

АНОТАЦІЯ

Бендерський С.О. Технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин.
– Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (19 – Архітектура та будівництво). – Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА) України, Київ, 2026.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню задачі відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених тріщинами кам'яних конструкцій будівель та споруд. Дана задача вирішується ін'єктуванням тріщин полімерним, або цементним матеріалом шляхом підготовки основи, зачеканки тріщини, заповнення її наповнювачем (за потреби), встановленням пакерів, ін'єктуванням ремонтного матеріалу, зрізанням пакерів та відновленням опорядження. Така технологія можлива до застосування як для стін із повнотілих так і порожнистих каменів

Аналізом науково-технічної літератури встановлено, що рішення з ремонту кам'яної кладки з тріщинами, яке б дозволило ефективно та економічно обґрунтовано відновити її структурну цілісність як для стін зведених із повнотілих, так і порожнистих елементів відсутнє.

У **вступі** обґрунтовано актуальність тематики дисертаційного дослідження, встановлено мету і завдання роботи, встановлено предмет і об'єкт дослідження, визначено методи дослідження, встановлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, виокремлено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** дисертаційного дослідження виконано визначення переліку чинників, що призводять до виникнення дефектів та пошкоджень кам'яних конструкцій, які виокремлено у дві групи: чинники тривалої дії – нерівномірне осідання основи/ фундаменту; температурні впливи/температурні деформації; замокання та підвищення вологості; використання неякісних матеріалів; помилки допущені при зведенні будівлі; біологічні впливи; корозія конструкцій (в тому числі і для армованих конструкцій); помилки при

експлуатації; понаднормові навантаження; чинники короткотривалої дії – сейсмічні та динамічні впливи; військові дії (ударні хвилі від вибухів, пожежі, осколкові пошкодження). На основі аналізу технічних звітів із обстеження пошкоджених будівель та споруд встановлено найбільш поширене пошкодження таких конструкцій – це тріщини різного просторового положення, ширини розкриття, довжини та ін.

Аналізом науково-технічної літератури виокремлено перелік технологій відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених будівельних конструкцій з тріщинами шляхом їх ремонту/ підсилення. Встановлено, що найбільш поширеною є технологія ремонту тріщин їх ін'єктуванням, яка може бути застосована як самостійна, так і у комплексі з суміжними методами. Подальші дослідження присвячені саме цій технології.

Проаналізовано технологічні чинники, що мають вплив як на технологію виконання ремонтно-відновлювальних робіт, так і на якість виконаних робіт. До таких віднесено: вологість основи; підготовка основи; температура навколишнього середовища; густина ремонтних матеріалів.

У результаті встановлено, що для ремонту тріщин конструкцій виконаних із повнотілих елементів існує значна кількість технологій. Але при цьому в науково-технічній літературі не у повній мірі висвітлено вплив технологічних чинників на технологію ремонтно-відновлювальних робіт ін'єктуванням тріщин. Слід відмітити, що дослідження та рішення на ремонт конструкцій стін з тріщинами зведеними з порожнистих елементів чи керамічних блоків їх ін'єктуванням взагалі відсутні. Тому, встановлена потреба у розробці удосконаленої технології ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами шляхом дослідженні впливу найбільш вагомих технологічних чинників на технологію ремонтно-відновлювальних робіт та їх якість як на конструкціях із повнотілих елементів так із керамічних блоків чи порожнистої цегли.

У другому розділі методом експертних оцінок встановлено важливість технологічних чинників, що мають вплив на технологію виконання ремонтно-відновлювальних робіт. У подальшому з урахуванням думки експертів за методом приписування балів виконано розрахунки та встановлено їх

пріоритетність. Для перевірки отриманих даних виконано розрахунок за методом попарних порівнянь. Відповідно до результатів розрахунків пріоритетності чинників виокремлено перелік чинників, що були враховані в подальших експериментальних дослідженнях, а саме: якість підготовки основи; вид ремонтного матеріалу; геометричні параметри тріщин; напрямок ін'єктування; вид матеріалу конструкцій; спосіб влаштування пакера.

З урахуванням наведеного виконано розробку загальної методики дисертаційного дослідження, завдання якої полягає у структуруванні всього обсягу дисертаційної роботи, виконанні комплексу теоретичних та експериментальних досліджень, їх аналізі, обробці отриманих результатів, що у кінцевому результаті дозволить виокремити її ключові етапи та виконати розробку вдосконаленої технології ремонту стін з тріщинами, надати практичні рекомендації щодо її впровадження. Загальна методика дослідження містить перелік способів експериментальних досліджень з урахуванням виокремлених технологічних чинників, що мають вплив на технологію виконання робіт. Методикою передбачено, що усі експериментальні дослідження будуть виконані у лабораторних умовах та в подальшому апробовані на будівельних об'єктах. Для виконання експериментальних досліджень підібрано будівельні матеріали, конструкції (елементи) з яких буде виконано дослідні зразки; обрано ремонтні суміші (полімерні та цементні); наведено перелік обладнання, що буде використано при проведенні досліджень.

У третьому розділі дисертаційної роботи виконано дослідження технології ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин з урахуванням виокремлених чинників. У першу чергу розроблено методику експериментальних досліджень, що включала чотири етапи, на кожному з яких було досліджено вплив окремих чинників на технологію ремонту чи якість відремонтованих конструкцій.

На *першому етапі* досліджено вплив способу підготовки основи конструкції (повнотілої цегли) на міцність зчеплення з нею ремонтних матеріалів. У результаті встановлено, що при використанні цементних ремонтних матеріалів обов'язковою умовою є достатнє зволоження основи для уникнення

передчасного висушування матеріалу за рахунок капілярного всмоктування вологи тілом конструкції. Середнє значення міцності зчеплення матеріалів з основою складає для Stabilcem 0,53 МПа, для Microcem 0,68 МПа. Застосування спеціальних адгезивних матеріалів дозволяє збільшити значення міцності зчеплення цементних матеріалів з основою майже у два рази. Середнє значення міцності зчеплення з основою полімерних матеріалів складає: для Едмок ін'єкційний без підготовки – 0,585 МПа, з Консолід 1 – 1,53 МПа, для матеріалу Ероjet без підготовки – 2,02 МПа, з Консолід 1 – 2,06 МПа.

На *другому етапі* досліджували ефективність додавання наповнювачів до ремонтних матеріалів для зниження техніко-економічних показників технології. Для цього визначали міцності зчеплення ремонтних матеріалів з наповнювачами з основою повнотілої цегли. У якості наповнювачів використали: тальк; карбонат кальцію; аеросил; пісок середньої крупності річковий. Виконаними дослідженнями встановлено, що для матеріалу Stabilcem спостерігається збільшення міцності зчеплення на 62 % при додаванні карбонату кальцію, а при додаванні піску міцність зчеплення навпаки зменшується на 63 %. Максимальне збільшення міцності зчеплення ремонтного матеріалу Едмок ін'єкційний спостерігається при додаванні піску (20 % від маси) та складає 286 %, при додаванні інших наповнювачів міцність зчеплення мала незначне збільшення. При додаванні наповнювачів до матеріалів Ероjet та Microcem спостерігалось зменшення міцності зчеплення. У загальному встановлено, що додавання наповнювачів до ремонтних матеріалів можливе і в окремих випадках міцність зчеплення з основою може бути збільшена у кілька разів. Однак, перед використанням наповнювачів варто на початковому етапі виконати пробні випробування.

На *третьому етапі* досліджували розтічність ремонтного матеріалу по умовній тріщині залежно від виду матеріалу конструкції. Для цього було змуровано кам'яні стінки (з повнотілої та порожнистої цегли і керамічних блоків) з оргсклом, що дозволяло контролювати розповсюдження ремонтного матеріалу по умовній тріщині. Виконані дослідження дозволили встановити наступні параметри: висоту підйому матеріалу залежно від ширини та довжини умовної

тріщини і типу елементів з яких зведено конструкцію; тиск ін'єктування матеріалу залежно від його виду; спосіб ін'єктування матеріалу – ін'єкційний насос, або ручний насос. За результатами таких досліджень обґрунтовано крок ін'єкційних пакерів залежно від виду ремонтного матеріалу. Так, при використанні цементних матеріалів по типу Stabilcem рекомендовано виконувати крок ін'єкційних пакерів 30-40 см, при використанні полімерних матеріалів по типу Едмок ін'єкційний чи Ероjet крок пакерів може бути 35-45 см. Додатковими дослідженнями встановлено можливість попереднього заповнення тріщини кварцовим піском з подальшим ін'єктуванням полімерної композиції, що дозволило зменшити обсяг вартісного ремонтного матеріалу та при цьому забезпечити достатні міцнісні показники.

На *четвертому етапі* досліджень встановлено ефективність ремонтних робіт шляхом перевірки міцності на згин відремонтованих цегляних стовпів із повнотілої цегли залежно від ширини розкриття тріщини, способу влаштування у них ін'єкційних пакерів та наявності наповнювача. Дослідження полягало у: прикладанні до нових зразків руйнівних зусиль для їх розламування навпіл з фіксацією значень; зачekanці утвореної тріщини; заповненні частини (половини) зразків (тріщин) кварцовим піском; ін'єктуванні ремонтних матеріалів; повторному прикладанні руйнівних зусиль до відрновлених зразків; обробці отриманих значень. Дослідженнями встановлено, що при ін'єктуванні полімерних матеріалів Едмок ін'єкційний та Ероjet вдалося досягнути збільшення міцності на згин відремонтованих зразків, як при заповненні тріщини наповнювачем так і без нього. Так, для стінок відремонтованих матеріалом Едмок ін'єкційний міцність збільшилася на 82,5 % та 74,9 % при ін'єктуванні у порожні тріщини та з наповнювачем, відповідно; при ремонті матеріалом Ероjet міцність зросла на 215 % та 61 % при ін'єктуванні у порожні тріщини та з наповнювачем, відповідно. Слід відмітити, що при повторному прикладанні руйнівного зусилля нові тріщини утворилися паралельно склесним. При ремонті тріщин ін'єктуванням матеріалу Stabilcem вдалося заповнити тільки пусті тріщини, при цьому міцність зросла на 25,6 %. В усіх випадках при повторному прикладанні руйнівних зусиль зразки

відремонтовані цементними матеріалами розламувалися вздовж відремонтованої тріщини.

У четвертому розділі, враховуючи результати аналізу науково-технічної та нормативної літератури щодо ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами, а також виконаних експериментальних досліджень, було удосконалено існуючу технологію ремонту кам'яних конструкцій ін'єктуванням тріщин, що дозволить виконати структурне відновлення пошкодженої кладки, відновить її міцнісні показники, при цьому дозволить знизити техніко-економічні показники порівняно з класичними методами ремонту.

Загалом удосконалена технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин, складається із наступних технологічних процесів: підготовка матеріалів та обладнання; встановлення риштувань (за необхідності); демонтаж опорядження вздовж тріщини; очищення тріщини та конструкції від незв'язного матеріалу та пилу; розмітка місць та буріння отворів; зачеканка тріщини; заповнення тріщини наповнювачем (за потреби); влаштування пакерів; зволоження тіла конструкції (за умови використання цементних матеріалів); приготування ремонтного розчину; його ін'єктування у тріщину; додаткове ін'єктування; витримування технологічної перерви; видалення пакерів; зачеканка отворів; відновлення опорядження; розбирання риштувань/інвентарних підмостів (за їх наявності). За умови використання полімерних матеріалів доцільно застосовувати сталевий механічний пакер, який можна влаштувати у тріщину при її ширині розкриття більше 10 мм, або ж у пробурені отвори. При використанні цементних матеріалів потрібно використовувати пластикові пакери. Також можливий варіант застосування пакерів, що наклеюються.

Для встановлення техніко-економічної обґрунтованості удосконаленої технології ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами виконано її техніко-економічне порівняння з класичною технологією. Розрахунками встановлено, що класична технологія ремонту тріщин цементними матеріалами у всіх розрахунках є найбільш тривалою, трудомісткою та вартісною, а удосконалена технологія ремонту тріщин з їх попереднім заповненням кварцовим піском та ін'єктуванням полімерною композицією дозволяє зменшити тривалість робіт у

1,25 рази для повнотілої цегли і у 1,32 рази – для керамічних блоків, трудомісткість зменшується у 1,63 та 1,86 рази відповідно. При цьому вартість матеріалів для ремонту конструкцій із повнотілих елементів менше у 2 рази та у 2,28 рази для конструкцій із керамічних блоків, а вартість виконання ремонту нижча у 1,42 та 1,54 рази відповідно.

Розроблена удосконалена технологія ремонту кам'яних конструкцій ін'єктуванням тріщин була апробована на 5-ти об'єктах будівництва, а саме закладах освіти у Житомирській та Одеській областях, що підтверджено двома довідками про впровадження результатів наукового дослідження. У загальному, застосування технології дозволило скоротити тривалість ремонтно-відновлювальних робіт та зменшити їх загальну кошторисну вартість.

Ключові слова: кам'яна кладка, позапроектні впливи (військові дії), обстеження, пошкодження, тріщини, ін'єктування, цементні та полімерні ремонтні матеріали, технологічні чинники, ремонт, реконструкція, відновлення, методика, будівельні процеси, трудомісткість, техніко-економічні показники.