співвідношення товщини до іншого розміру більш $1/8$ можуть вважатися масивними. Опори, у яких тіло являє собою раму, можна віднести до рамних. Такі опори специфічні для естакад, складних транспортних перерізів і розв'язок. Рамні опори V-подібної форми забезпечують високу жорсткість в площині рами і створюють архітектурно-виразний вид споруди (рис. 3 а, б) П-подібні опори естакад дозволяють розташувати прогонову будову у будь якому місці ригеля, що часто потрібно при проходженні естакади на деякому протязі уздовж вулиці, що розташовано нижче, або при її перетині криволінійною естакадою

(рис. 3, в). Опори транспортних розв'язок можуть мати масивну нижню частину, на яку спирається прогонова будова 2-го рівня і рамна прямокутна надбудова, ригель якої підтримує прогонову будову верхнього рівня руху. Часто застосовуються Т-образні рамні опори з однією стійкою доцільні при великій кількості головних балок прогонових будов естакад і при досить обмежених умовах для розташування тіла опори. Ригель такої опори вимагає інтенсивного армування через великі за величиною згинальні моменти, що виникають в місці його закладення в тіло опори (рис. 3, д).



а) V-подібні в поперечному



б) V-подібні поздовжньому напрямку



в) П - образна



г) масивна з рамної надбудовою

Рисунок 3 – Рамні опори



Рисунок 4 – Рамні опори Т-образні

Досить поширені стовпчасті опори з декількома стовпами, об'єднаним поверху ригелем. Такі опори являють собою одно- або багатоконтурну раму. Вони прості за конструкцією, технологічні та економічні, що робить їх поширеними для естакад балочної системи в багатьох країнах. Стовпи, як і ригель, найчастіше виконують з монолітного залізобетону. Однак є багато прикладів освіти таких опор з елементів (стовпи, ригель) заводського виготовлення.

За технологією зведення залізобетонні опори можуть виконуватися повністю монолітними або зі збірних елементів. При збірній конструкції стійок і ригеля фундамент може бути монолітним. Сталеві опори виготовляють із заводських елементів, що об'єднуються на місці будівництва на зварюванні або високоміцних болтах. Опори естакад і багаторівневих транспортних розв'язок і перетинань сприймають на себе кілька прогонових будов, які можуть розташовуватися в одному або декількох рівнях. Такі опори виявляються в складних умовах навантаження і для їх проектування необхідно проведення спеціальних досліджень, включаючи в окремих випадках експериментальні. За типом фундаментів опори естакад не відрізняються від опор інших мостових споруд. Вибір типу фундаменту для опор в міських умовах залежить багато в чому від великого обсягу різних інженерних комунікацій, розташованих під землею. Насичення підземного простору колекторами і окремо прокладеними електричними кабелями, лініями зв'язку,

трубопроводами і газопроводами вимагає застосування опор без ростверків, фундаментів на палях і стовпах. З огляду на близькість міської забудови застосування забивних паль буває обмежена і тому для фундаментів естакад частіше застосовують буро-набивні стовпи діаметром 0,6...1,5 м, зведення яких не створює значних шумових і вібраційних впливів на навколишнє середовище.

Перелік посилань

1. Проектування мостів. Залізобетонні мости: навчальний посібник / С.О. Бугаєвський, К.В. Бережна, С.М. Краснов, Ю.В. Бугаєвська. Харків: ХНАДУ, 2023. 324 с.
2. AASHTO 1996 Bridge design specifications. – American, 1996. – 545 p.
3. Barker R. M., Puckett J. A. Design of highway bridges. – American: John Wiley & Son, 1997. – 1169 p.
4. Conrad P. Heins, R. A. Lawrie. Design of modern concrete highway bridges. – England: Krieger Pub Co, 1992. – 635 p.

СТАЛЕВІ МОСТИ ЇХ ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

*Москаленко. Д.П. ДМ-36т1-20, Воровік О.А. ДМ-21-21
Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. МКБМ Синьковська О.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Сталеві мости споруджують на різних дорогах, в будь-яких кліматичних умовах. Так, вважається, що при будівництві мостів через широкі глибоководні річки сталеві конструкції економічно вигідніші при великих прольотах (більше 100м). Так як використання сталевих конструкцій, дає змогу скоротити кількість опор, що в свою чергу з урахуванням їх висоти та матеріалоємних фундаментів суттєво знижує об'єми та трудомісткість робіт, зменшує строки та вартість будівництва [1]. Сталевим мостам віддають перевагу при стислих термінах зведення і при будівництві на стратегічних дорогах, з огляду на можливість їх швидкого відновлення.

Вага сталевих прольотних будов набагато менша відповідних залізобетонних, що знижує навантаження на опори мостів та на фундамент. Таким чином можна впевнено сказати, що економічний аспект при певних геологічних умовах є перевагою сталевих мостів.

Основні переваги сталевих конструкцій в порівнянні з конструкціями з других матеріалів коротко можна представити, такими поняттями як: надійність, легкість, непроникність, індустріальність та ремонтоспроможність [1].

Так під надійністю розуміють несучу здатність металоконструкцій і їх стійкість до зовнішніх впливів, що дозволяє забезпечити високу міцність і довговічність кінцевої споруди.

Легкість – загальновідомий факт, що з усіх виготовлених нині несучих конструкцій саме металеві є найлегшими. Також при використанні металоконструкцій можна уникнути підготовки потужного фундаменту за рахунок невеликої ваги виробів.

Непроникність – метали володіють не тільки великою міцністю, що обумовлює надійність сталевих конструкцій, але і високою щільністю тобто непроникністю для газів і рідин, що важливо при експлуатації мостових споруд.

Індустріальність – виготовлення сталевих конструкцій на заводах оснащених спеціальним обладнанням та виконання монтажу з використанням високовиробничої техніки, що суттєво скорочує важку ручну працю. Також сталеві конструкції розраховуються так, що їх монтаж не вимагає наявності складних технічних засобів і великої кількості робочої сили, а з доставкою виробів може впоратися навіть звичайний вантажний транспорт.

Ремонтоспроможність, тобто терміни проведення ремонтних робіт мінімальні, а для них потрібні тільки досвідчений зварник і професійне обладнання. Для посилення, заміни пошкоджених ділянок не потрібно багато часу.

Але зазначимо, що на ряду з перерахованими перевагами, як і будь-який будівельний матеріал сталь має і недоліки, а саме схильність сталевих конструкцій до корозії і порівняно мала вогнестійкість.

Однак при грамотному проектуванні (рис.1) та відповідній експлуатації недоліки не становлять небезпеки для роботи сталевої конструкції, але призводять до підвищення початкових та експлуатаційних витрат.

Так з рисунку 1. [2] відповідність заданим при проектуванні умовам експлуатації є основною вимогою для проектування, саме вона в більшості визначає систему, конструктивну форму споруди та саме вибір матеріалу.

Вимоги з економії металу визначаються значною потребою у всіх напрямках промисловості та відносно високою вартістю. Саме тому в мостових спорудах метал тривалий час застосовували тільки у випадках, коли його неможливо було замінити на інший наприклад, залізобетон.

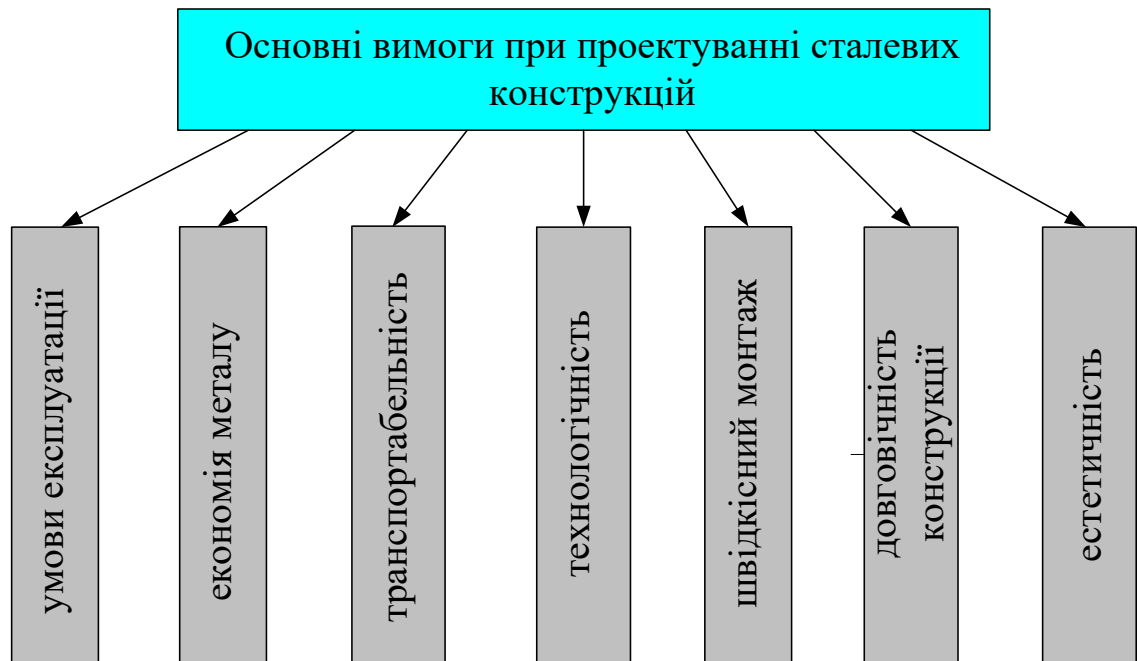


Рисунок 1 – Основні вимоги при проектуванні сталевих конструкцій [2]

У зв'язку з виготовленням металевих конструкцій, як правило, на заводах з наступною доставкою на місце будівництва при виконанні проекту повинні бути передбачені можливості перевезення їх цілими або частинами з застосуванням відповідних транспортних засобів.

Конструкція повинна відповідати можливостям зборки її в найкоротші строки з урахуванням монтажного обладнання, що є в наявності. Основним принципом швидкісного монтажу є зборка металоконструкції в крупні блоки на будівельному майданчику з наступним встановленням в проектне положення з мінімальною кількістю монтажних робіт нагорі.

Довговічність конструкції визначається строками її фізичного та морального зносу. Відмітимо, що фізичний знос пов'язаний головним чином з процесами корозії, а моральний – зі змінами умов експлуатації.

Естетичність полягає у тому, що металеві конструкції повинні мати гармонійні форми та бути при цьому надійними та легкими.

Таким чином сталь є надійним та перспективним будівельним матеріалом, що підтверджується фактами застосування його при будівництві мостових споруд.

Застосування сталі в мостах налічує більше 100 років. Яскравим прикладом є імпозантний міст Форт -Рейл у Шотландії , який був завершений у 1890 році. Масштаби та розміри цієї знакової пам'ятки були великим досягненням у будівельній інженерії, і споруда витримала випробування часом.

Неможливо не згадати Сіднейський міст Харбор-Брідж – найбільший сталевий арковий міст у світі, який містить майже 53 000 тонн сталі, більшість з яких розташована в дузі, і, незважаючи на свій вік, все ще відомий своєю міцною, непохитною природою. Цікавий факт: у спекотні дні розширення сталі може підняти арку до 18 см.

Металеві мости є і в Україні. По перше це Подільський залізничний міст (Петровський міст) (рис.2) – одноколійний залізничний міст через Дніпро, споруджений ще у 1916-1917 роках. Мостовий перехід загальною довжиною 1,5 км складається з руслової (правобережної) та заплавної (лівобережної) частин. Прогони руслової частини загальною довжиною — 330 м перекриті трапецієподібними за абрисом ґратчастими металевими фермами з паралельними поясами, розрахованими на проїзд нижньою частиною. Прогони естакади — подібними прямокутними фермами з проїздом у верхній частині. Масивні бетонні опори встановлені на фундаментах з кесонів [3].



Рисунок 2 – Подільський залізничний міст (Петровський міст)

Парковий міст (рис.3) – пішохідний міст через Дніпро. Споруджений у 1956-1957 роках за проектом інституту «Укрпроектстальконструкція» за участю Інституту електрозварювання ім. О.О. Патона. За конструкцією – суцільнозварний міст, споруджений з використанням автоматичного зварювання [4].

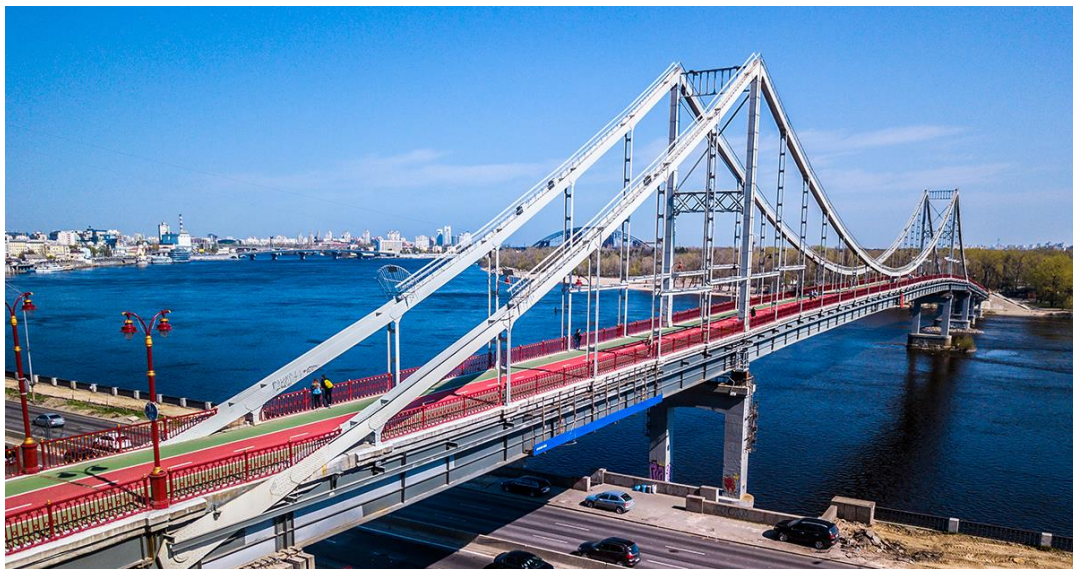


Рисунок 3 – Пішохідний (Парковий) міст

Дарницький залізнично-автомобільний міст (рис. 4) – залізнично-автомобільний мостовий перехід через Дніпро, який включає дві залізничні колії та автодорогу з шести смуг (по три в кожному напрямку) [1].



Рисунок 4 – Дарницький залізнично-автомобільний міст

Таким чином згадавши тільки декілька сталевих мостових споруд, бачимо, що всі вони є неповторні, надійні та легкі, про що вказує довжина прольотних будов.

Існує широко поширена думка, що більшість сталевих мостів потребують частій уваги для підтримки оригінальної системи захисного покриття. Насправді термін служби покриття до першого капітального обслуговування поступово збільшується з 12 і 15 років до 20 і 25 років.

Сучасні мости мають проектний термін служби 120 років, при цьому зрозуміло, що продуктивність захисної системи є критичним фактором. Крім того, скорочення кількості циклів перефарбовування стало головним фактором при оцінці загальних витрат на життя споруди.

Перелік посилань

1. <https://uscc.ua/osnovni-typy-stalevykh-konstruktsiy>
2. Надточій, Г. А. Аналіз методів захисту мостових елементів від корозії : кваліфікаційна робота ... магістра : 192 Будівництво та цивільна інженерія. Харків : ХНАДУ, 2021. 89 с.
3. uk.wikipedia.org/wiki/Петрівський_міст
4. [uk.wikipedia.org/wiki/Парковий_міст_через_Дніпро_\(Київ\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Парковий_міст_через_Дніпро_(Київ))

МЕТАЛЕВІ МОСТИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОРТЕНОВОЇ СТАЛІ

Кібукевіч М.Г. ДМ-51-22

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

Представлено використання кортенової сталі при будівництві мостових споруд на прикладі збудованих споруд у Чеській Республіці [1], що широко описане в [2]. Так під час будівництва мережі автомобільних доріг Чеської Республіки між 2000 та 2010 роками було побудовано ряд мостів із сталевою несучою конструкцією, що вивітрюється (кортенової сталі). Більшість цих мостів розташовано на трасі D1 в Оставі та її околицях. Вибір марки сталі, що вивітрюється, тобто кортенової сталі, тобто групою сплавів сталі які були розроблені з винятковою механічною стійкістю для усунення потреби у фарбуванні, в наслідок найдовшої контрольованої корозії, для прогонів мостів був зумовлений проектантами особливо низькою вартістю довготривалого обслуговування мостів у порівнянні з традиційними стратегіями захисту, що базуються на використанні звичайної конструкційної сталі, захищеної лакофарбовими системами або іншими захисними покриттями.

Під час ретельного обстеження мостів після 10–15 років експлуатації було встановлено, що на більшості поверхонь мостів було створено достатній захисний шар продуктів корозії [3]. При дослідженні споруд дослідниками [1] звертається увага в першу чергу на розвиток продуктів корозії на сталевій конструкції моста, захищеної зверху бетонним настилом, на які впливає підвищене осадження хлоридів. Значна увага дослідників приділяється вивченню мікрокліматичного середовища навколо мосту та впливу дизайну а також планування мосту на розвиток продуктів корозії.

Для експериментального вимірювання осадження хлоридів та їх впливу на розвиток продуктів корозії було обрано дві конструкції мостів (рис. 1.). Обидва мости розташовані в Оставі (Чехія), а саме:

- Міст B1 – сталевий міст з кортенової сталі на дорозі № 479 через автомагістраль, побудований у 2001 році;
- Міст B2: сталевий міст з кортенової сталі на дорозі № 479 через залізничну лінію, побудований це у 1983 році.

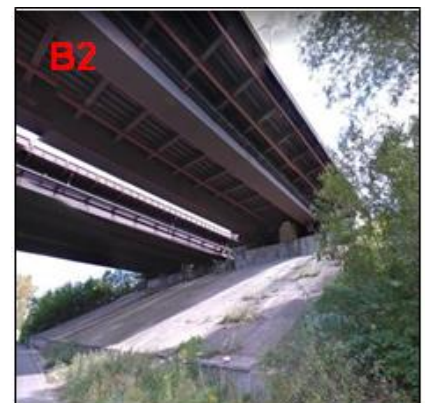


Рисунок 1 – Розташування мостових конструкцій з кортенової сталі
в Чеській Республіці

Розташування мостів можна охарактеризувати відповідно до EN ISO 9223 [4] як міське середовище з категорією корозії для вуглецевих сталей C2 -C3. Вплив морського середовища є незначним, оскільки відстань до найближчого узбережжя становить приблизно 500 км.

Конструкції мостів, що розглянуто в дослідженні, розташовані на одній дорозі. Опорні конструкції обох мостів виготовлені зі сталі вивітрювання S355J2W. Відстань між центрами мостів становить приблизно 200 м (рис.1). Авторами досліджень відмічається, що конструкції мостів схожі між собою. Отже, відмічається дуже схожа ситуація щодо осідання хлоридних та пилових частинок, що активні через рух транспорту, що веде через міст.

З точки зору розвитку продуктів корозії, два порівняні мости відрізняються лише характером перекритої перешкоди. Міст B1 розташований над шосе і під мостом піддається інтенсивному дорожньому руху. Транспортні засоби, що швидко рухаються по трасі D1 є значним джерелом поширення хлоридів у навколишнє середовище та на несучу конструкцію балки моста B1. Взимку хлориди розсіюються по поверхнях конструкції переважно у вигляді аерозолі, тоді як решту року вони розповсюджуються у вигляді пилових відкладень.

На навколишнє середовище під мостом також впливає геометричний план землі, міст має велике співвідношення ширини (41,0 м) до довжини (51,4 м). Окрім 4 смуг для автомобільного транспорту, міст включає дві трамвайні колії. Аерозольні та пилові відкладення, активовані автомобілями, не можуть поширюватися в поперечному напрямку до осі автомагістралі. Це означає, що частинки не потрапляють у навколишнє середовище, а поверхні конструкції мосту піддаються підвищеному осіданню домішок, що містяться в повітрі, включаючи хлориди.

Міст B2 розташований над залізничною лінією та місцевою дорогою з мінімальним рухом транспорту. Тому міст B2 не має значного джерела поширення хлоридів під собою. Дорожній рух на обох мостах ідентичний, тому результати вимірювань можна використати для оцінки впливу руху транспорту під конструкцією мосту на розвиток продуктів корозії.

Аналіз продуктів корозії був проведений після одного року впливу корозійного середовища.

В результаті обстеження відзначено, що на мосту B1 утворився

достатній захисний шар продуктів корозії, характерний для захищених елементів. Виняток становить верхня поверхня нижніх фланців внутрішніх балок, де утворилися не прилипаючі шари продуктів корозії з великою часткою осаджених домішок на поверхні.

Результати вимірювань отриманих науковцями [1], проведених на двох представлених вище конструкціях мосту. За експериментально отриманими даними можливо оцінити вплив мікрокліматичних умов під мостовою конструкцією на розвиток продуктів корозії на типових поверхнях балочних мостів. Міст В1 забезпечує рух транспорту через завантажену трасу D1, на якій у зимовий сезон наносять хімічні засоби від обледеніння. Міст В2 здійснює рух через залізничну лінію і не зазнає негативного впливу інтенсивного дорожнього руху під мостом. Тому порівняння результатів обох мостів може бути використано для оцінки специфічних мікрокліматичних впливів конструкцій мостів, що охоплюють дороги з великим об'ємом руху.

Верхня плита мосту з достатнім бічним звисом захищає основні балки мостів В1 і В2 від посиленого відкладення частинок, що активуються під час руху через міст. Однак міст В1 розташований над завантаженою автомагістраллю, а основним джерелом підвищеного відкладення хлоридів є автомобільний транспорт під конструкцією мосту.

Вплив навколишнього середовища під структурою моста також очевидний з результатів елементарного аналізу досліджуваних зразків. На горизонтальній поверхні мосту В1, що охоплює автомагістраль, після року спостережень було виявлено більш ніж у шість разів більшу різницю у присутності хлоридів у продуктах корозії, ніж на порівнянній поверхні мосту В2 над залізничною лінією. Великі відмінності також проявляються у представленні алюмінію та кремнію, тобто елементів, що вказують на посилення осадження частинок пилу та інших домішок.

Досліджувані мостові конструкції виготовлені з конструкційної сталі S355J2W (кортенової). Основним ризиком корозії, пов'язаним із

застосуванням цієї марки сталі, є ослаблення корозії конструкції або її частин. Розтріскування від корозії під напруженням малоімовірно. Під час огляду мосту через трасу D1 перевіряли реальну товщину нижніх фланців основних прогонів. Вимірювання проводили за допомогою ультразвукового вимірювача товщини. На жаль, початкова товщина елементів конструкції з моменту спорудження мосту невідома. Тому реальні втрати від корозії після 17 років експлуатації мосту невідомі. Однак фактична товщина все ще знаходиться в межах допустимих допусків використовуваних листів. Тому не потрібно проводити армування елементів конструкції з корозійно-негативним розвитком.

Зазначимо, що хід корозійних процесів на мостах, виготовлених із сталі, що вивітрює, значний вплив мають обране конструктивне рішення мосту та особливості місцевих мікрокліматичних умов. Результати проведених вимірювань показують, що загальна класифікація місцевості за категорією корозійної агресивності не є достатньо показовою для прогнозування процесів корозії, якщо не враховувати геометричні параметри конструкції та можливі мікрокліматичні впливи.

Перебіг корозійних процесів може бути дуже різним для різних поверхонь конструкції мосту, що розглядаються. Цей факт повинен бути відображений у проектуванні конструкцій, а також у регулярному обслуговуванні. Вертикально орієнтовані поверхні (зазвичай ребра основних балок) зазвичай утворюють рівномірний тонкий шар корозії, характерний для захищених конструкцій. Найскладнішим питанням є передбачення розвитку продуктів корозії на горизонтальних поверхнях, на які може вплинути посилення осідання частинок повітря. При дотриманні принципів відповідної конструкції та розміщення мосту у відповідних мікрокліматичних умовах на горизонтальних поверхнях розвивається достатньо захисна патила. Навпаки, існує ризик створення незахисних продуктів корозії, пов'язаних з технічно неприйнятним корозійним ослабленням конструкції.

Одним з вирішальних чинників, що впливають на місцевий мікроклімат поблизу моста, є вплив хлоридів, які осідають на елементах конструкції мосту в основному через рух на прилеглих дорогах. Джерелом хлоридів є солі, що використовуються для зимового утримання доріг. За результатами вимірювання осадження хлориду були визначені деякі значні результати. Вимірювання показують, що у випадку з мостами з відповідним конструктивним розташуванням можна значно усунути кількість осаджених хлоридів, джерелом яких є рух по конструкції мосту. Однак посилення осадження хлоридів може статися через інтенсивний рух транспорту під конструкцією мосту.

Перелік посилань

1. Krivy V., Kubzova M., Konevcny P., Kreislova K. Corrosion Processes on Weathering Steel Bridges Influenced by Deposition of De-Icing Salts. *Materials* 2019, 12, 1089.
2. Надточій, Г. А. Аналіз методів захисту мостових елементів від корозії : кваліфікаційна робота ... магістра: 192 Будівництво та цивільна інженерія. Харків : ХНАДУ, 2021. 89 с.
3. Krivy V.; Urban V.; Kreislova K. Development and failures of corrosion layers on typical surfaces of weathering steel bridges. *Eng. Fail. Anal.* **2016**, 69, 147–160.
4. *ISO 9223 Corrosion of Metals and Alloys—Corrosivity of Atmospheres—Classification, Determination and Estimation*; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2012.

ОБСТЕЖЕННЯ МОСТОВИХ СПОРУД ЗГІДНО ДІЮЧИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ

Гайдар К.Р. ДМ-51-22

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

Сьогодні, враховуючи кількість пошкоджених мостових споруд України, важливим напрямком є обстеження існуючих споруд. Детальне та вірне обстеження дасть змогу присвідчити ремонтні роботи чи реконструкцію споруди за необхідності або ж дозволить експлуатувати споруду в повному чи обмеженому об'ємі.

Відзначимо, що обстеження мостових споруд в Україні відбувається згідно діючих нормативних документів. Далі дослідження присвячене саме аналізу існуючої нормативної документації.

Першим представимо ДБН В.2.3-6:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування» [1].

Дані норми встановлюють загальні правила обстеження і випробування побудованих мостів і труб та тих, що знаходяться в експлуатації, на наступних об'єктах транспортної інфраструктури:

- залізницях;
- автомобільних дорогах загального користування;
- вулицях і дорогах міст і населених пунктів;
- лініях метрополітену та трамвая;
- на внутрішньогосподарських дорогах та проїздах;
- на дорогах, суміщених для руху автомобільного транспорту із залізницею метрополітеном, трамваєм.

Відмітимо, що представлені норми [1] також поширюються на:

- пішохідні мости;
- пішохідні тунелі під залізницями, вулицями і дорогами міст та інших населених пунктів;

- прогонові будови та опори розвідних мостів.

Ці норми призначені для виконання процедур обстеження або випробування мостів та труб тільки організаціями, які мають ліцензії на цей вид робіт і служать:

- інструментом нормативного регулювання, типізації та стандартизації процедур способів обстежень і/або випробувань мостів та труб;

- обов'язковим, узгодженим з документами нормативного регулювання в системі експлуатації, зразком представлення даних обстежень і/або випробувань;

- базою для укладання угоди (контракту) на виконання робіт із обстежень і/або випробувань.

Наступний нормативний документ, який розглянемо є ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів» [2].

Ця Настанова, вже встановлює правила оцінки технічного стану мостів та прогнозування залишкового ресурсу мостових елементів.

Зазначимо, що норматив [2] поширюється на мости всіх систем, що експлуатуються на автомобільних дорогах загального користування.

Сферою застосування нормативу є система експлуатації автодорожніх мостів. Оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів, контроль надійності і прогнозування залишкового ресурсу з використанням даного нормативу є обов'язковою регламентною процедурою в системі експлуатації мостів.

Далі представимо нормативний документ, який з першого погляду не стосується обстеження. Але неможливо виконати повноцінне обстеження мостової споруди не враховуючи навантаження на які було спроектовано споруду, та не визначивши навантаження які фактично витримує споруда, що обстежується. Тому наступним згадаємо ДБН В.1.2-15:2009. «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» [3].

Саме ці норми охоплюють правила визначення навантажень і впливів, що слід врахувати при проектуванні та реконструкції мостів і труб. Навантаження і впливи, передбачені цим документом, мають за мету забезпечити проектування споруди такою, щоб її складові елементи мали надійність не нижче нормованої і, тим самим гарантувати безпечну експлуатацію протягом проектного строку служби.

Слід зазначити, що питання обстеження мостових споруд є дуже об'ємним, що пов'язано з великою кількістю особливостей конструкцій та нюансів, що виникають при її експлуатації. Тому спробуємо представити загальний порядок виконання обстеження згідно представлених вище діючих нормативних документів.

Тут важливо зазначити, що обстеження мостів є однією із складових технічної експлуатації, чим забезпечується належний рівень надійності і довговічності мостових споруд, що є в експлуатації.

Відповідно до норм, обстеження моста проводиться згідно з програмою, розробленою виконавцем робіт і узгодженою з власником споруди. Але, зазначимо, що програма робіт може коригуватися в процесі виконання обстеження, якщо цього вимагають отримані при обстеженні дані.

Результати, отримані в процесі обстеження, обов'язково повинні відображати рівень деградації тенденцію розвитку дефектів. Результати обстеження мають бути достатньо повні, щоб мати змогу виконати класифікацію технічного стану споруди та оцінити вартість усунення дефектів.

Залежно від кінцевої мети обстеження, що ставиться замовником виділяються наступні види обстежень мостів:

- обстеження, що передують передачі в експлуатацію після закінчення будівництва нової споруди або після реконструкції існуючої – метою такого обстеження є встановлення відповідності споруди проекту і вимогам чинних норм проектування і будівництва;

- планові обстеження мостів, що знаходяться в експлуатації – періодичність яких також чітко регламентується нормами;

- спеціальні обстеження (нажаль, сьогодні актуальний вид обстеження), які призначаються у наступних випадках:

1. після дорожньо-транспортної пригоди чи іншої техногенної аварії, що завдала шкоди елементам моста з ознаками загрозливого руйнування визначального елемента споруди;

2. з ознаками загрозливого руйнування елемента чи елементів внаслідок стихійного лиха або інших непередбачених подій, що суттєво погіршують технічний стан споруди;

3. в усіх інших випадках, коли попередніх обстежень недостатньо для прийняття рішення про технічний стан моста.

Зазначимо, що спеціальне обстеження призначається також для отримання даних, необхідних для складання технічного завдання на проект капітального ремонту або реконструкції;

- маршрутні обстеження, які виконуються з метою уточнення даних, що містять паспорти мостів (або складання паспортів у разі їх відсутності), чи для визначення можливості пропуску понаднормативних рухомих навантажень.

Кожне з представлених обстежень має свої особливості. Так обстеження, що проводиться по завершенню будівництва, є основою для складання акта прийому моста в експлуатацію, тому програмою обстежень цього типу обов'язково передбачено:

- ознайомлення з проектною, виконавчою та експлуатаційною технічною документацією;

- встановлення відповідності побудованої споруди вимогам проекту;

- виявлення можливих пошкоджень елементів, що виникли в процесі будівництва.

Планові обстеження мостів, що знаходяться в експлуатації, складаються з двох етапів, тобто з попередніх і детальних обстежень.

Так програмою попередніх обстежень передбачається:

- ознайомлення з технічною документацією (проектною, виконавчою, експлуатаційною) – якщо вона існує;
- загальний огляд елементів моста, виявлення елементів із серйозними пошкодженнями;
- складання виконавцем обстеження технічної програми на виконання фактичних - детальних робіт з обстеження.

До складу детальних обстежень входить:

- обмірювання загальних розмірів конструкцій та їх перерізів, інструментальні вимірювання для визначення фізико-механічних характеристик матеріалів;
- геодезичні роботи;
- огляд конструкцій із виявленням всіх дефектів та пошкоджень (зміщення в плані, осідання, крени, прогини тощо) з їх ескізуванням, фото та/або відеозйомкою;
- визначення розмірів деформацій, ширини розкриття та глибини тріщин, перерізів арматури, товщини захисного шару бетону, відколів бетону, фактичного армування залізобетонних конструкцій:
 - визначення ступеня пошкодження арматури корозією, глибини та ступеня карбонізації бетону, концентрації хлоридів, електричного потенціалу;
 - виявлення розшарування металу поясних листів металевих балок;
 - виявлення розладу об'єднання залізобетонної плити зі сталевими балками в сталезалізобетонних мостах;
 - виявлення перекосу опорних частин;
 - оцінка провисання вузлів, розладу вузлів з'єднань, морозних руйнувань бетону пошкодження водовідводу;
 - оцінка стану гідроізоляції, деформаційних швів, зрівняльних пристроїв, елементів мостового полотна, верхньої будови колії;
 - визначення ступеня розмиву русла та стану заплав;
 - оцінка стану дамб, укосів, траверс та конусів;
 - визначення місць накопичення бруду, води, снігу;

- визначення умов та швидкості руху транспортних засобів на мосту та підходах тощо;

- аналіз результатів у порівнянні з матеріалами попередніх обстежень та тривалих спостережень.

За результатами обстеження складається звіт з обстеження та паспорт на споруду (за його відсутності).

Таким чином, обстеження мостових споруд це є дуже відповідальна робота, бо відповідає за надійність використання споруди та відповідно і за безпеку суспільства. Тому необхідно ретельно відноситись до підбору організації, що виконує обстеження, вивчати їх технічні можливості та досвіт і цій області.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, Київ, 2009. – 43 с.
2. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, Київ, 2012. – 38 с.
3. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, Київ, 2009. – 71 с.

ІНСТРУМЕНТАЛЬНА ЗЙОМКА ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОЛИВАНЬ ОПОРНИХ ЧАСТИН БАЛАШОВСЬКОГО ШЛЯХОПРОВОДУ

Губарєв М.А. ДМ-51-22

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

Балашовський шляхопровід виконано через залізничні колії в горловині станції Харків-Балашовський на міській дорозі вул. Плеханівська в напрямку захід-схід. Довжина споруди безпосередньо шляхопроводу по проїзній частині - 47,6 м. Підмостовий габарит по висоті становить 6,20 м.

Шляхопровід складається з прольотної будови та 2-х берегових стоянів, підходів до мосту (західного і східного). Довжина споруди 325 м, в т.ч. прольотна будова - 41 м, західний підхід зі стояном – 170,9м; східний підхід із стояном – 113,1 м [1]. Орієнтовний рік зведення об'єкта - 1916 р. В роки війни споруда була частково зруйнована. Роботи з реконструкції шляхопроводу виконані в 1945-1946 рр.

Нещодавно, у 2020 році, для виявлення фактичної геометрії прольотної будови, спеціалістами було виконано її лазерне сканування [1]. Сканування виконувалось приладом Leics RTC360 – портативний наземний лазерний 3D сканер з вбудованою інерційною системою і функцією автоматичної зшивання хмари точок, призначений для внутрішнього і зовнішнього сканування (рис. 1).



Рисунок 1 – 3D сканер Leics RTC360

Сканування виконувалось з 14 характерних точок поблизу об'єкта, в результаті чого отримано хмару точок поверхні споруди, на базі якої побудовано її 3D модель. Обробку результатів сканування дослідниками виконано в середовищі Revit 2018.

В результаті обробки результатів сканування отримано фактичну геометрію конструкції, яка співпадає з наявними фрагментами проектної документації (рис. 2, рис. 3). Отримана в результаті сканування інформація також представляє собою точні вихідні дані для подальшого аналізу напружено-деформованого стану конструктиву.

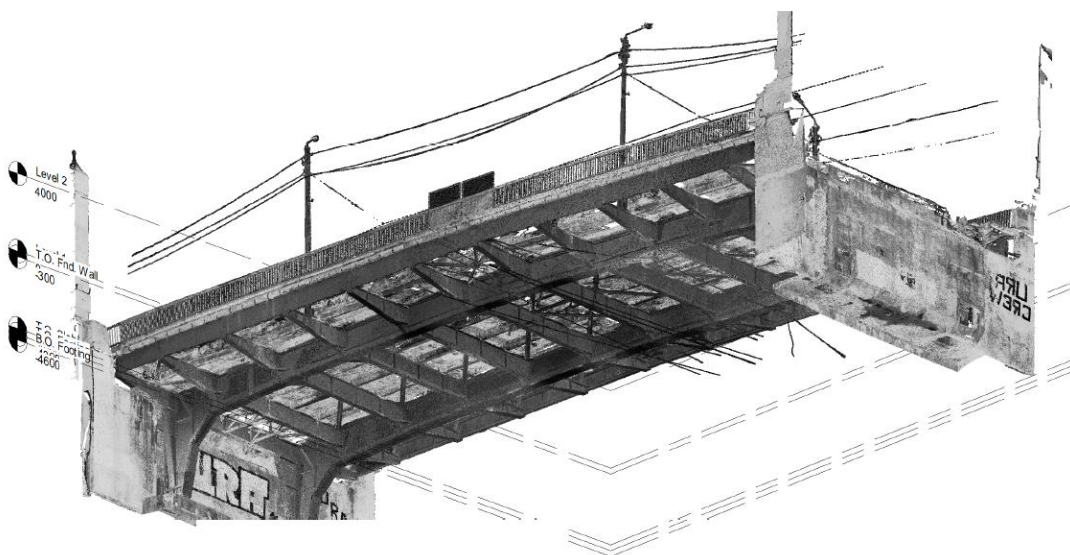


Рисунок 2 – Загальний вигляд хмари точок за результатами сканування

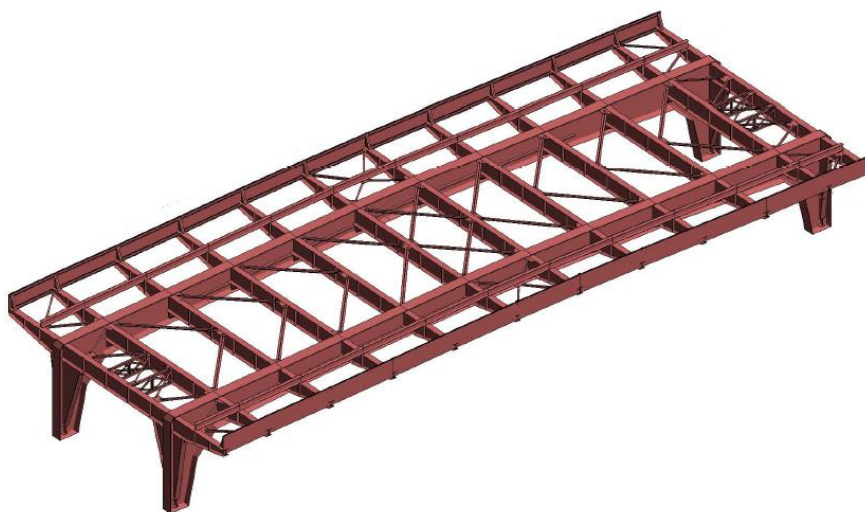


Рисунок 3 – Оброблені результати сканування

Також фахівцями ТОВ «ДІАМЕХ-Україна» було виконано вимірювання коливань. Основною метою таких робіт було визначення амплітудного і частотного складу коливань опорних конструкцій при порушенні вимушених коливань. Вимірювання параметрів вібрації здійснювалися віброаналізатором «АГАТ-М». Аналіз даних вимірювань і складання звіту здійснювалися з використанням програмного забезпечення «Діамант-2». Вимірювання виконувалися в 2-х точках, замер проводився в момент проїзду трамвая по мосту. Додатково виконаний замір «Фонові вібрації», без навантаження трамваєм. Для домінуючих частот виконаний перерахунок пікових ПК значень віброшвидкості в [мм / с]. Результати вимірювань наведено на рис.4 та рис.5 та у таблиці 1 [1].

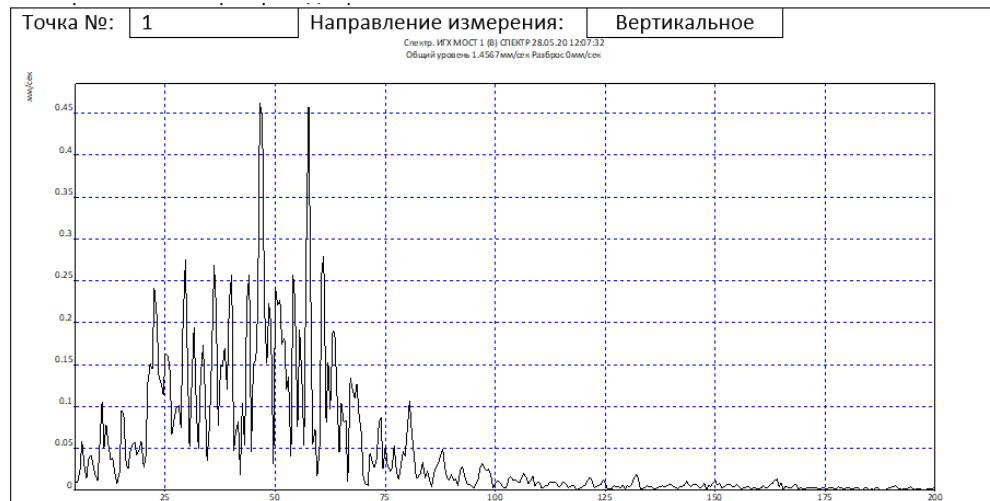


Рисунок 4 – Замір в точці №1 при проїзді трамвая.

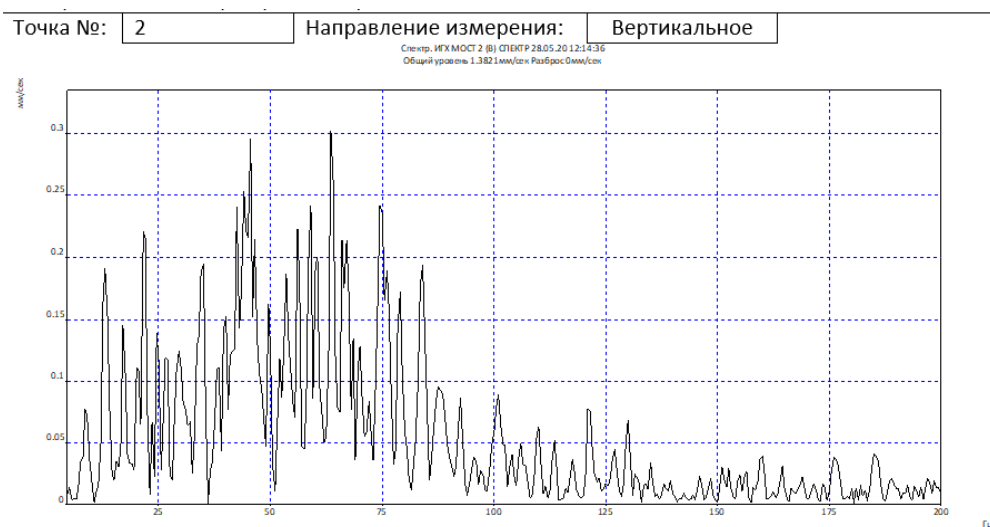


Рисунок 3.7 – Замір в точці №2 при проїзді трамвая.

За результатами вимірювань мінімальна частота коливань конструкції при проїзді трамваю склала 21,7 Гц.

За допомогою в тому числі й інструментальної зйомки та визначення коливань опорних частин дослідники прийшли до висновку, що для подальшої безпечної експлуатації прогонової будови Балашовського шляхопроводу слід провести капітальний ремонт мостової споруди в центрі Харкова, обов'язково врахувавши особливості історичної споруди та руху трамваїв по ній.

Слід зазначити, що при проектуванні і виконанні робіт необхідно дотримуватися діючих нормативних вимог, зокрема ДБН В.2.3-26:2010 [2], ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 [3], ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 [4]. Після виконання робіт по капітальному ремонту обов'язково провести випробування споруди відповідно до ДБН В.2.3-6:2009 [5] та проводити огляд стану основних конструктивних елементів шляхопроводу не менш ніж раз на рік.

Перелік посилань

1. Тінін, В. А. Капітальний ремонт Балашовського шляхопроводу в м. Харків : кваліфікаційна робота ... магістра : 192 Будівництво та цивільна інженерія. Харків:ХНАДУ,2021. 82 с.
2. ДБН В.2.3-26.2010. Споруди транспорту. Мости та труби. Сталеві конструкції. Правила проектування (Частина 1). К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 108 с.
3. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. К.: Мінрегіон України,2013. 45 с.
4. ДБН В.2.3-22: 2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 54 с.
5. ДБН В.2.3-6-2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. К.: Держбуд України, 2009. 43 с.

МОСТИ КИЇВЩИНИ, ЩО ЗРУЙНОВАНІ І ВІДНОВЛЕНІ ПІД ЧАС ВІЙНИ З РОСІЄЮ

Волков І.М. 41ДМ

*Науковий керівник: викл. вищ. кат, викл-мет. Митрохіна М.О.
Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж*

«Мости є частиною логістики і вони можуть чи заважати наступу, чи заважати відступу ворога, тому, дійсно, знищення мостів в рамках загальної тактики, в рамках проведення та планування операції займає значне місце. Це логістика: підвіз боєприпасів, пального. Якщо ми перебиваємо логістичні канали, тоді війська просто не можуть рухатися і не можуть воювати».

Військовий експерт Михайло Самусь

Більше 12 тисяч мостів і шляхопроводів по всій Україні з початку повномасштабного вторгнення росіян, разом із українськими військовими, захищали нашу Україну і стримували натиск ворога. Саме мости ледь не першими застрягли в горлі російського бліц-кригу. Підкорення Києва не відбулося. Після підриву ЗСУ основних переправ на шляху окупаційного конвою. Внаслідок злочинних дій росії зруйновані мости Київщини:

- міст на автомобільній дорозі М-06 Київ-Чоп, Стоянка;
- міст між с. Буча та м. Ірпінь;
- міст через р. Буча, на дорозі Т-10–01;
- міст на дорозі Р-30 Під'їзд до м. Ірпеня км 6+000;
- міст на а/д М-07 Київ – Ковель –Ягодин км 23+000 через р. Ірпінь в Гостомелі.

Під час війни, мости відновлюють військовослужбовці Державної спеціальної служби транспорту Міністерства оборони України. Завдяки їхнім зусиллям сьогодні лише в Київській області вже відновлено 7 мостів, а ще 3 незабаром будуть наведені. Про деякі з них ми сьогодні розповімо.

Глібівна. Цей міст через затоку Київського водосховища було зруйновано під час бойових дій. Наразі місцеві кинули кілька аеродромних плит і користуються ним, як-то кажуть, на свій страх і ризик. Сьогодні тут вже

розпочато роботи з відновлення мосту. На місці працює тактична група держспецтрансівців із Західної України. Перед військовими стоїть непросте завдання – у короткий термін повністю відновити міст завдовжки 15 метрів і майже 7 метрів завширшки. Зараз ремонт ще триває.

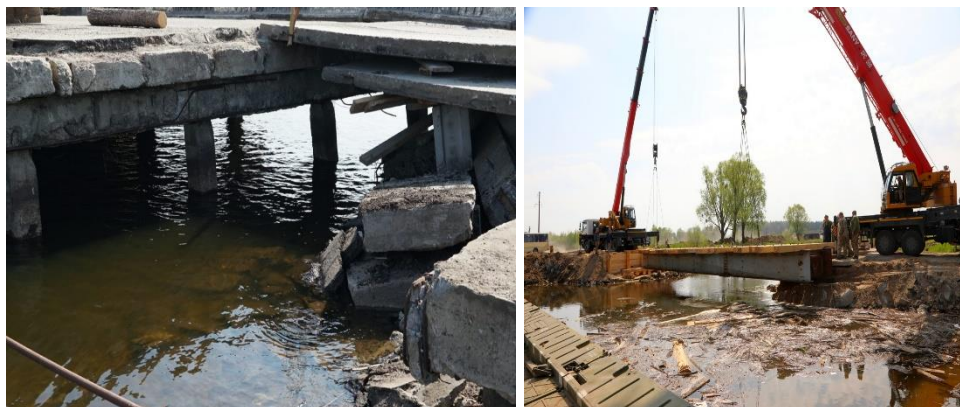


Рисунок 1 – Міст через Київську затоку

Феневичі. Міст через річку Здвиж між селами Феневичі та Катюжанка орки зруйнували вщент. Наразі поруч зі зруйнованим військові ДССТ із Сумщини вже збудували тимчасовий міст. Цей тимчасовий міст ми збудували за 7 днів. Встановили прольотну споруду довжиною 18,5 метра, зробили дощаний настил, провели випробування і наразі він вже готовий для експлуатації. Тепер справа за фахівцями з Автодору, які зараз роблять під'їзні шляхи, і наступного тижня можна «перерізати стрічку». Міст витримає вантажні автомобілі до 30 тонн, – розповів командир взводу лейтенант Кириченко.



Рисунок 2 – Міст через річку Здвиж

Іванків. ЗСУ підірвали міст через Тетерів, щоб затримати техніку окупантів біля Києва. Зараз роботи по відновленню мосту тривають.



Рисунок 3 – Міст через річку Тетерів

Жеревпілля. Орки, з виключною тупістю та жорстокістю, тікаючи «за поребрік» загнали на міст Урал, завантажений боєприпасами, і підірвали його.



Рисунок 4 - Міст через Жереву із Закарпаття

Лубське. Село Лубське Фастівського району після руйнування мосту через річку Лупа залишилося поділеним навпіл. Відновити міст – таке завдання було поставлено нашим військовим із Сумщини. З цим завданням впоралися на «відмінно». Лише сім днів їм знадобилося на демонтаж уламків та побудову нового мосту.



Рисунок 5 – Міст через річку Лупа

Дідівщина. В селі Дідівщина Фастівського району міст через річку Ірпінь було частково зруйновано під час бойових дій.



Рисунок 6 - Міст через річку Ірпінь



Рисунок 7 - Міст на дорозі М-06 Київ–Чоп у Стоянці

Міст на дорозі М-06 Київ–Чоп у Стоянці. Цей міст по Житомирській трасі став перешкодою для окупантів під час наступу на Київ у лютому. 3 листопада відкрили проїзд в обидві сторони на мосту.

Міст на дорозі М-07 Київ–Ковель–Ягодин у Гостомелі. Селище Гостомель, що у Бучанському районі Київської області, тривалий час обстрілювали російські окупаційні війська. Як наслідок, населений пункт майже зруйнований і тому числі міст.



Рисунок 8 - Міст на дорозі М-07 Київ–Ковель–Ягодин у Гостомелі

Замість моста відкрили тимчасову переправу в районі Гостомеля на трасі М-07 Київ–Ковель–Ягодин, що забезпечить транспортне сполучення між Києвом та Бучею через річку Ірпінь. По ній зможуть пересуватись як легкові автівки, такі і вантажівки та автобуси. Це дозволить оживити економічне життя регіону. Обмеження проїзду – для автомобілів масою понад 10 тонн.

Міст на дорозі М-03 Київ – Харків – Довжанський через річку Трубіж. Міст через Трубіж було підірвано на початку повномасштабного вторгнення. У грудні 2022 року він був відновлений.

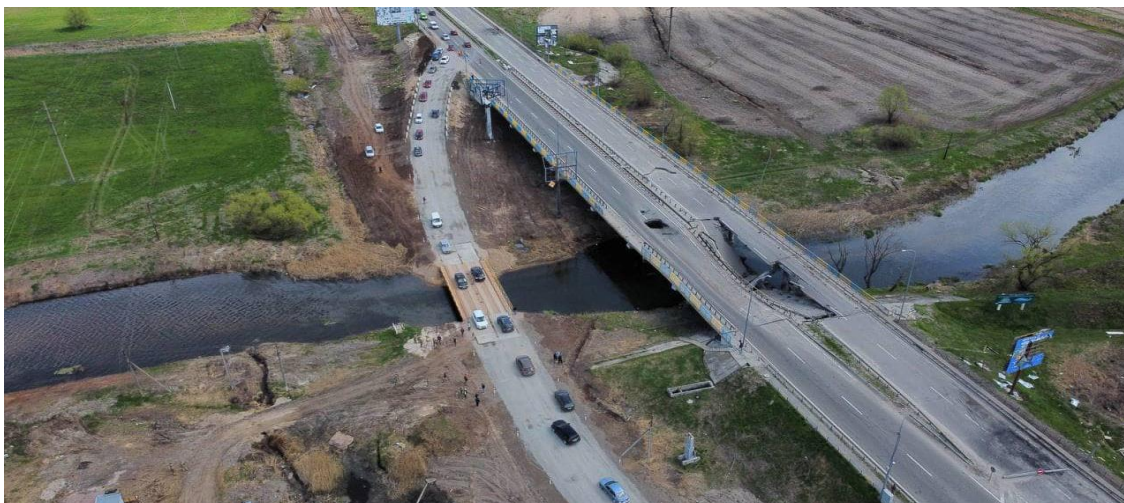


Рисунок 9 – Тимчасова переправа в районі Гостомеля на трасі М-07 Київ–
Ковель–Ягодин



Рисунок 10 – Міст на дорозі М-03 Київ – Харків – Довжанський через річку
Трубіж

Перелік посилань

1. Проектування мостів. Залізобетонні мости: навчальний посібник / С.О. Бугаєвський, К.В. Бережна, С.М. Краснов, Ю.В. Бугаєвська. Харків: ХНАДУ, 2023. 324 с.
2. Сайт Mind.ua. (дата звернення до <https://mind.ua/openmind> 12.04.2023).
3. Сайт Слово і діло (дата звернення до <https://www.slovoidilo.ua> 12.04.2023).
4. Сайт Дорослий погляд на світ (дата звернення до https://lb.ua/tag/3930_mosty 12.04.2023).

ЯКІСНИЙ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ПРОГІННИХ БУДОВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ І МЕТАЛЕВИХ МОСТІВ - ЗАПОРУКА ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ. СУЧАСНІ ВИДИ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ УКЛАДЕННЯ

Дубровін Г.І. 41ДМ

Науковий керівник: викл. вищ. кат, викл-мет. Митрохіна М.О.

Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж

Міцність і довговічність споруд, а транспортних особливо, залежить від якості гідроізоляції не менше, ніж від якості несучих конструкцій.

Більш небезпечного ворога, ніж волога у транспортних споруд просто немає. Дощова вода, просочуючись крізь бетонну (з/б) конструкцію, розчиняє і вимиває з бетону гідроксид кальцію та інші хімічні компоненти, що призводить до зростання пористості, порушення структури і, як наслідок, зниження міцності конструкції. Взимку проникла в пори бетону вода замерзає і, збільшившись в обсязі, викликає розтріскування бетону. Тріщини і вода в присутності хлоридів викликають корозію арматури, що сприяє ослабленню міцності споруди.

Стає очевидною необхідність надійного захисту конструкцій від впливу описаних несприятливих факторів шляхом створення гідроізоляції, яка забезпечує міцність і довговічність споруди.

Існують два основних види гідроізоляції для захисту з/б і металевих прогінних будов мостів та шляхопроводів:

- улаштування гідроізоляції проїзної частини споруди із застосуванням бітумно-полімерних рулонних матеріалів (обклеєна рулонна гідроізоляція);
- використання бітумно-латексних емульсій (напилювальна гідроізоляція).

Улаштування гідроізоляції проїзної частини з/б мостів із застосуванням бітумно-полімерних рулонних матеріалів (обклеєчна гідроізоляція).

Види обклеєчної гідроізоляції із бітумно-полімерних рулонних матеріалів, які найчастіше використовують в Україні: «Стеклоізол», «Гідроізол», «Сполімо́ст», «Техноізол», «Hyperdesmo», «Поликров» і т.д.

Технологія улаштування обклеєчної гідроізоляції із бітумно-полімерних рулонних матеріалів:

1. Нанесення на очищену поверхню вирівнювального шару поїзної частини ґрунтовки (призначення ґрунтовки – заповнення пор бетону й створення плівки для надійного приклеювання рулонного матеріалу мастикою).

2. Укладення на ґрунтовку рулонного гідроізоляційного матеріалу.



За допомогою газового пальника розігрівають нижній шар рулонної гідроізоляції разом з ґрунтовкою. Рулонний матеріал укладають зазвичай у декілька шарів.

Необхідно дотримуватись таких правил укладення рулонного матеріалу:

- полотнища рулонного матеріалу не повинні мати складок і зморшок;
- дефектні ділянки гідроізоляції необхідно відрізати, наклеїти латку з перекриттям не менше ніж на 100 мм.
- кінцеві частини наварених матеріалів, що залишені при перервах в роботі і між етапами виконання робіт, повинні бути приклеєні з прикочуванням, щоб не допускати затікання під них води під час дощу;
- покладений гідроізоляційний матеріал розгладжують і притискають шпателем, а потім прикочують ручним підігрітим котком спочатку уздовж полотна, а потім під кутом 30° ... 35° до осі;
- полотна рулону перекривають один одного по ширині $\geq$ чим на 10 см.

– стики по довжині влаштовують у розбіг (мінімум 30 см).

Особливості укладання гідроізоляції в найбільш небезпечних місцях:

– біля водовідвідних трубок полотно гідроізоляції розрізають від центру трубки секторами, а пелюстки заводять під стакан і підклеюють;

біля тротуарного блоку гідроізоляцію заводять під бордюр і приклеюють до бічної поверхні;

біля деформаційного шва гідроізоляцію заводять у поглиблення компенсатора.

Улаштування гідроізоляції проїзної частини металевих мостів із застосуванням бітумно-полімерних рулонних матеріалів (обклеєчна гідроізоляція)

Останнього часу стали успішно використовувати рулонний наплавний бітумно-полімерний матеріал Пластобіт Міст-140 для гідроізоляції металевих прогінних будов мостових споруд.

Гідроізоляція металевих прогінних будов призначена для їх захисту від корозії. Гідроізоляція повинна бути водостійкою, водонепроникною, хімічно стійкою, біостійкою та не містити компонентів, що викликають корозійне руйнування металу ортотропної плити.



Рисунок 1 - Шари покриття проїзної частини металевих мостів і шляхопроводів при улаштуванні обклеєчної гідроізоляції із бітумно-полімерного рулонного матеріалу Пластобіт Міст 140

Вимоги до матеріалу гідроізоляції:

- морозостійкість (відсутність розтріскування та руйнувань під впливом негативних температур, характерних для заданого району будівництва;
- теплостійкість при високих позитивних температурах навколишнього середовища;
- стійкість до деформацій зсуву, які виникають при гальмуванні та прискоренні транспорту;
- міцне зчеплення із ізолюваною поверхнею.

Рулонний наплавний бітумно-полімерний матеріал Пластобіт Міст-140 задовольняє усім цим вимогам.

Пластобіт Міст-140 укладають на бітумно-каучукову ґрунтовку (праймер). Ця ґрунтовка має малий час висихання і збільшує міцність зчеплення рулонного гідроізоляційного матеріалу Пластобит Міст -140 з ортотропною металеву плитою.

Технологічна послідовність робіт з укладення гідроізоляції Пластобіт Міст-140 на сталеву ортотропну металеву плиту:

1) Підготовка металеві ортотропної плити з метою забезпечення надійного захисту металу від корозії шляхом фізичної та хімічної обробки а саме:

- відчищення поверхні металеві ортотропної плити від бруду скребками, німеталічними щітками, пікоструминними або дробоструминними апаратами (струменево-абразивна обробка) до того стану коли поверхня сталеві ортотропної плити не матиме вибоїн, вм'ятин, випуклощів;
- помивка поверхні плити водою;
- відчищення поверхні плити від пилу;
- помивка зажирених місць металеві поверхні лужними розчинами за допомогою волосяних щіток та протирачного матеріалу, які не повинні залишати сліди на металеві поверхні (волокна, ворс, щетина);
- обробка поверхні мильним розчином та дворазова промивка теплою водою;

– сушіння поверхні природним способом або застосування обдування поверхні чистим сухим повітрям, що не містить олії.

2) Нанесення на поверхню металевої ортотропної плити бітумно-каучукової ґрунтовки (ДСТУ Б В.2.7-108-2001).



3) Укладення на бітумно-каучукову ґрунтовку гідроізоляційного рулонного матеріалу Пластобіт Міст -140.

Полотна рулону наклеюють внахлестку на 80-100мм по поздовжніх сторонах і не менше 150мм у переріжних стиках суміжних рулонів. Поздовжні і поперечні стики повинні бути зсунуті відносно один одного на 500мм.

Улаштування гідроізоляції із бітумно-латексних емульсій(напилювальна гідроізоляція)

Асфальтобетонне покриття
Обмазочна або напилювальна гідроізоляція
Ґрунтовка
Плита або балка проїзної частини



Рисунок 2 - Шари покриття проїзної частини мостів і шляхопроводів при улаштуванні напилювальної гідроізоляції із бітумно-латексних емульсій

Технології улаштування проїзної частини мостових покриттів сильно змінилося за останнє десятиліття. Підвищені вимоги до якості покриття і його довговічності, послужили серйозним поштовхом у бік використання більш сучасних технологій і створення матеріалів, що забезпечують терміни служби без ремонту покриття мостів до 30 років.

Останні роки широко використання отримала напілювальна гідроізоляція на основі бітумно-латексної емульсії– «Flexigum» (Рідка гума). Це сучасна безшовна гідроізоляція, термін служби якої при дотриманні технології нанесення значно перевищує довговічність традиційних рулонних матеріалів. Спеціальне обладнання для рідкої гуми дозволяє наносити покриття на порядок швидше «рулонки», без швів, без застосування відкритого вогню, без розкочування рулонів. Термін служби такої гідроізоляції без ремонту досягає до 20 років.



Після детального порівняльного аналізу особливостей улаштування напілювальної гідроізоляції «Flexigum» (Рідка гума) і традиційних рулонних гідроізоляційних матеріалів, можна зробити такий висновок: «За більшістю показників напілювальна гідроізоляція «Flexigum» (Рідка гума) має значні переваги». Саме тому провідні мостобудівельні організації стали використовувати бітумно-латексну напілювальну гідроізоляцію.

Компоненти, з яких складається гідроізоляція «Flexigum» (Рідка гума):

✓ компонент «А» – бітумно-латексна емульсія з високим вмістом синтетичного латексу на основі поліхлоропренового каучуку.

✓ компонент «Б» – коагулянт з водного розчину хлористого кальцію CaCl_2 .

Хлористий кальцій CaCl_2 . поставляється у вигляді гранульованого порошку в пластикових банках або в мішках. Найчастіше використовується 10-12% розчин CaCl_2 - на 25 л води розчиняється 4 кг порошку).

Секрет якості гідроізоляції у тому, що, як тільки розчин солі потрапляє на полімерно бітумну емульсію, починається процес полімеризації, мастика стає дуже в'язкою, тому і не стікає, коли потрапляє на ізольовану поверхню. А вже через кілька хвилин перетворюється на гумоподібний матеріал.

Для улаштування гідроізоляції «Flexigum» (Рідка гума) використовують устаткування ДУГА® в комплекті зі шлангами (з фільтрами) для забору у компонентів з ємностей, рукавами необхідної довжини від установки до розпилювача, розпилювач з форсунками.

Технологія улаштування гідроізоляції «Flexigum» (Рідка гума):

- відчищення шару на який напильється гідроізоляція від бруду, пилу, жирових і масляних плям, а також усунення нерівностей і тріщин;
- сушіння поверхні шару на який наноситься «Рідка гума», якщо вологість поверхні $>10\%$;
- напильнення компоненту «А» (емульсії) Для цього включається насос тільки по лінії емульсії і працює форсунка №1;
- висихання компоненту А (емульсії) від 30 хвилин до 1,5 години, в залежності від погодних умов;
- нанесення шару гідроізоляції двокомпонентним складом, включаючи обидва насоса установки ДУГА® (працюють одночасно 2 форсунки).

Необхідна відстань від форсунок розпилювача до поверхні становить 50-70 см. Наносити гідроізоляцію рекомендується смугами шириною 1-1,5 м.

Таблиця 1. Порівняння особливостей улаштування напилувальної гідроізоляції «Flexigum» (Рідка гума) і традиційних рулонних гідроізоляційних матеріалів

№	Найменування	Рулонні матеріали	Рідка гума
1	Вихідні матеріали та обладнання	Рулонні матеріали, балони з газом, шланги, пальник - доставка (підйом) до місця робіт	Установка (50-60 кг), шланги та ємності з сировиною. Відстань від установки до місця напilenня до 60 м.
2	Зняття старого покриття	Необхідно	Не потрібно
3	Очищення поверхні від пилу, бруду, жиру і т.п.	Необхідно	Необхідно
4	Виконання усадочних і температурних швів поверхні	Необхідно	Не потрібно
5	Попередня примірка матеріалу	Необхідно	Не потрібно
6	Застосування відкритого вогню	Необхідно	Не потрібно
7	Попередній прогрів поверхні і матеріалу пальником	Необхідно	Не потрібно
8	Пожежонебезпека	Присутня	Відсутня
9	Виділення токсичних речовин при роботі	Присутня	Відсутня
10	Збільшення маси покриття 1 м ² поверхні, що ізолюється, кг	10-12	3-
11	Самовідновлення покриття	Немає	Є
12	Еластичність покриття при позитивних температурах, %	8-10	До 1000
13	Еластичність покриття при негативних температурах	Немає	Зберігається
14	Наявність стиків і швів гідроізоляційного покриття	Є	Немає
15	Конфігурація поверхні, на якій забезпечується якісне прилягання гідроізоляційного шару без додаткових трудовитрат	Прямі площині	Будь-якої складності

Перевагами гідроізоляції сучасним перспективним матеріалом «Рідка гума» є:

- Відмінна адгезія напилувальної гідроізоляції до більшості матеріалів, що використовуються в будівництві споруд - бетону, цегли, металу, дереву.
- Унікальна можливість створення безшовного монолітного покриття.
- Зниження витрат часу в порівнянні з рулонними матеріалами.

- Отримання гідроізоляційного покриття з високою еластичністю, міцністю, стійкістю до ультрафіолетового випромінювання і відсутністю розтріскування при негативних температурах, а також при перепадах температур.

- Можливість самовідновлення гідроізоляційного шару.
- Відсутність пожежонебезпечних факторів і токсичних виділень.
- Допускається напилення рідкої гуми на вологу поверхню.
- Можливість швидкого і легкого ремонту пошкодженої ділянки поверхні без демонтажу всього гідроізоляційного покриття.

Мінуси гідроізоляції «Рідка гума»:

- Вартість сировини.
- Видалення покриття з поверхні, в разі необхідності, буде складніше, ніж зняття рулонного матеріалу.
- Можливість пошкодження гідроізоляційного шару з рідкої гуми розчинниками і речовинами, що містять нафтопродукти.

Висновок

Суттєвий вплив на довговічність гідроізоляційного захисту штучних споруд мають властивості самого гідроізоляційного матеріалу і дотримання правильної технології його улаштування.

Перелік посилань

1. Сайт Мінрегіонбуд (дата звернення до <http://www.minregion.gov.ua> 12.04.2023).
2. Безбабічева О.І., Золотарьов Д.В., Жданюк В.К. Властивості бітумополімерних мастик для гідроізоляції мостів // Автошляховик України.– 2001.– №1. – С. 34–36.
3. Шевченко В. П., Лозицкий А.С., Безбабічева О.И., Жданюк В.К. О некоторых направлениях продления срока службы мостов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2002. – № 64. – С. 263–266.

ВИДАТНІ МОСТИ ФРАНЦІЇ

Тарасенко А.А. 21ДМ

Науковий керівник: викл. вищ. кат, викл-мет. Митрохіна М.О.

Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж

Віадук Мійо — вантовий міст через долину річки Тарн поблизу міста Мійо у південній Франції. Цей віадук — остання ланка траси А75, яка забезпечує високошвидкісний рух із Парижа через Клермон-Ферран до міста Безьє. Міст було відкрито 14 грудня 2004 року. Авторами проекту мосту були французький інженер Мішель Вірложо, відомий раніше проектом другого за протяжністю (на момент будівництва віадук Мійо) вантового мосту у світі — мосту Нормандії, і англійський архітектор Норман Фостер. Міст перетинає долину річки Тарн у її нижній точці, пов'язуючи плато Ларзака з червоним плато і проходить по внутрішній стороні периметра природного парку Велике плато. На момент будівництва Віадук Мійо був найвищим транспортним мостом у світі, одна з його опор має висоту 341 метр - трохи вище, ніж Ейфелева вежа, і всього на 40 метрів нижче, ніж Емпайр-стейт-білдінг у Нью-Йорку. Міст складається з восьмипролітного сталевих дорожнього полотна, що підтримується сімома сталевими колонами. Дорожнє полотно важить 36 000 тонн, має довжину 2460 метрів, ширину 32 метри та глибину 4,2 метра. Кожен із шести центральних прольотів має довжину 342 метри, два крайні — по 204 метри завдовжки. Дорога має невеликий ухил у 3%, спускаючись від півдня на північ, і кривизну радіусом 20 кілометрів, щоб дати водіям найкращий огляд.



Рисунок 1 – Віадук Мійо

Міст Олександра III у Парижі знаходиться між Будинком інвалідів та Єлисейськими Полями. Щоб не затуляти панораму Єлисейських Полів, міст зробили висотою не більше 6 метрів, що на момент його будівництва вважалося дивовижним досягненням. Міст був закладений на ознаменування Франко-російського союзу імператором Миколоєм II у жовтні 1896 року і зведений за чотири роки. Назва мосту було надано на честь його батька – імператора Олександра III. Міст, довжиною 160 м, по праву вважається найвитонченішим мостом у Парижі. Він прикрашений фігурами пегасів, німф і ангелів, являючи собою яскравий зразок стилю «Боз-ар» перегукуючись з оформленням Гран- Пале, що розкинувся праворуч. З боків від в'їзду на міст височіють 17- метрові ліхтарні стовпи, над якими розташовані бронзові фігури, що символізують Науку, Мистецтво, Промисловість та Бій. У центрі мостових арок розташовані німфа Сени з гербом Франції та німфа Неви з гербом імператорської Росії, обидві виконані з міді Ж. Ресіпо.



Рисунок 2 – Міст Олександра III

Пон-дю-Гар — найвищий давньоримський акведук, що зберігся. Перекинуто через річку Гардон (насамперед Гар) у французькому департаменті Гар поблизу Ремулана. Довжина 275 метрів, висота 47 метрів. Пам'ятник Світової спадщини ЮНЕСКО (1985). Довгий час вважалося, що Пон-дю-Гар було споруджено для постачання водою міста Німа за наказом Марка Віпсанія Агріппи, зятя імператора Октавіана Августа (близько 19 року до н.е.). Нові дослідження свідчать, що будівництво велось в середині I століття н. е. Будувався він без застосування вапна і був складовою частиною 50-кілометрового водопроводу, який вів у Ним з Юзеса. Акведук триярусний: у нижньому ярусі шість арок, у середньому – одинадцять, у верхньому – тридцять п'ять. У міру наближення до берега ширина арок зменшується.

Водопровід перестав діяти невдовзі після падіння Римської імперії, проте сам акведук протягом століть використовувався як мост для возів. Для пропуску габаритних транспортних засобів частина опор була подовжена, що створювало загрозу обвалу всієї споруди.

У 1743-1747 році неподалік був побудований сучасний міст, рух Пон-дю-Гару було поступово закрито. У середині XIX століття стародавня пам'ятка за наказом Наполеона III відреставрована.



Рисунок 3 – Акведук Пон-дю-Гару

Міст Нормандії. Коли його відкрили у 1995 році, Міст Нормандії з його 856-метровим центральним прольотом був найбільшим підвісним мостом у світі.

Рекорд з того часу кілька разів був побитий, але міст Нормандії все одно залишається вражаючим, гідним технічного та естетичного захоплення. Міст височить над гирлом річки Сена між містами Le Havre і Honfleur, утворюючи витончену дугу, що підтримується двома вежами, кожна з яких важить близько 20 000 тонн і має висоту понад 200м. Конструкція здатна витримати вітру понад 300км/год. Найкраще милуватися мостом з бенкету або з церкви Notre-Dame de Grace в Honfleur.



Рисунок 4 – Міст Нормандії

Міст Валантре - кам'яний аочний міст XIV століття через річку Ло в Каорі (Франція). Укріплений трьома вежами з навісними бійницями, є міст-фортеця, що служив серед іншого для захисту міста від ворожих вторгнень. Широко відома пов'язана з мостом легенда, за якою його допомагав будувати диявол. У 1840 році місту Валантре було надано статус історичної пам'ятки Франції; 1998 року він увійшов до списку Світової спадщини ЮНЕСКО як один із об'єктів у складі шляху Святого Якова. Міст Валантре неодноразово зображувався на марках, що випускаються Поштою Франції, а також став прообразом моста, зображеного на купюрі номіналом 20 євро.



Перелік посилань

1. <https://druzy.com.ua/viadyk-miio-franciia-naivishii-y-sviti-transportnii-mist-opis-rozmiri/>
2. <https://paris-life.info/most-aleksandra-iii/1387-most-aleksandra-iii-v-parise/>
3. <https://lifeglobe.net/entry/1161>
4. M. Cohou, L. Courget. Le pont Valentré au fil du temps. — 2008

Секція
«Хімія та хімічні технології»

МЕТОДИ РЕГЕНЕРАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ СТОЧНИХ ВОД

Муха А.М. ДХ-11-22

*Науковий керівник: к.х.н., доц. каф. ХХТ Даценко В.В
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

В даний час істотний внесок у забруднення навколишнього природного середовища (НПС) та водних об'єктів (ВО) вносять наростаюча кількість стічних вод (СВ) і шламів гальванічних виробництв, що містять ряд сполук дефіцитних і дорогих металів: Cu, Zn, Ni, Co Cr та ін. [1]. На практиці заводські очисні споруди не можуть вирішити проблему очищення гальванічних стоків, тому найчастіше СВ після розведення скидаються в промислову каналізацію, що призводить до втрати великої кількості кольорових металів та забруднення НПС та ВО. За даними екологічних служб скидання деяких важких металів (ВМ) з відпрацьованими травильними розчинами перевищує гранично допустимі санітарні норми (ГДК) у 8–10 разів, а окремих випадках у 40–50 [1].

Найбільш ефективним підходом до вирішення цієї проблеми є впровадження локальних маловідходних технологій, що передбачають постадійне вилучення цінних сполук та їх повернення до технологічного циклу. Аналіз останніх досліджень з цієї тематики [2-4] показує, що основними фізико-хімічними методами очищення стічних вод, що містять важкі метали, вважаються реагентні, мембранні (мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація, зворотний осмос, електродіаліз), електрохімічні (електрофлотація, електродіаліз, електроліз), сорбційні та іонообмінні фільтри), біохімічні методи.

Відповідно до таблиці 1 [1], основними напрямками очищення СВ гальванічних виробництв є реагентний та електрохімічні методи очищення. Ці методи очищення мають ряд переваг: проста технологічна схема при експлуатації обладнання, зручність автоматизації його роботи, скорочення виробничих площ під розміщення очисних споруд.

Таблиця 1 – Методи очищення та знешкодження кислотно-лужних СВ гальвановиробництв [1]

Метод	Область застосування	Переваги	Недоліки
Реагентний	Для стоків різних обсягів із різною концентрацією забруднень	Очищення до ГДК. Можливість очищення окремих стоків та суміші. Легко автоматизується. Стабільний процес	Немає повернення води в обіг, високий вміст солі. Не-можливе вилучення осаджених іонів. Складність схеми
Електро-коагуляція	Для Cr-стоків з витратою до 100 м ³ /год і концентрацією Cr до 200 мг/дм ³	Очищення до ГДК. Повернення води в обіг без реагентів. Малі габарити установки	Висока витрата металу на аноди, їх пасивація. Неможливість очищення стоків без розведення
Електродіаліз	Для локального очищення стоків окремих гальванічних процесів	Очищення до ГДК. Повернення очищеної води та вилучених іонів в обіг. Малі габарити, проста схема	Висока витрата енергії. Необхідність очищення від механічних та органічних домішок перед діалізом
Зворотній осмос і ультра-фільтрація	Для локального очищення стоків окремих видів покриттів	Очищення до ГДК. Повернення води та іонів в обіг. Економія енергії. Простота схеми	Концентраційна поляризація. Нестійкість мембран після концентрування
Іонний обмін	Для стоків з витратою до 500 м ³ /год та вмісту Cr до 400 мг/дм ³ при роздільному та загальному скиданні у каналізацію	Очищення до ГДК. Повернення очищеної води у виробництво. Можливість очищення змішаних стоків та селективного виділення іонів	Потрібне попереднє очищення та герметична схема. Утворення елюатів, їх додаткове знешкодження. Дефіцитність смол

Проте самотійно не дозволяють досягти норм ГДК стічних вод, особливо у важких металах; отримати повернення води на оборотне водопостачання гальванічного виробництва або досягти повної утилізації цінних компонентів. Тому основним шляхом вирішення цієї проблеми є впровадження нових технологій очищення СВ та утилізація відходів

гальванічного виробництва. Аналіз особливостей кращих доступних технологій [2] дозволив виділити їх основні критерії.

Деякі підприємства нейтралізують СВ, внаслідок чого виходять шлами, які складаються в шламонакопичувачах без переробки та утилізації. Ціни більшості компонентів, що містяться в цих відходах, високі та впливають на собівартість продукції. Головною перешкодою використання гальванічних шламів як вторинної сировини є нестабільність їх якісного складу та кількості, що утворюється. Вміст ВМ у відходах гальванічних виробництв значно відрізняється [5]. Шлами деяких підприємств, що використовують гальванічні виробництва, мають подібний компонентний склад, проте концентрації металів у них помітно коливаються. Така розбіжність у кількісному утриманні важких металів у відходах виробництва однієї галузі залежить від специфіки підприємства та технологічних операцій на гальванічних ділянках та лініях. Визначення класу небезпеки цих відходів показав, що в основному відходи відносяться до IV класу небезпеки та є малонебезпечними для навколишнього природного середовища. Однак, розрахунок індексу токсичності (K_i) для кожного компонента у відходах [5] показав, що найбільшу токсичність мають сполуки міді, цинку, свинцю, марганцю, заліза. Вміст у відходах навіть у порівняно малих кількостях ВМ, але регулярному їх накопиченні призводить до накопичення в навколишньому середовищі досить високих їх концентрацій, що призводять до негативних наслідків.

Враховуючи те, що метали, які входять до складу відходів гальванічного виробництва, є цінними вторинними матеріальними ресурсами [1], виникає необхідність у розробці та реалізації програми, спрямованої на максимальне залучення їх у господарський оборот. Найбільш доцільним способом знешкодження гальванічних шламів є комплексне вилучення з них цінних компонентів. Однак усі розроблені в наступний час технології вимагають застосування багатостадійних процесів з використанням великої кількості різноманітних, у тому числі токсичних реагентів (хімічні методи) або великої витрати енергії (електрохімічні методи). Крім того, реалізація таких процесів

потребує серйозних капітальних вкладень. Так, одним із напрямків утилізації гальваношламів є їх термічна переробка на пігментні матеріали, насамперед для будівельної промисловості [6-10]. Відомо, що на основі гальваношламів можуть бути отримані наступні пігменти: коричневі, червоно-коричневі з технічними характеристиками на рівні характеристик природного пігменту – залізного сурика, синтетичного червоного – $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, зелені, зелено-коричневі, антикорозійні пігментні матеріали у вигляді фосфатних сполук [10]. Пігменти, виготовлені з гальванічних шламів, можуть застосовуватися при виробництві керамзиту, черепиці, керамічної плитки. Найбільш надійним та екологічно безпечним способом утилізації гальванічних шламів як пігменти, є використання їх при виробництві скловиробів та емалей. Висока надійність має спосіб застосування пігментів, виготовлених з гальванічних шламів при виготовленні кольорових глазур для покриття облицювальних плиток. Також пігменти, виготовлені з гальванічних шламів, можуть застосовуватися у виробках народних промислів: при виробництві глиняних та керамічних виробів та іграшок (шкірянські іграшки).

Іншим способом утилізації гальванічних шламів є використання їх як наповнювач при виготовленні асфальтобетонних сумішей [8]. Однак, наявні відомості про використання гальванічних шламів в якості добавок у будівельні матеріали вказують, що жоден з перерахованих способів не отримав помітного промислового використання у зв'язку з недостатньою екологічною безпекою продуктів, що утворюються, і безповоротною втратою цінних металів.

Проблемою переробки металовмісних відходів стурбовані вчені та інженери багатьох країн. Найбільш радикально її вирішено в США, де за останні 20 років розроблено та здано в експлуатацію велику кількість установок для утилізації металовмісних відходів [2].

Загальна ідея розробок полягає в тому, що висушені та подрібнені відходи додають до розплаву чавуну, внаслідок чого утворюються легований чавун. Також, шлами, що утворюються при очищенні гальванічних СВ електрокоагуляційним методом використовують для отримання котунів в

металургії. При цьому метали (хром, нікель та інші) переходять у розплав чавуну, а неметалеві компоненти – силікати, алюмінати, вапно та інші – у вагранковий шлак. Один з нових напрямків у вирішенні проблеми ліквідації шламів полягає в їхній хімічній стабілізації, яка дозволяє отримувати нешкідливі або малотоксичні сполуки. Їх можна розміщувати в окремих місцях на міських звалищах або інших спеціально необладнаних майданчиках без загрози забруднення навколишнього середовища іонами важких металів вище допустимих норм.

Таким чином, в сучасних умовах зусилля промислових підприємств при утилізації відходів мають бути спрямовані не лише на мінімізацію утворення відходів, а й на виділення з них цінних компонентів, їхню рециркуляцію та вторинне використання. Крім розглянутих методів та способів очищення СВ та відходів гальванічного виробництва можливі й інші рішення, головною метою яких має бути їх економічна доцільність та забезпечення екологічної безпеки виробництва.

Перелік посилань

1. Касимов О.М. Сучасні проблеми і рішення в системі управління безпечними відходами /О.М. Касимов, В.Т. Семенов, Н.Г. Щербань, В.В. М'ясоєдов – Харків: ХНАГХ, 2008. – 510 с.
2. Gupta V.K., Ali I. Environmental Water. Amsterdam: Elsevier, 2013; 1: 232. DOI: [10.1016/C2011-0-05782-4](https://doi.org/10.1016/C2011-0-05782-4).
3. Renu A.M., Singh K. Methodologies for removal of heavy metal ions from wastewater: an overview. Interdisciplinary Environmental Review, 2017; 18(2): 124–142. DOI: 10.1504/IER.2017.10008828.
4. Gunatilake S.K. Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS), 2015; 1(1): 12–18.
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. Król A. Effect of high temperature on immobilization of heavy metals in concrete with an addition of galvanic sludge. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2018; 109: 331–339. DOI: <http://doi.org/10.2495/wm080351>
 7. González-Corrochano B., Alonso-Azcárate J., Rodríguez L., Lorenzo A.P., Torío M.F., Ramos J.J. T. et. al. Valorization of washing aggregate sludge and sewage sludge for lightweight aggregates production. *Construction and Building Materials*, 2016; 116: 252–262. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.095>
 8. Bednarik V., Vondruska M., Koutny M. Stabilization/solidification of galvanic sludges by asphalt emulsions. *Journal of Hazardous Materials*, 2005; 122(1–2): 139–145. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.03.021>
 9. Castañeda Bocanegra J.J., Espejo Mora E., Cubillos González G.I. Encapsulation in ceramic material of the metals Cr, Ni, and Cu contained in galvanic sludge via the solidification/stabilization method. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2017; 5(4): 3834–3843. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jece.2017.07.044>
 10. Ol'shanskaya L.N., Lazareva E.N., Bulkina L.A. Recycling of Heavy Metals and Their Compounds from Galvanic Sludges to Produce Pigments and Fillers and the Active Species of Nickel–Iron (Cadmium) Battery Cathodes. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2016; 52(1–2): 138–142. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10556-016-0163-z>

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ХІМІЧНОГО РОЗЧИНЕННЯ БЕРИЛІЄВОЇ БРОНЗИ В РІЗНИХ ЕЛЕКТРОЛІТАХ

Ляшенко В.О. ДХ-11-22

*Науковий керівник: к.х.н., доц. каф. ХХТ Єгорова Л.М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Анодні процеси визначають корозійну стійкість металів і сплавів та істотно впливають на стабільність роботи пристроїв, що працюють за електрохімічним принципом. При виготовленні електронних пристроїв часто використовують мідь і мідні сплави. Наприклад, мідно-берилієві сплави застосовують для виготовлення пружних елементів та плоских пружин [1]. Високі опір втомі, міцність, пружність, електропровідність і корозійна стійкість - все це забезпечує широке використання пружних елементів з берилієвої бронзи в електротехнічному обладнанні, контрольно-вимірювальних приладах, для виготовлення гіроскопів, неіскристого інструменту [2].

Встановлення закономірностей і стадійності процесів хімічного і електрохімічного розчинення металів і сплавів в розчинах, які традиційно застосовують, а також створення нових електролітних систем сприяють удосконаленню технологій, можливості управління технологічними процесами, визначенню режимів експлуатації виробів.

З метою вивчення хімічного розчинення сплаву БрБ2 в розчинах різного складу методом ОДЕ (дисковий електрод, що обертається) досліджено хімічне розчинення берилієвої бронзи БрБ2 в кислих розчинах на основі FeCl_3 при високій швидкості обертань електроду ($\omega=74 \text{ об} \cdot \text{с}^{-1}$). Швидкість розчинення сплаву БрБ2 визначали гравіметричним методом. Методом атомної абсорбції визначена селективність розчинення компонентів сплаву. На підставі отриманих експериментальних даних були обрана серія з п'яти складів травильних розчинів, які забезпечують високу швидкість травлення і рівномірне розчинення компонентів берилієвої бронзи. По мірі розчинення

компонентів сплаву БрБ2 змінюється склад травильного розчину і, відповідно, швидкість розчинення компонентів сплаву. У зв'язку з цим дуже важливою є перевірка стабільності процесу травлення берилієвої бронзи в часі. Для цього було досліджено зміну швидкості розчинення сплаву БрБ2 в часі та побудовані $v - \tau$ криві згідно з якими були обчислені кількісні показники травлення. Кількісні характеристики травлення дозволили визначити склади розчинів, рекомендованих як високошвидкісні. Висока швидкість травлення в розчині 1,0М 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 0,5М FeCl_3 у вигляді $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ і HCl . Саме цим можна обґрунтувати високошвидкісне травлення сплаву БрБ2 в розчині 0,5М $\text{FeCl}_3 + 0,5\text{М Fe}(\text{NO}_3)_2 + 0,5\text{М HCl}$.

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, представлені в таблиці 1.

Концентрації метало-іонів в відпрацьованих розчинах після виснаження, визначені атомно-абсорбційним методом, що дозволило ідентифікувати склади розчинів, які забезпечують найбільш високу ємність по компонентам сплаву.

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).

Сумарна концентрація іонів міді і берилію в даний момент часу відповідала «ємності» розчину по компонентам, які розчиняються (табл 2).

Таблиця 1 – Результати атомно - абсорбційного аналізу відпрацьованих травильних розчинів (час травлення сплаву БрБ2 200 хв.; 25°C)

№ п/п	Склад розчину, моль/л	Концентрації іонів, г/л	
		Cu ²⁺	Be ²⁺
1	0,5M FeCl ₃	10,27	0,175
2	0,5M FeCl ₃ + 0,5M Fe(NO ₃) ₂	19,98	0,291
3	0,5M FeCl ₃ + 0,5M Fe(NO ₃) ₂ + 0,25M H ₂ SO ₄	21,78	0,304
4	0,5M FeCl ₃ + 0,5M Fe(NO ₃) ₂ + 0,5M HCl	21,93	0,281
5	1,0M FeCl ₃	20,8	0,222

Таблиця 2 – Максимальна сумарна концентрація іонів міді та берилію за цикл травлення (нумерація складів травильних розчинів відповідає таблиці 1)

№ складу розчину	Тривалість циклу травлення до випадіння осаду, хв.	Сумарна концентрація іонів міді і берилію, г/л
1	160	10,45
2	180	20,27
3	160	22,1
4	180	22,2
5	160	21

Мінералогічний склад малорозчинних сполук у виснажених травильних розчинах було визначено рентгенофазовим аналізом. Не ідентифіковано сполук Cu(I), що доводить перебіг двохстадійного окислення міді і накопичення іонів Cu²⁺ в розчині.

Таким чином, запропоновані оптимальні склади травильних розчинів та доведена доцільність використання багатокомпонентних травильних розчинів.

А саме:

➤ Обрані склади розчинів, які забезпечує високошвидкісне і рівномірне травлення сплаву БрБ2: 1) 0,5 М FeCl_3 ; 2) 0,5 М FeCl_3 + 0,5 М $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 0,25 М H_2SO_4 ; 3) 0,5 М FeCl_3 + 0,5 М $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 0,5 М 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 М FeCl_3 .

Перелік посилань

1. Walker P. Handbook of metal etchants / P. Walker, W. H. Tarn / CRC Press LLC Boca Raton Boston London NewYork Washington, D.C., 1991 – 1415 p.
2. Altenberger I. Material properties of high-strength beryllium-free copper alloys / I. Altenberger, H. A. Kuhn and H. R. Müller // Int. J. Materials and Product Technology. – 2015– Vol. 50, No. 2, – P.124-145.

ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В БУДІВНИЦТВІ

Романюк А.Д. ДХ-11-22

*Науковий керівник: д.т.н., доц. каф. ХХТ Ненастіна Т.О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Дорожнє будівництво – один з найбільших споживачів будівельних матеріалів. Сьогодні найпоширенішим покриттям є асфальтобетон, який використовують у 97% випадків. Для будівництва та ремонту дорожніх покриттів та вулиць в Україні щорічно використовується більш ніж 100 мільйонів тонн асфальтобетонної суміші та подібних матеріалів, які виготовляються з використанням бітуму нафти. Своєю популярністю асфальтобетонні покриття завдячують конструктивним та технічним перевагам: можливість будівництва покриттів незалежно від пори року; досить високі показники міцності та зносостійкості; здатність витримувати різкі перепади температур; відносна простота відновлення та реконструкції поверхневого шару з мінімальними затримками трафіку. Також останнім часом досить поширене використання місцевих матеріалів та повторне використання старого бітуму з покриття.

Транспортні та експлуатаційні властивості бітумних покриттів включають високу рівномірність, шорсткість, невелику вібрацію автомобіля та мінімум шуму під час руху, хорошу видимість маркування, привабливий зовнішній вигляд [1,2].

Водночас, асфальтобетону притаманні недоліки, одним з яких є значна залежність міцності та деформативних характеристик від температури довкілля. Вирішальну роль в температурних властивостях асфальтобетону відіграє бітум, якість якого на сьогодні оцінюється за стандартними показниками згідно з пенетрацією.

Внутрішній та іноземний досвід показує, що неможливо замінити бітум на інші матеріали при будівництві доріг з ряду технологічних та організаційних причин. Тому основна увага повинна бути спрямована на

економічне споживання бітуму під час будівництва та ремонту доріг. Високі темпи будівництва та відновлення автомобільних доріг вимагають приділення особливої уваги саме технологіям виробництва дорожньо-будівельних матеріалів, оскільки у справі дорожнього будівництва важливе місце займають саме складові та матеріали, які можуть застосовуватись для виготовлення асфальтобетонної суміші.

Незамінним матеріалом будь-якого будівництва, який активно застосовується при монтажі покрівлі, укладанні асфальтного покриття, є бітум. Це практичний, довговічний, і головне, недорогий вид будівельного матеріалу, що одержують з нафти [3].

За своїм хімічним складом нафта як і більшість горючих копалин (табл. 1) являє собою суміш головним чином метанових C_nH_{2n+2} , нафтових C_nH_{2n} і ароматичних C_nH_{2n-6} вуглеводнів.

Таблиця 1 – Елементний склад деяких горючих копалин, %

Копалини		Вуглець	Водень	Кисень, сірка та ін.
Сланці		76,6	9,2	14,2
Торф сухий		57,7	6,1	36,2
Вугілля	кам'яне	81,3	5,2	13,5
	буре	74,8	5,1	20,1

Основними хімічними елементами (рис.1), що утворюють нафту є вуглець 80 – 85 %, та водень 8 – 11,5 %, окрім них до складу нафти входять також: кисень 0,2 – 4 %, сірка 0,5 – 7 %, азот 0,2 – 0,5. У незначних кількостях нафти містять галогени – хлор, йод; метали – вольфрам, нікель, залізо, натрій, калій, мідь.

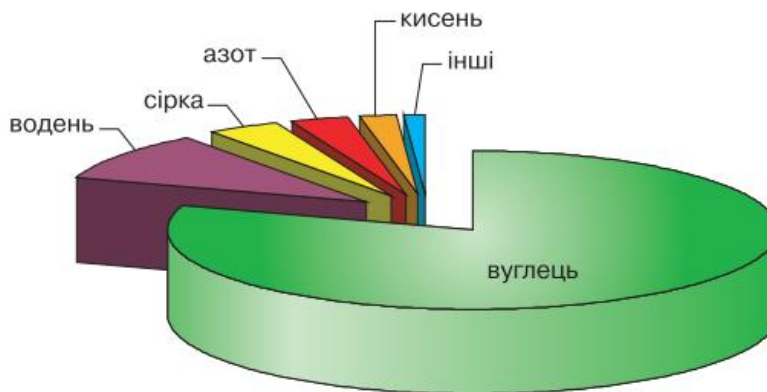


Рисунок 1 – Хімічний склад нафти

Вказані елементи утворюють різноманітні класи хімічних сполук, з яких і складаються нафти. Причому в залежності від місця походження та видобування, хімічний склад нафт дуже різниці.

Нафту і нафтопродукти звичайними методами розділити на індивідуальні сполуки неможливо. Зазвичай, це відбувається шляхом перегону нафти при поступовому підвищенні температури. Такі частини називаються фракціями, або дистилятами. Нафтові фракції на відміну від індивідуальних сполук не мають постійної температури кипіння. Вони википають в певних інтервалах температур, тобто мають температуру початку і закінчення кипіння. Ці обидві температури залежать від хімічного складу фракції.

Первинна переробка нафти яку проводять на атмосферна вакуумна трубчаста установка (рис. 2), дозволяє в одному технологічному процесі здійснювати випаровування і розділення її на окремі складові частини – фракції (дистиляти), що відрізняються температурою кипіння.

Процес розділення нафти на паливні, а мазуту на масляні дистиляти відбувається наступним чином. Нафта, що подається насосом 7, під тиском приблизно проходить через теплообмінники дистилятів 6 і далі в невелику випарювальну колону 8, звідки легко кипляча (газоподібна) частина нафти надходить у ректифікаційну колону, а головна маса – в трубчасту піч 1. У печі, проходячи по змійовику нафта нагрівається до температури 330...350 °C і

частково випаровується. Суміш випаруваної нафти та її частина, що не випарувалася, надходить в ректифікаційну колону 2.

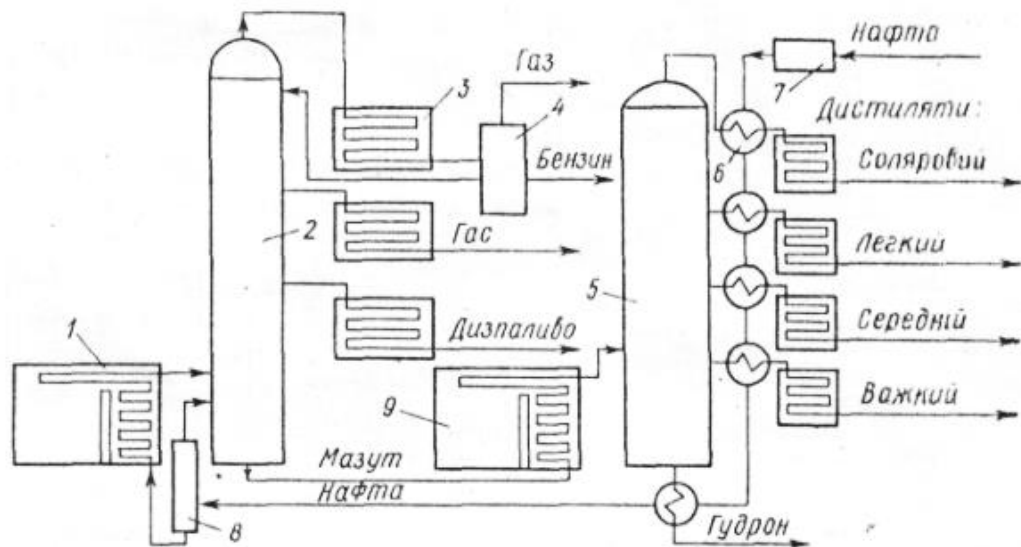


Рисунок 2 – Схема нафтоперегонної установки:

- 1 – трубчаста піч; 2 і 5 – ректифікаційні колони; 3 – холодильники;
 4 – конденсатор-газовіддільник; 6 – теплообмінник; 7 – насос;
 8 – випарювальна колона; 9 – вакуумна трубчаста піч

У ректифікаційній колоні відбувається розділення пари нафти на фракції, причому, можна відбирати в одну групу фракції, в яких температура кипіння відрізняється лише на 5...8°C. Найпоширенішими фракціями прямої перегонки є дистиляти: бензиновий 35...200°C, лігроїновий 110...230°C, гасовий 140...300°C, газойлевий 230...330°C і соляровий 280...380°C. Але з точки зору затрат, чим важчі фракції тим дорожче перегонка, нафту спочатку переганяють на широкі фракції. Продуктами такої переробки є: вуглеводневий газ, бензинова, гасова, дизельна фракції та залишок (мазут), який використовується як сировина для одержання масляних дистилятів. Для цього мазут нагрівають у вакуумній трубчастій печі 9, що дозволяє знизити температуру кипіння та повніше з нього випаровувати (без розщеплення) масляні фракції до температури 420...430°C. У ректифікаційній колоні 5,

залежно від варіанту переробки нафти одержують широку масляну фракцію – вакуумний газойль, або вузькі масляні дистиляти для виробництва різних масел. Залишок – гудрон, а при менш глибокій перегонці – напівгудрон, після відповідної очистки використовують для виготовлення високов'язких (залишкових) масел.

Нафти різних родовищ дуже відрізняються одна від одної за фракційним складом, а звідси – і за потенційним вмістом бензинових, керосинових, дизельних і масляних дистилятів. Очевидно, що фракційний склад нафти визначає шляхи її промислової переробки.

Більшість нафт містять в середньому 15–30% фракцій, які википають при температурі до 200°C, 40–50% фракцій, які перегоняються в інтервалі 300–360°C.

Таким чином можна, зробити висновок, що правильний вибір нафти забезпечує високі якості дорожнього бітуму. Тому сортуванню нафти на європейських нафтопереробних підприємствах приділяється дуже велика увага. На бітумні виробництва потрапляють нафти, що сортуються, для того, щоб забезпечити своїм хімічним складом отримання високоякісних бітумів.

Перелік посилань

1. Jiqing Zhu. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges / Jiqing Zhu, Björn Birgisson, Niki Kringos // *European Polymer Journal*. – 2014. - Volume 54. - pp. 18-38.
2. Emanuele Toraldo. Effects of polymer additives on bituminous mixtures / Emanuele Toraldo, Edoardo Mariani // *Construction and Building Materials*. – 2014. - Volume 65. - pp. 38-42.
3. Братичак М. М. Хімія нафти та газу : навч. посіб. / М. М. Братичак, В. М. Гунька; Нац. ун-т "Львівська політехніка". – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2017. – 445 с.

СОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ОКИСНЕНОГО І НЕОКИСНЕНОГО АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ

Горбань Д. А. ДХ-11-22

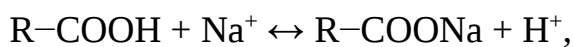
*Науковий керівник: д.х.н., проф. каф. ХХТ Хоботова Е.Б.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Схеми очищення повинні забезпечувати використання очищених стічних вод в технологічних процесах і мінімальне їх скидання. Для глибокого очищення стічних вод застосовують адсорбційні процеси. В якості адсорбентів використовують активоване вугілля, силікагель, цеоліти, а також відходи виробництва.

Залежно від видів модифікації текстури та структури поверхні активованого вугілля змінюються його адсорбційні характеристики щодо сорбатів неорганічної та органічної природи. Поверхневі властивості активованого вугілля варіюють за певних режимів окисної обробки. Запропоновано [1] модифікувати поверхню вугілля концентрованою сульфатною кислотою, після чого його можна ефективно використовувати у технологіях очищення стічних вод. Показано [2], що такі фізико-хімічні характеристики активованого вугілля як гранулометричний склад та гідрофільність змінюються при УЗ опроміненні, що передуює безпосередній активації. Авторами роботи [3] показано можливість використання окисленого вугілля у технологіях пом'якшення води. При певному попередньому просоченні активованого вугілля даний сорбент показав високу ефективність вилучення ціанід-іонів з водних розчинів [4].

Сучасними методами можна отримати вуглецеві сорбенти з відходів. Якщо температура обробки 200 °С і вище, то утворюється окислене вугілля, яке володіє селективними сорбційними властивостями по відношенню до домішок, в тому числі іонів важких металів. При цьому вугілля зв'язує до 15–25 % кисню у вигляді поверхневих оксидів кислотного характеру. Окиснення вугілля може бути проведене окисниками: нітратною кислотою, натрій гіпохлоритом, гідроген пероксидом та киснем повітря.

Окислене вугілля поглинає з розчинів катіони електролітів, причому у розчин виділяються іони водню. Іонний обмін на окисленому вугіллі можна відобразити схемою



Катіонний обмін обумовлений кислотними групами трьох типів – карбоксильними, фенольними і відносно вільними іонами Гідрогену.

Якщо через колонки з окисленим вугіллям пропускати суміш іонів з різними концентраціями, то після встановлення рівноваги частки компонентів, що поглинаються, близькі до 1. При заміщенні іонів Гідрогену декількох карбоксильних або карбоксильних і фенольних груп можуть утворитися поверхневі комплекси типу хелатів.

У практиці адсорбційні методи використовують для локального очищення стічних вод, які утворюються в окремих цехах. У технологічних схемах передбачена попередня обробка води вапном для виділення основної маси колоїдних сполук та аміаку, осадження кацій карбонату, фільтрування крізь фільтри із зернистим завантаженням. Далі йде адсорбційне очищення води та знезараження води хлором. Для адсорбційного очищення стічних вод на різних установках використовують апарати з рухомим, нерухомим або псевдорідким шаром сорбенту.

На стадії сорбції важких металів можливе використання вугілля, яке отримане соактивацією суміші низькосортного природного вугілля і різних відходів: бітумного вугілля, торф'яних мохів, деревної тирси, твердих промислових відходів. Низькотемпературна карбонізація і наступна високотемпературна соактивація суміші відходів водяним паром дозволяє отримати вугілля, адсорбційна ємність якого по відношенню до важких металів значно перевищує показники комерційного вугілля.

Об'єктом дослідження були сорбційні властивості модифікованого окисленого вугілля. В роботі використовували синтетичне азотовмісне вугілля СКН. Методика отримання його окислених форм описана у роботах [5].

Мета роботи – порівняння сорбційних властивостей окисленого і неокисленого активованого вугілля щодо іонів міді.

Методика дослідження. Сорбційні властивості окисленого вугілля визначалися по зменшенню концентрацій іонів міді(II) у розчині. Концентрації Cu(II) визначалися методом атомно-абсорбційного аналізу на спектрометрі «МГА-915». Розбавлення модельних розчинів 1:10 або 1:50.

Для характеристики ступеню окисленості вугілля використовували величину статичної обмінної ємності (СОЄ)

$$\text{СОЄ} = \frac{(C_1 - C_2) \cdot V}{m}, \text{ ммоль/л.}$$

де: C_1 і C_2 – концентрації Cu^{2+} до та після окислення вугілля, мг/дм³; V – об'єм розчину, л; m – маса вугілля, г.

Результати та їх обговорення. Для визначення механізму взаємодії Cu^{2+} -іонів з вуглецевими сорбентами попередньо була досліджена сорбція міді з водних розчинів на модельному вугіллі СКН з різною кількістю оксигеновмісних поверхневих функціональних груп (ПФГ): слабокислотних (лактонних) –COO–; сильнокислотних (карбоксильних) –COOH; фенольних –ОН. При внесенні слабоокисленого активованого вугілля (СОЄ ~ 0,2 ммоль/г) в деаерований купрумовмісний розчин концентрація Cu^{2+} в ньому швидко зменшується, на поверхні вугільних гранул спостерігається утворення металічної плівки. При взаємодії сильноокисленого активованого вугілля (СОЄ > 2,0 ммоль/г) з розчинами сульфату міді розчин світлішає. Але мідне покриття на вугіллі не утворюється. Це свідчить про те, що без доступу кисню механізми взаємодії активованого вугілля різного ступеню окиснення з катіонами міді різні: в першому випадку має місце відновна сорбція, а в другому – переважно іонний обмін. Знайдено, що для вугілля СКН з малим

вмістом кисню гранична сорбція іонів міді в деаерованому середовищі складає близько 40 мг/г, в присутності кисню вона зменшується до 6 мг/г.

В таблиці 1 представлені дані про склад протоногенних оксигенвмісних груп на поверхні активованого вугілля в залежності від ступеню його окиснення в аерованих умовах. Видно, що збільшення долі карбоксильних і фенольних груп (зростання СОЄ) призводить до збільшення сорбції Cu^{2+} .

Таблиця 1 – Взаємозв'язок між ПФГ активованого вугілля і статичною обмінною ємністю за іонами міді(II)

СОЄ, ммоль/г	–COO–, ммоль/г	–COOH, ммоль/г	–ОН, ммоль/г	Cu^{2+} , мг/г
0,2	0,0	0,0	0,2	7
0,4	0,0	0,0	0,4	17
0,5	0,0	0,0	0,5	23
1,6	0,4	0,8	0,4	28
1,9	0,4	0,8	0,7	31
2,2	0,4	0,9	0,9	36
2,5	0,4	1,0	1,1	39

Враховуючи результати взаємодії Cu^{2+} з активованим вугіллям різного ступеню окиснення в присутності і відсутності кисню та дані таблиці 1, можна зробити припущення, що механізм сорбції включає такі стадії: іонний обмін, поверхневе комплексоутворення ПФГ, відновну сорбцію. Процес самовільного електрохімічного відновлення іонів міді термодинамічно можливий, якщо рівноважний потенціал відновлення Cu^{2+} більш позитивний, ніж потенціал поверхні вугілля: $E_{\text{M}^+/\text{M}}^0 > E_{\text{AB}}$. Стандартний потенціал пари $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$ дорівнює 0,34 В, у розбавлених розчинах він ще нижчий. Потенціал газового кисневого електроду, який встановлюється на поверхні вугілля в присутності розчиненого у воді кисню, згідно з результатами дослідження

кінетики формування безструмових потенціалів активованого вугілля у фонових розчинах, складає $E_{\text{ст}} \sim 0,770$ В. Отже, відновна сорбція міді(II) в присутності кисню повітря термодинамічно заборонена.

При взаємодії окисленого активованого вугілля з Cu^{2+} в деаерованому середовищі необхідно враховувати, що поверхня такого вугілля покрита оксигенвмісними функціональними групами. Вугілля з високим вмістом таких груп має більше значення окисно-відновного потенціалу, ніж поверхня неокисленого вугілля [5], і не може відновити іони міді до металу. Підтвердженням цього є зміна потенціалу поверхні активованого вугілля, що спостерігається, в присутності Cu^{2+} : при взаємодії з міддю величина потенціалу поверхні сильноокисленого активованого вугілля практично не змінюється (рис. 1).

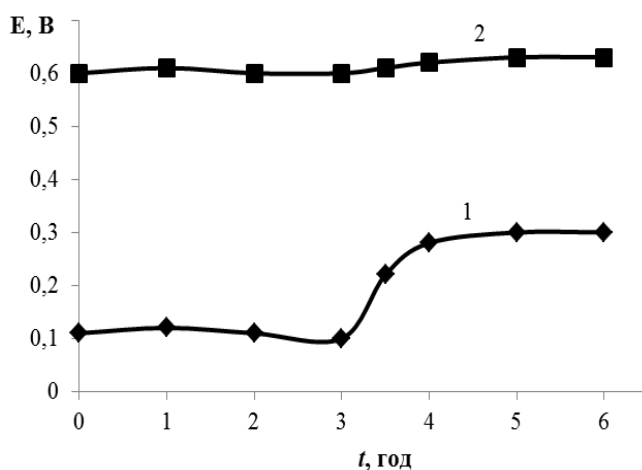
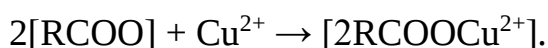


Рисунок 1 – Безструмові потенціали E , В слабо- (1) і сильно окисленого (2) вугілля СКН у деаерованому 0,1 М розчині купрум сульфату

Таким чином, стає зрозумілою здатність тільки слабоокисленого вугілля, що не володіє надлишком ПФГ, відновлювати іони міді до металічного стану в деаерованому середовищі. В аерованих розчинах мідь(II) може вилучатися на активованому вугіллі за іонообмінним механізмом із можливим утворенням комплексів з поверхневими оксигенвмісними групами [5], що являється в цьому випадку визначальним у механізмі сорбції Cu^{2+}



Висновки

Дослідження сорбції Cu^{2+} на вугіллі СКН з різною кількістю оксигенвмісних ПФГ показали, що в реальних водних розчинах, включаючи технологічні, для вилучення Cu^{2+} -іонів найбільш ефективні вуглецеві матеріали з достатньою кількістю оксигенвмісних функціональних груп. Рекомендовано використовувати додаткове окиснення вугілля з метою підвищення вмісту ПФГ і сорбційної здатності сорбенту.

Перелік посилань

1. Jiang Z., Liu Y., Sun X. Activated carbons chemically modified by concentrated H_2SO_4 for the adsorption of the pollutants from wastewater and the dibenzothiophene from fuel oils. *Langmuir*. 2003. Vol. 19(3). pp. 731–736.
2. Бордун І.М., Корецький Р.М., Пташник В.В., Садова М.М. Зміна гранулометричного складу та гідрофільності активованого вугілля після УЗ опромінення у докавітаційному режимі. *Фізична інженерія поверхні*. 2014. Т. 12, № 2. С. 246-252.
3. Войтко І.І., Денисович В.О., Кібальник Т.В., Сопрук О.А., Бондар Р.В. Окиснене вугілля як сорбент для зм'якшення води. *Поверхня*. 2021. Вип. 13(28). С. 188–196.
4. Adhoum N., Monser L. Removal of cyanide from aqueous solution using impregnated activated carbon. *Chemical Engineering and Processing*. 2002. Vol. 41. pp. 17–21.
5. Strelko V.V. Synthetic active carbons as new type of carbon sorbents. *Proc. Intern. Conf. "Carbon-90"*. Paris, 1990. pp. 16–17.

ЗМІСТ

Секція «Мости, конструкції та будівельна механіка»	3
<i>Рябовол О.О. ДМ-51-22, Ялов Ю.М. ДМ-51-22</i> ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПО ВІДНОВЛЕННЮ МОСТІВ ЗРУЙНОВАНИХ В НАСЛІДОК ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ	4
<i>Вишняков Є.С. ДМ-51-22, Лебединець І.Є. ДМ-51-22, Щітка О.В. ДМ-51-22</i> ПРОПУСК ВЕЛИКОВАГОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПО АВТОДОРОЖНІМ МОСТАМ В УКРАЇНІ	12
<i>Дроботенко О.Д. ДМ-36m1-20</i> ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ПІШОХІДНОГО МОСТУ В ALLPLAN BRIDGE 2023	18
<i>Соловей Т.А. ДМ-41-19, Тєбєнєв Г.Г. ДМ-41-19, Орлов Є.С. ДМ-41-19</i> ОСОБЛИВОСТІ НОВОЇ РЕДАКЦІЇ ДБН В.2.3-22 МОСТИ І ТРУБИ. ОСНОВНІ ВИМОГИ ПРОЄКТУВАННЯ	27
<i>Гура Вікторія ДМ-31-20, Гетало Дмитро ДМ-31-20, Воробйов Євген, ДМ-26m1-21</i> ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НА РОБОТУ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНОЇ МЕТАЛЕВОЇ ФЕРМИ	32
<i>Балбекін І.А. ДМ-51-22</i> МОЖЛИВОСТІ ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МОСТІВ ЗАСОБАМИ ВІМ ТЕХНОЛОГІЙ ПК ALLPLAN	40
<i>Васільєв Д.О. ДМ-51-22</i> ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ МОНТАЖУ МОСТОВИХ СПОРУД	47
<i>Захарченко М. Р. ДМ-51-22</i> СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ ВЛАШТУВАННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ НА МОСТАХ	53
<i>Корнейко В.В. ДМ-21-21</i> АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД ПРИ ЗЕМЛЕТРУСАХ	59
<i>Комісаренко І.М. ДМ-36m1-20</i> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ТОРКРЕТУВАННЯ У БУДІВНИЦТВІ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД	66

<i>Заморіна А.Д. ДМ-51-22</i> КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ТУНЕЛІВ З ФІБРОБЕТОНУ	71
<i>Вербицький К.І. ДМ-51-22</i> ВІТЧИЗНЯНІ ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ І ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД	75
<i>Мелещенко Р.М. ДМ-51-22, Нагієв Алі Мурадхан огли ДМ-51-22</i> ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ОПТИМАЛЬНИХ (ЗА ВИТРАТОЮ МАТЕРІАЛУ) МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ	86
<i>Полікарпов А.О. ДМ-51-22, Романенко Ю.В. ДМ-51-22</i> ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ОПОР ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗОК ТА ЕСТАКАД	95
<i>Москаленко. Д.П. ДМ-36т1-20, Воровік О.А. ДМ-21-21</i> СТАЛЕВІ МОСТИ ЇХ ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ	101
<i>Кібукевіч М.Г. ДМ-51-22</i> МЕТАЛЕВІ МОСТИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОРТЕНОВОЇ СТАЛІ	107
<i>Гайдар К.Р. ДМ-51-22</i> ОБСТЕЖЕННЯ МОСТОВИХ СПОРУД ЗГІДНО ДІЮЧИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ	113
<i>Губарєв М.А. ДМ-51-22</i> ІНСТРУМЕНТАЛЬНА ЗЙОМКА ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОЛИВАНЬ ОПОРНИХ ЧАСТИН БАЛАШОВСЬКОГО ШЛЯХОПРОВОДУ	119
<i>Волков І.М. 41ДМ</i> МОСТИ КИЇВЩИНИ, ЩО ЗРУЙНОВАНІ І ВІДНОВЛЕНІ ПІД ЧАС ВІЙНИ З РОСІЄЮ	123
<i>Дубровін Г.І. 41ДМ</i> ЯКІСНИЙ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ПРОГІННИХ БУДОВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ І МЕТАЛЕВИХ МОСТІВ - ЗАПОРУКА ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ. СУЧАСНІ ВИДИ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ УКЛАДЕННЯ	129
<i>Тарасенко А.А. 21ДМ</i> ВИДАТНІ МОСТИ ФРАНЦІЇ	138

<i>Секція «Хімія та хімічні технології»</i>	144
<i>Муха А.М. ДХ-11-22</i> МЕТОДИ РЕГЕНЕРАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ СТОЧНИХ ВОД	145
<i>Ляшенко В.О. ДХ-11-22</i> ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ХІМІЧНОГО РОЗЧИНЕННЯ БЕРИЛІЄВОЇ БРОНЗИ В РІЗНИХ ЕЛЕКТРОЛІТАХ	151
<i>Романюк А.Д. ДХ-11-22</i> ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В БУДІВНИЦТВІ	155
<i>Горбань Д. А. ДХ-11-22</i> СОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ОКИСНЕНОГО І НЕОКИСНЕНОГО АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ	160

Збірник наукових праць

Секції

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

85-а міжнародна наукова конференція студентів
10-14 квітня 2023 року

Матеріали опубліковано в авторській редакції мовою оригіналу

Відповідальний за випуск С.О. Бугаєвський
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. № 24/04/23, Тираж 60 прим.

Віддруковано ФОП Крамаренко Ю.М.
Свідоцтво про держреєстрацію АБ №815827
Від 22.03.13р.