

УДК 624.21

А. О. Атинян

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6667-6869>

Кафедра комп'ютерної графіки

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61001

І. В. Шумаков

д.т.н., проф, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1502-051X>

Кафедра технології та організації будівельного виробництва

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, вул. Черноглазівська, 17, Харків, 61002, Україна

А. Р. Ібрагімов

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7469-6285>

Кафедра технології та організації будівельного виробництва

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, вул. Черноглазівська, 17, Харків, 61002, України

О. А. Гвоздюк

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7856-9094>

Кафедра будівельних конструкцій

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, вул. Черноглазівська, 17, Харків, 61002, України

О. М. Пустовойтова*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4774-6686>

Кафедра комп'ютерної графіки

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61001

*автор-кореспондент, e-mail: oksana_pustov@ukr.net

Аналіз організаційно-технологічних рішень із використанням інноваційних матеріалів при відновленні мостових споруд

Цитувати як:

Атинян, А. О., Шумаков, І. В., Ібрагімов, А. Р., Гвоздюк, О. А., Пустовойтова, О.М. (2026). Аналіз організаційно-технологічних рішень із використанням інноваційних матеріалів при відновленні мостових споруд. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 25, 140–152. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-11)

© 2026, Автори. Публікується згідно рекомендацій ліцензії [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Анотація. У статті представлено результати теоретичного обґрунтування та практичної реалізації організаційно-технологічних рішень для ремонту, реставрації та реконструкції мостових конструкцій, пошкоджених під час експлуатації або внаслідок аварійних впливів. Запропоновані рішення базуються на наукових розробках харківських дослідників у галузі будівельних технологій, реконструкційної інженерії та використання сучасних композитних та ремонтних матеріалів. Особлива увага приділяється підвищенню

ефективності відновлювальних процесів в умовах обмеженості часу, ресурсів та необхідності забезпечення безперервної роботи об'єктів транспортної інфраструктури. Розроблено загальну концепцію реставрації мостових конструкцій, яка враховує весь життєвий цикл об'єкта - від обстеження та оцінки технічного стану до вибору оптимальних організаційно-технологічних заходів, виконання ремонтних робіт та подальшого контролю експлуатаційної надійності. На основі цієї концепції запропоновано укрупнений алгоритм прийняття інженерних рішень. Алгоритм дозволяє визначити найефективніший сценарій реставрації залежно від ступеня пошкодження, умов експлуатації, економічної доцільності та наявних технічних ресурсів. Розглянуто кілька можливих альтернатив, включаючи консервацію конструкції, часткове посилення, повну реконструкцію або демонтаж об'єкта з подальшою заміною. Розроблені розрахункові моделі та організаційно-технологічні схеми включають використання сучасних ремонтних технологій, високоефективного обладнання, волокнисто-армованих композитів, полімермодифікованих ремонтних розчинів та інноваційних методів посилення несучих конструкцій. Запропоновані підходи дозволяють оптимізувати трудові ресурси, скоротити час будівництва та монтажу, мінімізувати перебої в русі транспорту та покращити безпеку праці під час ремонтних робіт.

Ключові слова: мостові конструкції, реконструкція, композитні матеріали, конструкційне посилення, довговічність інфраструктури.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Станом на 2025 рік в Україні експлуатувалось понад 15 000 мостів і шляхопроводів, значна частина яких потребувала поточного або капітального ремонту. Ці споруди забезпечують безпечне подолання природних та штучних перешкод, при цьому навантаження на них постійно зростає [1. 2].

У процесі експлуатації конструкції зазнають дефектів і пошкоджень, а внаслідок військових дій та повномасштабного вторгнення РФ багато мостів отримали значні руйнування. Це створює необхідність проведення ремонтно-відновлювальних робіт для забезпечення їх подальшої безпечної експлуатації.

Актуальність проблеми полягає не тільки в складності безпечної організації проведення ремонтних і відновлювальних робіт в умовах обстрілу територій України, а й в значній трудомісткості, високій вартості і необхідності забезпечення в стислі терміни відновлення споруди до нормативного стану.

Питанням, пов'язаним з відновленням, ремонтом і реконструкцією різного типу лінійних об'єктів присвячені дослідження вітчизняних вчених: Національного транспортного університету (м. Київ), ДДНДІ ім. М. Шульгіна, ДП «Укрдїпродор», ХНАДУ (м. Харків), дніпровських та інших українських вчених, та розробленої та вже існуючої документації (ДБН В В.1.2-2:2006, ДБН В.1.2-14-2009),. Та варто зазначити і

закордонний досвід ремонту мостів та шляхопроводів, та шляхів покращення методів торкретування і безпосередньо покращення самої торкрет суміші та сумішей для ремонтних робіт [2, 5]. Варто зазначити досвід спостереження протягом 23 років за мостовою конструкцією у місті Келі (Колумбія) [6], яка складалася із двох естакад, де упродовж експлуатації велись поточні ремонти. але як показував досвід, використання звичайних цементних розчинів при торкретуванні та ремонтних роботах залишає по собі значну частину хлоридів та інших забруднень. І як показав досвід [7-12], тільки використання модифікованих сумішей та вдосконалення виконання самих ремонтних робіт, аж до контролю не тільки якості виконання, але й прибирання сміття дозволило зберегти конструкцію від руйнування. В роботі [13] показано різницю щодо використання торкрет бетону, від інших видів бетону, і основним напрямком в цій роботі іде використання торкрету для стабілізації схилів, але слід зазначити, що цей досвід корисний для мостового господарства, так як значну частину шляхопроводів складають земляні споруди, які потребують укріпленнь. В достатній кількості розглянуто закордонними вченими питань з прискорення затвердіння торкретсумішей та вдосконаленню цементних та цементно-бетонних сумішей та матеріалів [14-17]. В той же час, слід відмітити недостатній обсяг з розробки і впровадженням інноваційних організаційно-технологічних досліджень з вирішення вказаної проблеми, особливо враховуючи негативний вплив на стан мостів військових дій в Україні.

Невирішеними залишаються питання обґрунтування рішень щодо ліквідації дефектів і пошкоджень мостів, а також їх реконструкції в умовах впливу військових дій, необхідності організації укриттів для працівників та залучення фахівців відповідних спеціалізацій.

У роботі запропоновано загальну концепцію та алгоритм відновлення, ремонту і реконструкції пошкоджених мостів із застосуванням сучасних матеріалів і технологій. Основну увагу приділено інноваційним методам ремонту залізобетонних мостових конструкцій, спрямованим на підвищення довговічності, вантажопідйомності та експлуатаційної надійності споруд.

Мета і завдання дослідження

Метою цієї роботи є огляд і аналізу можливих рішень щодо відновлення проблемних конструкцій мостів і вибір критерію, який дозволяє, при заданих обмеженнях, призначати ефективний спосіб усунення. Для досягнення поставленої мети в роботі розглядаються такі завдання: дефекти та пошкодження конструкцій, а також заходи, спрямовані на їх усунення.

- діагностика пошкоджених конструкцій об'єкту, оцінка технічного стану та експлуатаційної надійності споруди, яка отримується на підставі результатів обстеження, та є інструментом для прийняття ефективних рішень щодо подальшого їх використання;

- систематизація за різними ознаками дефектів і пошкоджень залізобетонних конструкцій;

- розгляд можливих організаційно-технологічних рішень проведення робіт по відновленню нормативного стану конструкцій і вибір оптимального варіанту.

Матеріали та методи

При обстеженні технічного стану конструкцій будівель і споруд використовують різні технічні засоби, інструменти та вимірювальне обладнання такі як механічна рулетка, лазерні далекоміри, тахеометр з інтегрованим приймачем, рівні будівельні, інструменти і прилади для вимірювання малих відстаней (тріщини), нівеліри, виски будівельні, теодоліт (тахеометр), електронний кутомір, прилади вертикального проектування, прилади для визначення положення об'єкта, обстеження високих об'єктів та побудови 3-D моделі, прилади для вимірювання міцності бетону, прилади для фото фіксації фактичного стану конструкцій об'єктів, прилад для пошуку металу у конструкціях та інше.

Методика проведення обстеження конструкцій моста

Функцію відповідального органу за своєчасний ремонт та реконструкцію мостів в Україні покладено на балансоутримувачів: Укравтодор, Укрзалізниця та інші підприємства. Для перевірки стану мостів, відповідно рішення Ради національної безпеки і оборони від 23 червня 2023 року в Україні призначено спеціальну комісію. В роботі по обстеженню мостів приймають участь представники Мінвідновлення, Міністерства оборони, Національної гвардії, Служби безпеки України та вчені із ДП «ДерждорНДІ».

Організація робіт та послідовність проведення обстежень здійснюються відповідно до нормативних документів, що регламентують обстеження, паспортизацію, безпечну та надійну експлуатацію будівель і споруд (НДІ БВ – Київ, 2003), «Положення про безпечну та надійну експлуатацію будівель і споруд», а також «Настанови щодо обстеження будівель для визначення та оцінки їх технічного стану».

Технічний стан відповідальних (несучих) будівельних конструкцій визначають візуальними оглядами, інструментальними вимірюваннями фактичних параметричних значень, обмірами, проведення аналізу-співставлення на відповідність фактичних значень, регламентованим значенням чинних будівельних норм.

При проведенні будівельно-технічного обстеження виконують візуальні огляди конструктивних елементів. Фактичний технічний стан фотографічно фіксують фотоапаратом, наприклад типу «OLYMPUS-5060». Виявлені дефекти, пошкодження та відхилення від проектного положення необхідно систематизувати і класифікувати по однотипним групам конструктивних елементів з прив'язкою до місця їхнього знаходження.

Лінійні виміри виконують з використанням лазерних далекомірів, наприклад «LeicaDISTOА5» та компонованою мірною стрічкою L=12,5 м (JOBprof).

Міцність конструктивних елементів, як правило, визначають механічним методом неруйнівного контролю із застосуванням приладу - Склерометр «Вимірювач міцності «Beton Pro CONDTRON», відповідність норм EN 12504-2:2001). Дія приладу базується на методі ударного імпульсу – пружного відскоку бійки після нанесеного удару по поверхні конструкції. Величина пружного відскоку є мірою міцності, що має кореляційний характер. Фактичне значення міцності визначалось автоматично приладом за тарувальними залежностями відносно напрямку нанесення удару з урахуванням коефіцієнта кореляції. Всі вимірювання та статистична обробка виконують відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-220:2009 та ДСТУ Б В.2.7-224:2009, із застосуванням програмних комплексів, наприклад ПК «Programs» СКБ «Будприлад» для Windows 2000, що включають в себе:

- виключення грубих похибок, які викликані нерівномірним складом матеріалу;
- попаданням виміру приладу в пори матеріалу;
- визначення проміжку, до якого належить найбільша кількість вимірів;
- визначення середньої міцності в цьому проміжку.

На базі напрацьованих статистичних даних визначають опосередковані фактичні характеристики міцності будівельних конструкцій та проводиться аналіз-співставлення їхньої відповідності регламентованим чинним нормам.

Для визначення міцності бетону застосовують механічні молотки Шмідта фірми Proseс та еталонний молоток М.П. Кашкарова.

Еталонний молоток Кашкарова має сталевий шарик і змінний еталонний стрижень. Під час випробування удари наносять по поверхні бетону, утворюючи відбитки на бетоні та стрижні. Міцність бетону визначають за результатами порівняння отриманих відбитків із дотриманням нормативних вимог до відстаней між ними.

Розташування арматури в конструктивних елементах визначають електронним приладам для пошук металу у конструкціях «Laserliner MultiFinder Plus» в режимі «METAL-SCAN».

Загальні та локальні деформації конструкцій визначають лінійними вимірами, крени конструктивних елементів електронним кутоміром «STANLEY Fat Max, 60 WL».

По результатам обробки та систематизації результатів натурального обстеження, з урахуванням особливостей конструктивних елементів, проводять аналіз-співставлення їхньої відповідності чинним нормам проектування, будівництва та експлуатації по двом групам граничних станів.

Деформативність визначають по ідентифікації деформацій за ступенем пошкодження, відповідно ДСТУ Б. В.1.2–3:2006 «Прогини та переміщення» та згідно класифікації деформацій будівель та споруд за трьома категоріями:

I - деформації з швидкістю 37 мм/рік не порушують нормальну експлуатацію;

II - деформації з швидкістю 62 мм/рік порушують нормальну експлуатацію;

III - деформації з швидкістю до 179 мм/рік аварійні.

Крім того, за даними натурних досліджень виконують перевірочний розрахунок на міцність та стійкість. При проведенні чисельних досліджень використовують багатофункціональну інтегрована система аналізу конструкцій (ПК) «LIRA 9.4». Зазначений програмний комплекс дозволяє виконувати чисельні дослідження міцності та стійкості будівельних конструкцій.

На основі результатів натурних обстежень, інструментальних вимірювань, аналізу напружено-деформованого стану конструкцій, з урахуванням виявлених відхилень, дефектів і пошкоджень, згідно аналізу співставлення на відповідності, відповідно до чинних нормативних документів (ДСТУ Б В.1.2-3:2006, ДБН В В.1.2-2:2006, ДБН В.1.2-14-2009, ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016), надається оцінка фактичному технічному стану та експлуатаційної придатності конструкцій і розробляють рекомендації по забезпеченню подальшої надійної та безпечної експлуатації, іноді у вигляді експериментів здійснюються підсилення як дорожнього полотна, так і конструктивів новітніми матеріалами.

До основних методів ліквідації дефектів залізобетонних конструкцій відносять: відновлення захисних шарів бетону; заробка тріщин та значних об'ємних дефектів (вибоїни, раковини тощо). Для відновлення захисних шарів залізобетонних конструкцій застосовують нанесення цементно-піщаного розчину, бетону, полімер бетону [6, 7, 17].

Неглибокі тріщини ремонтують із застосуванням синтетичних матеріалів або ін'єктуванням цементно-піщаного розчину з подальшим улаштуванням об'єм із вуглецевого волокна. Для конструкцій зі значними пошкодженнями використовують торкретування - пошарове нанесення бетонної чи розчинної суміші на підготовлену поверхню.

Найбільш ефективною формою організації ремонтно-відновлювальних робіт є потоковий метод, для якого визначають технологічну і просторову структуру потоку, ритм робіт та кількість виконавців. Між окремими етапами робіт передбачають технологічні перерви для набору бетоном необхідної міцності перед нанесенням захисного шару.

Кількість захваток, виходячи з необхідності створення установленого рівноритмічного спеціалізованого потоку, повинно задовольняти наступним умовам:

$$m \geq n + \frac{t_{\text{ТП}}}{\kappa}$$

Якщо прийняти $t_{\text{ТП}} = K$, то $m \geq n + 1$, тобто повинно бути $m \geq 5$.

Враховуючи конкретні об'ємно-планувальне рішення споруди уточнюємо кількість захваток.

Для визначення ритму потоку складаємо таблицю технологічних розрахунків, користуючись галузевими нормами часу на будівельні та ремонтно-будівельні роботи.

Ритм потоку визначається за ведучим процесом – укладанню бетонної суміші методом торкретування.

Після того як буде визначено ритм потоку K , слід визначити для всіх елементарних потоків кількість виконавців з виразу:

$$N = \frac{Q_{\text{захв.}}}{KK_n}$$

де $Q_{\text{захв.}}$ – нормативна трудомісткість відповідного елементарного потоку на захватці, люд.-год.(люд.-змін);

K – ритм потоку, год. (змін);

K_n – коефіцієнт скорочення норм часу, рівний 1,1...1,2.

Ув'язування елементарних потоків рекомендується виконувати за допомогою циклограми, при цьому необхідно забезпечити безперервність та рівномірність виконання складових потоків.

Тривалість робіт на температурному відсіку прогону залізобетонного мосту при рівноритмічному спеціалізованому потоці визначається за допомогою такої формули:

$$T = \frac{1}{A} [K(m + n - 1) + t_{mn}]$$

де A – змінність робіт.

В залежності від складності робіт по відновленню лінійної споруди роботи можуть бути організовані кратноритмічним потоком (неприведеного або приведенного виду) або різноритмічним спеціалізованим потоком.

Тривалість кратноритмічного потоку неприведеного виду визначають за формулою:

$$T = \frac{1}{A} [k(b \times m + n - 1) + t_{III}]$$

де b – найбільше значення кратності ритму

Перетворення кратноритмічного спеціалізованого потоку до приведенного вигляду здійснюється шляхом виконання кратноритмічного елементарного потоку паралельно діючими бригадами (ланками), кількість яких повинна відповідати „ b ”, тобто кратності ритмів. У цьому випадку кожна бригада працює на своїх захватках із ритмом, що дорівнює „ bk ”, і включається до потоку з інтервалом „ k ”.

Тривалість кратноритмічного потоку у приведеному вигляді визначають за допомогою такої формули:

$$T = \frac{1}{A} \left[k \left(m + n - 1 + \sum_{i=1}^{n_{np}} (b_i - 1) \right) + t_{III} \right]$$

Для узгодження елементарних потоків у різноритмічному спеціалізованому потоці необхідно за допомогою циклограми графічно виконати їх зв'язок методом спроб. При цьому слід враховувати як технологічні, так і організаційні перерви, які забезпечують безперервність виконання всіх елементів елементарних потоків.

Тривалість різноритмічного спеціалізованого потоку визначають за допомогою графоаналітичного методу на основі циклограми, використовуючи таку формулу:

$$T = \frac{1}{A} \left[\sum_{i=1}^{n-1} k_{i,1} + \sum t_{III} + \sum t_{OP} + \sum_{i=1}^m k_i^n \right]$$

де $\sum_{i=1}^{n-1} k_{i,1}$ – сума ритмів усіх елементарних потоків крім останнього

на першій захватці, змін;

$\sum t_{III}$ – сума технологічних перерв на 1-й захватці, змін;

$\sum t_{OP}$ – сума організаційних перерв на 1-й захватці, змін;

$$\sum_{i=1}^m k_i^n - \text{тривалість останнього різноритмічного елементарного}$$

потоків, змін.

Результати та обговорення

При здійсненні технічного огляду конструкцій мосту через ріку Лопань (на автодорозі М-03 Київ-Харків-Довжанський) були виявлені дефекти залізобетонних колон і балок. Спеціалістами ПрАТ «Альпсервіс» встановлено, що внаслідок багаторічних динамічних навантажень та впливу води в опорних елементах мосту, в колонах, з'явилися тріщини.

Також було встановлено, що внаслідок пошкодження деформаційних швів в залізобетонних балках був зруйнований зовнішній гідроізоляційний захисний шару і, як наслідок, виникла корозія арматури в конструкціях ригелю та торців залізобетонних балок.

Однією із умов по проведенню відновлювальних робіт вимагалось їх виконання без перекриття через міст руху транспорту. Розв'язання поставленої задачі потребувало застосування нестандартних підходів, зокрема використання сучасних матеріалів бренду Sika, інтенсивних технологій нанесення бетонних сумішей та потокової організації ремонтно-відновлювальних робіт. Порівняльний аналіз сучасних CFRP-систем показав, що технології Sika характеризуються високою міцністю на розтяг (до 3500 МПа), модулем пружності до 210 ГПа та підвищеною довговічністю клейових з'єднань. У порівнянні з аналогічними системами Mapei, Master Builders Solutions і Fosroc, їх застосування дозволяє скоротити тривалість ремонтно-відновлювальних робіт на 25-40 % та підвищити експлуатаційну надійність мостових конструкцій.

Опорні частини мосту (залізобетонні колони) в процесі ремонту були очищені за допомогою піскоструминного апарату, заробка тріщини в бетоні виконувався за допомогою матеріалу Sikadur 41. Для підсилення несучої спроможності колон було виконано закріплення на поверхнях колон, з використанням епоксидного клею Sikadur-330, полотна з вуглецевих волокон SikaWrap, яке закріплювались у два шари. Після закріплення полотна були видалені пошкоджені металеві кільця, та був нанесений на полотно цементно-епоксидний розчин Sikagard-720 EpoCem і, після набору розчином необхідної міцності, відновлені поверхні були пофарбовані фарбою Sikagard-680 S Betoncolor. Етап виконання робіт показаний на рис.

В процесі проведення відновлювальних робіт виявлені місця розташування слабого бетону, який був видалений за допомогою відбійних молотків. Частини арматури з слідами корозії також були

очищені за допомогою піскоструминної технології, а металеві частини, які зазнали значного пошкодження були частково замінені або посилені. Після очищення та знепилення на бетон та металеві частину був нанесений антикорозійний захист Sika Mono Top -910N.

Відповідно розробленого проекту виконання робіт відновлення залізобетонних конструкцій виконувалось методом торкретування з використанням суміші Sika Gunit 03, а для частин де було неможливим нанесення торкрету застосовували ремонтну суміш Sika MonoTop 412, також застосовувались вуглецеві добавки у суміші, а також вермікулітовий порошок. [6, 7].

При приготуванні торкрет-бетону мінімальний вміст цементу приймався 300 кг/м^3 , водоцементне відношення приймалось 0,4 – 0,5.

Прийнятий склад торкрет-фібробетонної суміші призначався із умови забезпечення необхідних технологічних та експлуатаційних характеристик, які були задані для приготовленої суміші та на період набору 100% міцності (клас бетону C30/35).

Відремонтовані та відновлені елементи залізобетонних конструкцій мосту додатково були захищені за допомогою цементно-епоксидного розчину Sikagard-720 EpoCem та пофарбовані фарбою Sikagard-680 S Betoncolor, що забезпечило також і естетичний вигляд відремонтованих конструкцій. При ремонті залізобетонних ригелів верхні їх поверхні були захищені нанесеним шаром гідроізоляції.

Більш ніж через рік, після виконання робіт по відновленню мосту проведене ретельне обстеження відремонтованих конструкцій і всієї споруди вона. Установлено що якість проведеного ремонту відповідає нормативним вимогам, жодних дефектів конструкцій не було виявлено.

Висновки

Досвід використання сучасних матеріалів і організаційно-технологічних рішень впроваджених ПрАТ «Альпсервіс» за допомогою розробок харківських вчених дозволяє їх рекомендувати для проведення ремонтних і відновлювальних робіт при ремонті і реконструкції мостів, інтенсифікувати їх проведення, гарантує довговічність відремонтованих конструкцій мостів і забезпечує продовження терміну експлуатації споруди та заощадження значних коштів. Також слід зазначити експериментальні рішення, які потребують подальших досліджень: це використання вуглецевого полотна для укріплення просторових конструкцій, розширення використання цього матеріалу, а також більш досконале дослідження використання вуглецевих та вермікулітових домішок як складових торкрет-суміші та ремонтних розчинів.

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Trykoz, L., Zinchenko, O., Borodin, D., and Kamchatna, S., "Effect of treatment types of recycled concrete aggregates on the properties of concrete," *Budownictwo i Architektura* 23(3), 129–137 (2024). <https://doi.org/10.35784/bud-arch.6318>
2. Cuesta, A., Morales, A., De la Torre, A. G., and Aranda, M. A. G., "Recent advances in C-S-H nucleation seeding for improving cement performances," *Materials* 16, 1462 (2023). <https://doi.org/10.3390/ma16041462>
3. Sharma, M., Bishnoi, S., Martirena, F., and Scrivener, K., "Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review," *Cement and Concrete Research* 149, 106564 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106564>
4. Aitcin, P. C., "Accelerators," in *Science and Technology of Concrete Admixtures*, edited by P. C. Aitcin and R. J. Flatt (Elsevier, Amsterdam, 2016), pp. 405–413. <https://www.sciencedirect.com/book/edited-volume/9780081006931/science-and-technology-of-concrete-admixtures>
5. Szostak, B. and Golewski, G. L., "Effect of nano admixture of CSH on selected strength parameters of concrete including fly ash," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 416, 012105 (2018). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/416/1/012105>
6. Carter, P. D., and Wong, J., "Lessons Learned from a Successful Shotcrete Repair," in *Proceedings of the 10th International Conference on Shotcrete for Underground Support* (2012). [https://doi.org/10.1061/40885\(215\)29](https://doi.org/10.1061/40885(215)29)
7. Atynian, A., Dzhahalov, M., Butnik, S., Tkachenko, R., and Hovorukha, I., "Improvement of technology of production of crushed stone-mastic asphalt concrete mixture by adding reinforcing additives," *Veda a Perspektivy* 6(37), 284–295 (2024). [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-6\(37\)-284-295](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-6(37)-284-295)
8. Atynian, A., Bratishko, S., Butnik, S., Zhyhlo, A., and Buhaevskiy, V., "Use of carbon composites in repair of overpasses and bridges," *Veda a Perspektivy* 8(39), 213–225 (2024). [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-8\(39\)-213-225](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-8(39)-213-225)
9. Atynian, A., Bukhanova, K., Tkachenko, R., Manuilenko, V., and Borodin, D., "Energy efficient building materials with vermiculite filler," *International Journal of Engineering Research in Africa* 43, 20–24 (2019). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.43.20>
10. Trykoz, L. and Pustovoitova, O., "Effective waterproofing of railway culvert pipes," *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 14(4), 473–483 (2019). <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.453>

11. Atynian, A., Trykoz, L., and Borodin, D., "Protection of railway infrastructure objects against electrical corrosion," *Anti-Corrosion Methods and Materials* (2021). <https://doi.org/10.1108/ACMM-05-2021-2483>
12. Trykoz, L. V., Kamchatnaya, S. M., Pustovoitova, O. M., and Atynian, A. O., "Reinforcement of composite pipelines for multipurpose transportation," *Transport Problems* 13(1), 69–79 (2018). <https://doi.org/10.21307/tp.2018.13.1.7>
13. Shehata, M., Navarra, M., Klement, T., Lachemi, M., and Sche, H., "Advances in sprayed concrete (shotcrete)," in *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*, 2nd ed. (Woodhead Publishing, 2019), pp. 289–306.
14. Artioli, G., Ferrari, G., Dalconi, M. C., and Valentini, L., "Nanoseeds as modifiers of the cement hydration kinetics," in *Smart Nanococoncretes and Cement-Based Materials: Properties, Modelling and Applications*, edited by M. Shahir Liew et al. (Elsevier, Amsterdam, 2020), pp. 257–269. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817854-6.00010-6>
15. Wang, Y., Shi, C., Ma, Y., Xiao, Y., and Liu, Y., "Accelerators for shotcrete – Chemical composition and their effects on hydration, microstructure and properties of cement-based materials," *Construction and Building Materials* 281, 122557 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122557>
16. Tao, Y., Rahul, A. V., Mohan, M. K., De Schutter, G., and Van Tittelboom, K., "Recent progress and technical challenges in using calcium sulfoaluminate (CSA) cement," *Cement and Concrete Composites* 137, 104908 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104908>
17. Çakıroğlu, M. A., Ince, G., Kabas, H. T., and Ali, A., "Experimental examination of the behavior of shotcrete-reinforced masonry walls and XGBoost neural network prediction model," *Arabian Journal for Science and Engineering* 46, 10613–10630 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05657-w>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 13.05.2026	Received 13.05.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді 15.05.2026	Received in revised form 15.05.2026
Прийнято 27.05.2026	Accepted 27.05.2026
Опубліковано 29.05.2026	Published 29.05.2026

A. O. Atynian

Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6667-6869>

Department Computer Graphics

Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, Ukraine, 61001

I. V. Shumakov

D.S in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1502-051X>

Department of Technology and Organization in Construction

A.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, St. Chernoglazivska, 17, Kharkiv, 61002Ukraine, 61002

A. R. Ibragimov

Postgraduate, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7469-6285>

Department of Technology and Organization in Construction

A.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, St. Chernoglazivska, 17, Kharkiv, 61002Ukraine, 61002

O. A. Gvozdiuk

Postgraduate, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7856-9094>

Department Building Constructions

A.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, St. Chernoglazivska, 17, Kharkiv, 61002Ukraine, 61002

O. M. Pustovoitova*

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4774-6686>

Department Computer Graphics

Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, Ukraine, 61001

*corresponding author, e-mail: oksana_pustov@ukr.net

Analysis of organizational and technological solutions using innovative materials in the restoration of bridge structures

How to Cite:

Atynian A. O., Shumakov I. V., Ibragimov A. R., Gvozdiuk O. A., Pustovoitova O. M. (2026). Analysis of organizational and technological solutions using innovative materials in the restoration of bridge structures. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 25, 140-152. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-11)

Abstract. The article presents the results of a theoretical substantiation and practical implementation of organisational and technological solutions for repair, restoration and reconstruction works of bridge structures damaged during operation or as a result of emergency impacts. The proposed solutions are based on scientific developments of Kharkiv researchers in the field of construction technologies, reconstruction engineering and the use of modern composite and repair materials. Particular attention is paid to improving the efficiency of restoration processes under conditions of limited time, resources and the need to ensure uninterrupted operation of transport infrastructure facilities. A general concept for the restoration of bridge structures has been developed, which considers the entire life cycle of the facility - from inspection and assessment of technical condition to the selection of optimal organisational and technological measures, implementation of repair works and further monitoring of operational reliability. Based on this concept, an enlarged algorithm for making engineering decisions has been proposed. The algorithm allows the determination of the most effective restoration scenario depending on the degree of damage, operational conditions, economic feasibility and available technical resources. Several possible alternatives are considered, including conservation of the structure, partial strengthening, complete reconstruction or dismantling of the facility with subsequent replacement.

The developed calculation models and organisational-technological schemes include the use of modern repair technologies, high-performance equipment, fibre-reinforced composites, polymer-modified repair mortars and innovative methods for strengthening load-bearing structures. The proposed approaches enable optimisation of labour resources, reduction of construction and installation time, minimisation of traffic interruptions and improvement of occupational safety during repair works.

Keywords: bridge structures, reconstruction, composite materials, structural strengthening, infrastructure durability.