

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БЕНДЕРСЬКИЙ СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 69:666.9:693

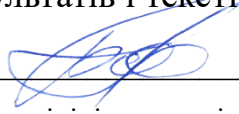
ДИСЕРТАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ КАМ'ЯНИХ СТІН ІН'ЄКТУВАННЯМ ТРИЩИН

Спеціальність: 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Галузь знань: 19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

 С. О. Бендерський
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Молодід Олександр Станіславович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Київ – 2026

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; зачеканці утвореної тріщини; заповненні частини (половини) зразків (тріщин) кварцовим піском; ін'єктуванні ремонтних матеріалів; повторному прикладанні руйнівних зусиль до відновлених 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 склеєним. 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.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Список публікацій здобувача, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. O. Molodid, O. Molodid, I. Musiiaka, S. Benderskyi, O. Kozakova, A. Dmytrenko, P. Bigaj. Condition Survey and Recommendations Regarding the Repair of the Facades of the Historical Building in the Besarabskyi Quarter in Kyiv. *International Journal of Conservation Science*. – 2023. – Vol. 14, Issue 3. – P. 955-968. – DOI: 10.36868/IJCS.2023.03.11 (стаття входить у бази даних Scopus та Web of Science (Q1-Q3)).

Особисто автором виконано аналіз дефектів та пошкоджень будівельних конструкцій будівлі та аналіз існуючих способів ремонту подібних пошкоджень для надання рекомендацій на виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

2. Молодід О.С., Плохута Р.О., Молодід О.О., Бендерський С.О. (2024). Аналіз технологій ремонту тріщин кам'яних конструкцій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 1(54), 70–81. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).70-81](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).70-81) (фахове видання категорії «Б»).

Особисто автором проаналізовано відомі технології ремонту та підсилення тріщин кам'яних конструкцій з виокремленням таких, що можуть застосовуватися при ремонті чи закріпленні тріщин, які утворилися унаслідок позапроектних впливів.

3. O. Molodid, V. Skochko, R. Plokhuta, O. Molodid, I. Musiiaka, S. Benderskyi, S. Bogdan. Modern Restoration Methods For Damaged Historical Buildings As A Result of Military Aggression. Case of Educational Institutions. *International Journal of Conservation Science*. Volume 15, Special Issue 1, 2024: 205-220. DOI: 10.36868/IJCS.2024.SI.17 (стаття входить у бази даних Scopus та Web of Science (Q1-Q3)).

Особисто автором виконано систематизацію типових дефектів та пошкоджень будівельних конструкцій, що зазнали впливу внаслідок дії позапроектних впливів, та виконано підбір основних технологій для їх відновлення.

4. Молодід О.С., Бендерський С. О. Оцінка важливості технологічних чинників при відновленні кам'яних конструкцій з тріщинами. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. Вип. 56 (1), 2025. 208-218 DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).208-218](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).208-218) (фахове видання категорії «Б»).

Особисто автором виконано розрахунок важливості технологічних чинників за методом приписування балів та методом попарного порівняння отримані за методом експертних оцінок.

5. O. Molodid, S. Benderskyi, R. Plokhuta, I. Musiiaka. A research on repair technologies for cracked brick structures using injection. *Transfer of innovative technologies*. Vol. 10 No. 1 (2026) <https://doi.org/10.32347/tit.2026.10.01.04> (фахове видання категорії «Б»).

Особисто автором виконано експериментальні дослідження розтікання ремонтного матеріалу по умовній тріщині в конструкції з порожнистої цегли та керамічних блоків для можливості застосування технології ін'єктування для відновлення структурної цілісності такої кладки. Виконано дослідження спрямовані на визначення доцільності застосування полімерних композицій для заповнення тріщин з шириною розкриття більше 3 мм з попереднім заповненням тріщини наповнювачем. Виконано обробку результатів досліджень.

6. O. Molodid, S. Benderskyi, R. Plokhuta, S. Bogdan, V. Skochko, Y. Novak, K. Sluchocka. Assessment of crack injection methods in the restoration of historic brick buildings. *International Journal of Conservation Science*. Volume 17, Issue 3, 2026: 853-866. DOI: 10.36868/IJCS.2026.03.02 (стаття входить у бази даних Scopus та Web of Science (Q1-Q3)).

Особисто автором виконано експериментальні дослідження з технології ремонту тріщин ремонтними матеріалами ін'єктуванням. Виконано аналіз результатів досліджень.

Список публікацій здобувача, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. O. Molodid, O. Molodid, I. Musiiaka, S. Benderskyi, O. Kozakova, A. Dmytrenko, P. Bigaj. Condition Survey and Recommendations Regarding the Repair of the Facades of the Historical Building in the Besarabskyi Quarter in Kyiv. *Proceedings of the 15th Edition of EUROINVENT 2023 European exhibition of creativity and innovation*. Vol. 15. P. 206. ISSN Print: 2601-4564 Online: 2601-4572.

Особисто автором проаналізовано пошкодження будівельних конструкцій та аналіз способів ремонту подібних пошкоджень для надання рекомендацій на виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

2. О Молодід, І Мусіяка, С. Бендерський. Потреба у відновленні будівельних конструкцій пошкоджених внаслідок позапроектних впливів. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем. XIII міжнародна науково-практична конференція. Т.2., 2023 с. 127.*

Особисто автором встановлена необхідність виконання комплексу ремонтно-відновлювальних робіт конструкцій будівель та споруд, що зазнали пошкоджень внаслідок позапроектних впливів.

3. Молодід О. С., Бендерський С. О. Відновлення кам'яних конструкцій пошкоджених унаслідок позапроектних впливів. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної on-line конференції «Проблеми будівельного та транспортного комплексів».* М. Кропивницький, 23-24 травня 2023 р. С. 92-94.

Особисто автором систематизовано пошкодження будівельних конструкцій внаслідок дії позапроектних впливів, виокремлено технології ремонту, що можуть бути використані при їх відновленні.

4. Молодід О. С., Бендерський С. О. Аналіз наявних методів ремонту кам'яних конструкцій. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології», Київ, 2023.*

Особисто автором проаналізовано відомі методи ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами для виокремлення таких, що можуть бути застосовані для вирішення конкретних питань.

5. Молодід О.С., Бендерський С.О. Особливості ремонту тріщин кам'яних конструкцій. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Будівництво, Дизайн: Технологія, Енергетика, Менеджмент» (Київ, 16-17 жовтня, 2024 р.)* К.: КНУБА, 2024 – С. 128-129.

Особисто автором виокремлено технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій залежно від їх геометричних параметрів (ширини розкриття).

6. Молодід О.С., Бендерський С.О. Оцінка впливу чинників на відновлення кам'яних конструкцій з тріщинами. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент» (Київ, 24-25 листопада, 2025 р.)* К.: КНУБА, 2024 – С. 114-115.

Особисто автором виконано обробку результатів розрахунку визначення результуючого вектору пріоритету. Встановлено перелік технологічних чинників, що можуть мати вплив на технологію ремонту тріщин кам'яних конструкцій ін'єктуванням.

7. O. Molodid, S. Benderskyi, R. Plokhuta, S. Bogdan, V. Skochko, Y. Novak, K. Sluchocka. Assessment of Crack Injection Methods in the Restoration of Historic Brick Buildings. *EUROINVENT ICIR 2026. International Conference on Innovative Research. Iasi, 28th–29th of May 2026.*

Особисто автором виокремлено технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій, що можуть бути застосовані на історичних будівлях.

Список публікації здобувача, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. О. С. Молодід, Р. О. Плохута, О. О. Молодід, І. В. Мусіяка, С. О. Бендерський, В. М. Семенов. Типова технологічна карта «Відновлення кам'яних конструкцій». 2023. 81 с.

Особисто автором виконано аналіз дефектів та пошкоджень кам'яної кладки. Виконано класифікацію способів відновлення кладки, способів опорядження кам'яних конструкцій та способів влаштування гідробар'єру.

ABSTRACT

Benderskyi S.O. Technology for repairing masonry walls by crack injection. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

The dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 “Construction and Civil Engineering” (19 – Architecture and Construction). – Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv, Ukraine, 2026.

The dissertation is devoted to the problem of restoring the serviceability of cracked masonry structures of buildings and structures. This is achieved by injecting cracks with polymer-based or cement-based materials through a sequence of operations including substrate preparation, crack sealing, filling the crack with a filler (if required), installation of injection packers, injection of the repair material, removal of the packers, and restoration of the surface finish. This technology can be applied to walls constructed of both solid and hollow masonry units.

An analysis of the scientific and technical literature has established that there is currently no masonry repair solution for cracked walls that would enable their structural integrity to be restored effectively and in an economically justified manner for walls constructed of both solid and hollow masonry units.

The introduction substantiates the relevance of the dissertation research topic, defines the aim and objectives of the study, identifies the subject matter and the object of the research, determines the research methods, establishes the scientific novelty and practical significance of the results obtained, and outlines the personal contribution of the author.

In **the first chapter** of the dissertation, the factors leading to the occurrence of defects and damage to masonry structures were identified and classified into two groups: long-term factors – differential settlement of the subsoil/foundation; temperature effects and thermal deformations; water ingress and increased moisture content; use of low-quality materials; errors made during construction; biological effects; corrosion of structures (including reinforced structures); operational errors; excessive loads; short-term factors: seismic and dynamic effects; military actions (blast waves, fires, and fragmentation damage). Based on an analysis of technical inspection reports of damaged buildings and structures, the most

common type of damage to such structures was identified as cracks of various spatial orientations, widths, lengths, and other characteristics.

An analysis of scientific and technical literature identified a range of technologies for restoring the serviceability of damaged building structures with cracks through repair and/or strengthening. It was established that the most common technology is crack repair by injection, which can be applied either as a standalone method or in combination with other complementary methods. Further research is focused specifically on this technology.

The technological factors affecting both the execution of repair and restoration works and the quality of the works performed were analyzed. These factors include substrate moisture content, substrate preparation, ambient temperature, and the density of repair materials.

As a result, it was established that a considerable number of technologies are available for repairing cracks in structures constructed of solid masonry units. However, the scientific and technical literature does not provide a comprehensive assessment of the influence of technological factors on the technology of repair and the restoration works involving crack injection. It should be noted that studies and repair solutions based on the injection of cracks in wall structures constructed of hollow masonry units or ceramic blocks are entirely absent. Therefore, the need was established to develop an improved technology for repairing cracked masonry structures by investigating the influence of the most significant technological factors on the technology and quality of repair and restoration works, both for structures constructed of solid masonry units and for those constructed of ceramic blocks or hollow bricks.

In **the second chapter**, the importance of technological factors affecting the execution of repair and restoration works was determined using the expert assessment method. Subsequently, taking into account the experts' opinions, calculations were performed using the scoring method, and the priority of the factors was established. To verify the obtained results, calculations were also performed using the pairwise comparison method. Based on the results of the factor prioritization, a set of factors was identified for consideration in further experimental studies, namely: quality of substrate preparation; type of repair material; geometric parameters of cracks; direction of injection; type of structural material; and method of installing the injection packer.

Taking the above into account, a general methodology for the dissertation research was developed. Its purpose is to structure the entire scope of the dissertation, conduct a set of theoretical and experimental studies, analyze and process the results obtained, which ultimately makes it possible to identify the key stages of the research, develop an improved technology for repaired cracked walls, and provide practical recommendations for its implementation. The general research methodology includes a set of experimental research methods that take into account the identified technological factors affecting the execution of the works. The methodology provides for all experimental studies to be carried out under laboratory conditions, followed by their validation on construction sites.

For the experimental studies, appropriate construction materials and structural elements were selected for the preparation of test specimens; repair compounds, including polymer and cement-based materials, were selected; and the equipment to be used during the experiments was specified.

In **the third chapter** of the dissertation, the technology for repairing masonry walls by crack injection was investigated with consideration of the identified factors. First, an experimental research methodology was developed, comprising four stages. At each stage, the influence of specific factors on the repair technology or the quality of the repaired structures was investigated.

At the first stage, the influence of the method of preparing the structural substrate (solid brick masonry) on the bond strength of repair materials to the substrate was investigated. The results showed that, when cement-based repair materials are used, sufficient pre-wetting of the substrate is essential to prevent premature drying of the material due to capillary absorption of moisture by the masonry. The average bond strength between the repair materials and the substrate was 0.53 MPa for Stabilcem and 0.68 MPa for Microcem. The use of special adhesive materials makes it possible to increase the bond strength of cement-based materials to the substrate by almost two times. The average bond strength of polymer-based materials to the substrate was as follows: for Edmok Injection, 0.585 MPa without substrate preparation and 1.53 MPa with Consolidate 1; for Epojet, 2.02 MPa without substrate preparation and 2.06 MPa with Consolidate 1.

At the second stage, the effectiveness of adding fillers to repair materials was investigated with the aim of reducing the technical and economic costs of the repair technology. For this purpose, the bond strength of repair materials containing fillers to a solid-brick substrate was determined. The following fillers were used: talc, calcium carbonate, Aerosil, and medium-grained river sand. The studies showed that, for Stabilcem, the addition of calcium carbonate resulted in a 62% increase in bond strength, whereas the addition of sand, conversely, reduced the bond strength by 63%. The maximum increase in the bond strength of Edmok Injection was observed when sand was added at 20% by mass, resulting in a 286% increase. The addition of other fillers resulted in only a slight increase in bond strength. The addition of fillers to Epojet and Microcem resulted in a decrease in bond strength. In general, it was established that fillers can be added to repair materials and, in some cases, can increase the bond strength to the substrate several times. However, before using fillers, preliminary trial tests should be carried out.

At the third stage, the flowability of the repair material along a simulated crack was investigated depending on the type of structural material. For this purpose, masonry wall specimens constructed of solid and hollow bricks and ceramic blocks were built with sections of acrylic glass, which made it possible to monitor the propagation of the repair material along the simulated crack. The studies made it possible to determine the following parameters: the height of material rise depending on the width and length of the simulated crack and the type of masonry units from which the structure was constructed; the injection pressure of the material depending on its type; and the method of material injection, using either an injection pump or a manual pump. Based on the results of these studies, the spacing of injection packers was substantiated depending on the type of repair material. When cement-based materials such as Stabilcem are used, an injection packer spacing of 30-40 cm is recommended. When polymer-based materials such as Edmok Injection or Epojet are used, the packer spacing can be 35-45 cm.

Additional studies established the feasibility of pre-filling the crack with quartz sand followed by injection of a polymer composition. This approach makes it possible to reduce the amount of costly repair material while maintaining sufficient strength characteristics.

At *the fourth stage* of the research, the effectiveness of the repair works was determined by testing the flexural strength of repaired solid-brick masonry columns, depending on the crack width, the method of installing the injection packers, and the presence of filler. The study involved the following procedures: applying destructive loads to new specimens to split them into two parts, with the corresponding values recorded; sealing the resulting crack; filling part of the specimens (cracks) with quartz sand; injecting the repair materials; reapplying destructive loads to the repaired specimens; and processing the obtained data. The studies established that the use of the polymer-based materials Edmok Injection and Epojet resulted in an increase in the flexural strength of the repaired specimens, both with and without crack filling with a filler. For specimens repaired with Edmok Injection, the flexural strength increased by 82.5% and 74.9% when the material was injected into empty cracks and cracks containing filler, respectively. For specimens repaired with Epojet, the flexural strength increased by 215% and 61% when the material was injected into empty cracks and cracks containing filler, respectively. It should be noted that, when the destructive load was reapplied, new cracks formed parallel to the bonded cracks. When repaired cracks by injection with Stabilcem, only empty cracks could be filled, resulting in a 25.6% increase in flexural strength. In all cases, when destructive loads were reapplied, specimens repaired with cement-based materials failed along the repaired crack.

In **the fourth chapter**, based on the results of the analysis of scientific, technical, and regulatory literature on the repair of cracked masonry structures, as well as the results of the experimental studies performed, the existing technology for repairing masonry structures by crack injection was improved. The improved technology makes it possible to restore the structural integrity of damaged masonry and its characteristics while reducing the technical and economic costs compared with conventional repair methods.

In general, the improved technology for repairing masonry walls by crack injection comprises the following technological operations: preparation of materials and equipment; installation of scaffolding, if necessary; removal of the surface finish along the crack; cleaning the crack and the structure from loose material and dust; marking the locations and drilling holes; sealing the crack; filling the crack with a filler, if required; installation of injection packers; pre-wetting of the masonry, when cement-based materials are used;

preparation of the repair material; injection of the repair material into the crack; additional injection; allowing the required curing interval; removing all the packers; sealing the drill holes; restoration of the surface finish; and dismantling the scaffolding or temporary work platforms, if used.

When polymer-based materials are used, it is advisable to use a steel mechanical packer, which can be installed directly into a crack with a crack opening width greater than 10 mm or inserted into pre-drilled holes. When cement-based materials are used, plastic packers should be used. Adhesive-mounted packers may also be used.

To establish the technical and economic feasibility of the improved technology for repairing cracking masonry structures, a technical and economic comparison with the conventional technology was performed. The calculations demonstrated that the conventional technology for repairing cracks with cement-based materials was the most time-consuming, labor-intensive, and costly option in all cases considered. The improved technology, involving preliminary filling of the cracks with quartz sand followed by injection of a polymer-based composition, makes it possible to reduce the duration of the works by a factor of 1.25 for solid-brick masonry and by a factor of 1.32 for ceramic blocks. Labor intensity is reduced by factors of 1.63 and 1.86, respectively. At the same time, the cost of materials for repairing structures made of solid masonry units is reduced by a factor of 2.0, and by a factor of 2.28 for the structures made of ceramic blocks. The overall cost of the repair works is reduced by factors of 1.42 and 1.54, respectively.

The developed improved technology for repairing masonry structures by crack injection was validated at five construction sites, namely educational institutions in Zhytomyr and Odesa regions. This is confirmed by two certificates documenting the implementation of the research results. In general, the application of the technology made it possible to reduce the duration of repair and restoration works and decrease their overall estimated cost.

Keywords: masonry; non-design impacts (military actions); inspection; damage; cracks; injection; cement-based and polymer-based repair materials; technological factors; repair; reconstruction; restoration; methodology; construction processes; labor intensity; technical and economic indicators.

LIST OF THE CANDIDATE'S PUBLICATIONS

List of the candidate's publications presenting the main scientific findings of the dissertation:

1. Molodid O., Molodid O., Musiiaka I., Benderskyi S., Kozakova O., Dmytrenko A., Bigaj P. Condition Survey and Recommendations Regarding the Repair of the Facades of the Historical Building in the Besarabskyi Quarter in Kyiv. *International Journal of Conservation Science*. – 2023. – Vol. 14, Issue 3. – P. 955-968. – DOI: 10.36868/IJCS.2023.03.11 (The article is indexed in the Scopus and Web of Science databases (Q1-Q3)).

The author personally performed an analysis of defects and damage to the building structures and an analysis of existing methods for repairing similar damage in order to provide recommendations for repair and restoration works.

2. Molodid O., Plokhuta R., Molodid O., Benderskyi S. Analysis of technologies for repairing cracks in masonry structures. *Ways to improve construction efficiency*. 2024. No.1(54). P. 70-81. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).70-81](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).70-81) (Professional publication of Category “B”).

The author personally analyzed existing technologies for repairing and strengthening cracks in masonry structures, identifying those that can be applied to the repair or stabilization of cracks caused by non-design impacts.

3. Molodid O., Skochko V., Plokhuta R., Molodid O., Musiiaka I., Benderskyi S., Bogdan S. Modern Restoration Methods For Damaged Historical Buildings As A Result of Military Aggression. Case of Educational Institutions. *International Journal of Conservation Science*. Volume 15, Special Issue 1, 2024: 205-220. DOI: 10.36868/IJCS.2024.SI.17 (The article is indexed in the Scopus and Web of Science databases (Q1-Q3)).

The author personally systematized typical defects and damage to building structures affected by non-design impacts and selected the main technologies for their restoration.

4. Molodid O., Benderskyi S. Assessment of the importance of technological factors in the restoration of cracked masonry structures. *Ways to improve construction efficiency*.

2025. No.56(1). P.208-218. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).208-218](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).208-218) (Professional publication of Category “B”).

The author personally calculated the importance of technological factors using the scoring method and the pairwise comparison method based on the results obtained by the expert assessment method.

5. Molodid O., Benderskyi S., Plokhuta R., Musiiaka I. A research on repair technologies for cracked brick structures using injection. *Transfer of innovative technologies*. Vol. 10 No. 1 (2026) <https://doi.org/10.32347/tit.2026.10.01.04> (Professional publication of Category “B”).

The author personally conducted experimental studies of the flow of repair method along a simulated crack in structures made of hollow bricks and ceramic blocks to assess the feasibility of applying injection technology for restoring the structural integrity of such masonry. Studies were conducted to determine the feasibility of using polymer-based compositions to fill cracks with a crack opening width greater than 3 mm, preceded by filling the crack with a filler. The author also processed the experimental methods.

6. Molodid O., Benderskyi S., Plokhuta R., Bogdan S., Skochko V., Novak Y., Sluchocka K. Assessment of crack injection methods in the restoration of historic brick buildings. *International Journal of Conservation Science*. Volume 17, Issue 3, 2026: 853-866. DOI: 10.36868/IJCS.2026.03.02 (The article is indexed in the Scopus and Web of Science databases (Q1-Q3)).

The author personally conducted experimental studies of crack repair technology using injection of repair materials and analyzed the obtained research results.

List of the candidate's publications demonstrating the validation of the dissertation content:

8. Molodid O., Molodid O., Musiiaka I., Benderskyi S., Kozakova O., Dmytrenko A., Bigaj P. Condition Survey and Recommendations Regarding the Repair of the Facades of the Historical Building in the Besarabskyi Quarter in Kyiv. *Proceedings of the 15th Edition of EUROINVENT 2023 European exhibition of creativity and innovation*. Vol. 15. P. 206. ISSN Print: 2601-4564 Online: 2601-4572.

The author personally analyzed damage to the building structures and methods for repairing similar damage in order to provide recommendations for repair and restoration works.

9. Molodid O., Musiiaka I., Benderskyi S. The need for restoration of building structures damaged as a result of non-design impacts. *Comprehensive quality assurance of technological processes and systems. 13th International scientific and practical conference*. Vol. 2. 2023. P.127.

The author personally established the need to carry out a set of repair and restoration works on structures of buildings and structures damaged as a result of non-design impacts.

10. Molodid O., Benderskyi S. Restoration of masonry structures damaged as a result of non-design impacts. *Proceedings of the International scientific and technical online conference “Problems of building and transport complexes”*. Kropyvnytskyi, May 23-24, 2023. P. 92-94.

The author personally systematized damage to building structures resulting from non-design impacts and identified repair technologies that can be used for their restoration.

11. Molodid O., Benderskyi S. Analysis of existing methods for repairing masonry structures. *International scientific and technical forum “Architecture, Design and Construction: Innovation technologies”*. Kyiv, 2023.

The author personally analyzed existing methods for repairing cracked masonry structures in order to identify those that can be applied to address specific problems.

12. Molodid O., Benderskyi S. Specific features of crack repair in masonry structures. *International scientific and technical forum “Architecture, Construction, Design: Technology, Energy, Management”*. Kyiv, October 16-17, 2024. Kyiv: KNUCA, 2024. P. 128-129.

The author personally identified technologies for repairing cracks in masonry structures depending on their geometric parameters, in particular crack opening width.

13. Molodid O., Benderskyi S. Assessment of the influence of factors on the restoration of cracked masonry structures. *International scientific and technical forum “Architecture, Construction, Design: Production, Informatization, Management”*. Kyiv, November 24-25, 2025. Kyiv: KNUCA, 2025. P. 114-115.

The author personally processed the results of calculations for determining the result priority vector. A set of technological factors that may affect the technology of repairing cracks in masonry structures by injection was identified.

14. Molodid O., Benderskyi S., Plokhuta R., Bogdan S., Skochko V., Novak Y., Sluchocka K. Assessment of Crack Injection Methods in the Restoration of Historic Brick Buildings. *EUROINVENT ICIR 2026. International Conference on Innovative Research*. Iasi, 28th–29th of May 2026.

The author personally identified technologies for repairing cracks in masonry that can be applied to historic buildings.

List of candidate's publications that further illustrate the research findings of the dissertation:

1. Molodid O., Plokhuta R., Molodid O., Musiiaka I., Benderskyi S., Semenov V. Standard technological process sheet “Restoration of masonry structures”. 2023. 81 p.

The author personally analyzed defects and damage to masonry. A classification of methods for restoring masonry, methods for finishing masonry structures, and methods for installing a waterproofing barrier was developed.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ВСТУП.....	24
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ВИНИКНЕННЯ ТРІЩИН КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ, ТА ВІДОМИХ СПОСОБІВ ЇХ РЕМОНТУ	29
1.1 Визначення переліку чинників, що призводять до виникнення тріщин кам'яних конструкцій	29
1.2 Аналіз технологій та досліджень ремонту та підсилення кам'яних конструкцій з тріщинами.....	41
1.3 Дослідження впливу технологічних чинників на якісні показники ремонту кам'яних конструкцій із тріщинами	56
Висновки до 1-го розділу	63
РОЗДІЛ 2. ВИЯВЛЕННЯ ЧИННИКІВ, ЩО МАЮТЬ ВПЛИВ НА ТЕХНОЛОГІЮ ВІДНОВЛЕННЯ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ТРІЩИНАМИ. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ	65
2.1 Встановлення важливості технологічних чинників	65
2.2 Загальна методика дисертаційного дослідження.....	74
2.3 Застосовані матеріали та обладнання.....	77
Висновки до 2-го розділу	81
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ТРІЩИН КАМ'ЯНИХ СТІН ІН'ЄКТУВАННЯМ	83
3.1 Методика експериментальних досліджень.....	83
3.2 Дослідження міцності зчеплення ремонтних розчинів з основою залежно від способу її підготовки	86
3.3 Дослідження впливу наповнювачів на міцність зчеплення ремонтних розчинів з основою.....	102
3.4 Дослідження розповсюдження ремонтних розчинів по умовній тріщині для визначення параметрів ін'єктування.....	111
3.5. Дослідження якісних показників відремонтованих стінових конструкцій ін'єктуванням за удосконаленою технологією	123
Висновки до 3-го розділу	133

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ КАМ'ЯНИХ СТІН ІН'ЄКТУВАННЯМ

ТРІЩИН	136
4.1 Удосконалена технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин.....	136
4.2 Техніко-економічне обґрунтування удосконаленої технології ремонту тріщин.	151
4.3 Впровадження удосконаленої технології ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин.....	158
Висновки до 4-го розділу	165
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	167
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	170
Додаток А.....	181
Додаток Б.....	184
Додаток В.....	190
Додаток Г.....	192

ВСТУП

Актуальність теми. Значна кількість будівель та споруд зведена з несучими та самонесучими кам'яними конструкціями. До зазначених конструкцій можна віднести: фундаменти, стіни, стовпи, перегородки тощо. Під впливом різного роду негативних чинників, як то температурно-вологісні умови, деформація основ чи фундаментів, перенавантаження, позапроектні впливи та ін. конструкції втрачають свої експлуатаційні властивості та потребують відновлення шляхом їх ремонту та/або підсилення. Проте, слід зазначити, що особливої актуальності потреба у ремонті кам'яних конструкцій набула у зв'язку з військовими діями на території нашої країни. Аналіз звітів із технічного обстеження пошкоджених (у тому числі і внаслідок військових дій) будівель та споруд дає змогу виокремити найбільш поширені пошкодження, що потребують усунення. До таких можна віднести: тріщини, що залежно від причин їх виникнення та геометричних параметрів можуть бути відремонтовані за різними технологіями.

Нормативними документами передбачено виконувати ремонт тріщин кам'яних конструкцій з шириною розкриття до 3 мм полімерними матеріалами, від 3 до 50 мм – зачеканювати цементними матеріалами; за необхідності збільшення міцності чи несучої здатності виконується підсилення конструкцій, а конструкції з тріщинами шириною розкриття понад 50 мм підлягають повному/частковому розбиранню та заміні на нові.

Аналізом науково-технічної літератури встановлено, що найбільш поширеною для ремонту тріщин є технологія ін'єктування. При цьому, вона направлена на ремонт конструкцій із повнотілої цегли. Однак, у сучасному будівництві все більше зводять стіни з порожнистої цегли чи керамічних блоків, а дослідження чи нормативні вказівки щодо ремонту тріщин на таких конструкціях фактично відсутні. Також відсутні дані щодо досліджень ефективності ін'єктування тріщин цементними чи полімерними розчинами, що вказують на чітке розмежування критеріїв щодо необхідності використання того чи іншого матеріалу залежно від виду матеріалу конструкцій. Наявні тільки загальні рекомендації або вказівки.

Зважаючи на щоденне збільшення пошкоджень кам'яних конструкцій у вигляді тріщин, що виникають у наслідок воєнних дій, актуальним є питання їх своєчасного

усунення. Враховуючи усе вище наведене можна констатувати, що актуальним завданням є дослідження та удосконалення технології ін'єктування тріщин з можливістю її застосування для конструкцій як із повнотілих, так і порожнистих елементів при забезпеченні якості виконання робіт та проєктних показників відновлених конструкцій.

Дослідженнями причин виникнення дефектів і пошкоджень кам'яних конструкцій та способів їх ремонту займалися Бабич Є.М., Бондар О. М., Гриньова І.І., Клименко Є. В., Русский В.В., Савйовський В.В., Тонкачєєв Г. М., Хохлін Д. О., Nurul N., E. Thomaz, A. Gregori та ін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тема дисертаційної роботи та отримані результати відповідаю напрямку науково-технічної політики України відповідно до:

- Постанови Кабінету Міністрів України від 15 листопада 2022 р. № 1342 «Про затвердження особливостей проведення окремих видів робіт на об'єктах культурної спадщини в умовах воєнного стану».
- Постанови Кабінету Міністрів України від 19 квітня 2022 р. № 473 «Порядок виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд».

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності ремонту кам'яних стін шляхом встановлення раціональних параметрів і режимів процесу ін'єктування тріщин.

Для досягнення зазначеної мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати чинники, що призводять до виникнення дефектів та пошкоджень кам'яних конструкцій. Виконати аналіз існуючих технологій ремонту та підсилення кам'яних конструкцій із тріщинами. Виокремити технологічні чинники, що можуть мати вплив на якісні показники ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами;
- розробити загальну методику дисертаційного дослідження та виявити найбільш впливові чинники;
- експериментально дослідити та встановити вплив технологічних чинників на якісні показники відремонтованих конструкцій;

- розробити удосконалену технологію ремонту кам'яних конструкцій ін'єктуванням тріщин з застосування її як для ремонту конструкцій із повнотілих каменів так і з порожнистих елементів; дослідити техніко-економічні показники удосконаленої технології порівняно із класичною та перевірити розроблену технологію в натурних умовах на об'єктах будівництва.

Об'єктом досліджень є технологія ремонту кам'яних конструкцій ін'єктуванням тріщин.

Предметом досліджень є технологічні чинники, техніко-економічні закономірності, організаційно-технологічні моделі процесу ін'єктування, якісні показники відремонтованих конструкцій.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовано наступні методи дослідження: аналіз та узагальнення теоретичної інформації; планування експериментів; проведення лабораторних напівнатурних (модельних) експериментів; аналіз та синтез результатів експериментальних досліджень; підтвердження достовірності отриманих результатів у натурних умовах.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в таких положеннях, які винесено на захист:

вперше виявлено вплив технології ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин на проєктні показники відремонтованих конструкцій, що підтверджено закономірностями міцності зчеплення з основою, розповсюдженням матеріалу по тріщині та міцністю на згин відновлених конструкцій від технологічних чинників, що виникають у процесі ремонту, а саме: спосіб підготовки основи, вид ремонтного матеріалу, наявність наповнювача, вид матеріалу конструкції, напрямок ін'єктування матеріалу, ширина розкриття тріщини, спосіб влаштування пакерів. Встановлено характер розповсюдження ремонтного ін'єкційного розчину по тріщині залежно від його виду (полімерний/цементний) та типу каменів з яких зведено конструкцію (повнотіла цегла, керамічний блок, порожниста цегла). Отримано нові техніко-економічні закономірності;

удосконалено методичні підходи до дослідження технології ремонту кам'яних конструкцій, у тому числі методику експериментальних досліджень з розширенням

переліку технологічних чинників, що потребують врахування під час виконання ремонтних робіт;

отримали подальший розвиток теоретичні засади технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій ін'єктуванням, які полягають у встановленні допустимих меж технологічних чинників, що забезпечують досягнення необхідних проєктних показників відремонтованої конструкції.

Теоретичне та практичне значення отриманих результатів дослідження:

- удосконалено технологію ремонту кам'яних стін 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;

- впроваджено результати досліджень дисертаційної роботи (технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин) під час проведення:

- ремонтно-відновлювальних робіт на Загальноосвітній школі I–III ступенів № 26 за адресою: м. Житомир, пр-т Миру, 59 та Загальноосвітня школа I–III ступенів № 10 за адресою: м. Житомир, Київське шосе, 37 (довідка про апробацію наукового дослідження від 25.02.2026 р.);

- ремонтно-відновлювальних робіт на освітніх закладах м. Ізмаїл, а саме: ліцей № 6 (вул. Шкільна, 74), ліцей № 1 (вул. Шкільна, 57) та гімназія № 9 (вул. Івана Франка, 8) (довідка про апробацію наукового дослідження від 24.02.2026 р.).

Особистий внесок здобувача полягає у формуванні завдань дослідження, проведенні експериментальних досліджень та обробленні одержаних результатів досліджень. У роботі наявні теоретичні та практичні положення та висновки, сукупність яких можна кваліфікувати як вагомий внесок у розвиток будівництва. Вибір теми дослідження, основна постановка завдання, розроблення плану експериментальних досліджень та аналіз результатів виконано під керівництвом наукового керівника д.т.н., проф. Молодіда О. С.

Основні результати роботи, що відображають суть дисертації, виконані здобувачем самостійно та висвітлено у наукових статтях, що опубліковані у

співавторстві. У даних роботах особистий внесок здобувача полягає у: аналізі науково-технічної літератури; виокремленні конструктивно-технологічних чинників, що мають безпосередній вплив на технологію ремонту; виконанні експериментальних досліджень у лабораторних (напівнатурних) та натурних умовах та проведенні аналізу отриманих результатів; формуванні технології.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були викладені, обговорені та отримали позитивний відгук на 7 заходах, а саме: Proceedings of the 15th Edition of EUROINVENT 2023 European exhibition of creativity and innovation (11-13 may 2023, Iasi, Romania); Міжнародна науково-технічна on-line конференція «Проблеми будівельного та транспортного комплексів» (23-24 травня, м. Кропивницький, 2023 р.); XIII Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», (25-26 травня, м. Чернігів, 2023); Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології» (15-16 листопада, м. Київ, 2023); Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Будівництво, Дизайн: Технологія, Енергетика, Менеджмент» (16-17 жовтня, м. Київ, 2024 р.); Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент» (24-25 листопада, м. Київ, 2025 р.); International Conference on Innovative Research. Iasi, «EUROINVENT ICIR 2026» (28th–29th of May Iasi, Romania, 2026).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано у 14 наукових працях, з них 3 статті входять до наукометричних баз даних Scopus та/або Web of Science, 3 статті входять до переліку вітчизняних фахових видань України, 1 типова технологічна карта та 7 публікацій мають апробаційний характер у вигляді тез доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів з висновками до них, загальних висновків, списку використаних джерел та 4-х додатків. Дисертація містить 26 таблиць і 71 рисунок. Повний обсяг дисертації 193 сторінки. Основна частина дисертації у складі чотирьох розділів і загальних висновків містить 146 сторінок, список використаних джерел – 11 сторінок, додатки – 13 сторінок. Список використаних джерел містить 107 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ВИНИКНЕННЯ ТРІЩИН КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ, ТА ВІДОМИХ СПОСОБІВ ЇХ РЕМОНТУ

1.1 Визначення переліку чинників, що призводять до виникнення тріщин кам'яних конструкцій

Усі будівлі та споруди, незалежно від матеріалу зведення, умов експлуатації тощо, з часом під впливом різного роду чинників зазнають різноманітних пошкоджень та втрачають свої експлуатаційні характеристики. Продовження терміну їх надійної експлуатації залежить від кількості й ступеню пошкоджень та своєчасного виконання комплексу ремонтно-відновлювальних робіт. Вибір оптимального переліку ремонтних робіт обґрунтовується результатами виконаного обстеження конкретного об'єкту для встановлення поточного технічного стану їх конструктивних елементів та будівлі в цілому.

Для вивчення проблематики та формування задачі досліджень виконано детальний аналіз науково-технічних звітів з технічного обстеження будівель та споруд з різноманітними пошкодженнями виконаними у період 2022-2025 рр.. Всього було виконано аналіз більше 120 звітів. Додатково, виконано огляд науково-технічної літератури за даним напрямком [1-4]. Варто зауважити, що на значній частині об'єктів, що підлягали обстеженню, автор приймав безпосередню участь у ролі фахівця.

Зазвичай, під час обстеження виконують фіксацію усіх наявних дефектів та пошкоджень будівельних конструкцій, за необхідності виконують інструментальні обстеження у результаті яких встановлюють чи уточнюють поточні фізико-механічні параметри конструктивних елементів, виконують огляд прилеглої території, враховують умови експлуатації будівлі чи споруди тощо. При виборі способу ремонтно-відновлювальних робіт важливо враховувати причини виникнення дефектів та пошкоджень, адже своєчасне усунення причини виникнення дефекту сприятиме зупинці розвитку пошкодження та попереджатиме подальше їх виникнення на інших ділянках [5]. Це є найбільш оптимальним та характеризує правильний підхід до продовження безаварійного терміну експлуатації конструктивних елементів будівель та споруд.

У результаті детального аналізу звітів із технічного обстеження встановлено, що близько 60 % пошкоджених будівель та споруд – безкаркасні з несучими стіновими кам'яними конструкціями. У більшості проаналізованих випадків (близько 68%) стінові конструкції виконані із повнотілої цегли, майже 7 % – зведено із порожнистої цегли, близько 11 % – з керамічних блоків та орієнтовно 14 % із блоків ніздрюватого бетону та ін., як це показано на рис. 1.1.

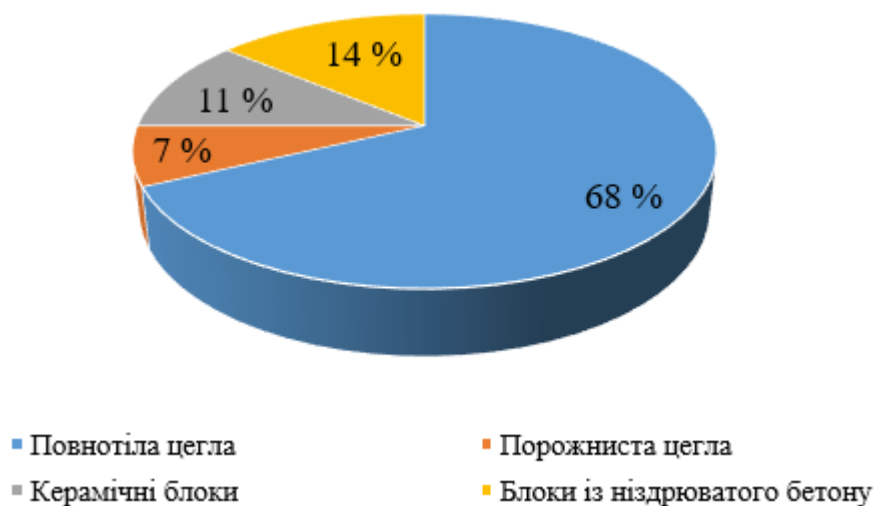


Рис. 1.1. Розподіл стінових конструкцій за видом каменів з яких їх зведено*

* - розроблено самостійно автором

Кам'яні конструкції залежно від призначення можуть виконувати функцію несучих або огорожуючих конструкцій. Вертикальні несучі і самонесучі конструкції з таких матеріалів вирізняються своєю довговічністю, вогнестійкістю, здатністю сприймати великі навантаження. Відповідно, конструктивні елементи з пошкодженнями залежно від їх функціонального призначення можуть потребувати різного підходу до виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

У результаті виконаних обстежень встановлено, що причини виникнення пошкоджень кам'яних конструктивних елементів умовно можна розділити на дві групи, а саме:

1) експлуатаційні впливи: атмосферні; механічні пошкодження; фізичні пошкодження; біологічні та хімічні; температурно-вологісні; порушення правил експлуатації тощо.

2) позапроектні впливи: зміна гідро-геологічних умов у тому числі аварії інженерних мереж; динамічні та вібраційні понаднормові навантаження; вплив від будівництва поряд розташованих будівель; військові дії тощо.

Особливу увагу слід приділити саме позапроектним впливам, що виникають внаслідок військових дій, оскільки суттєве збільшення пошкоджень кам'яних конструкцій протягом останніх кількох років, спричинені саме ними. До таких впливів можна віднести: влучання засобів ураження; вибухові хвилі; осколкові пошкодження; пожежі (вплив високої температури).

Зважаючи на ситуацію у країні, а саме на продовження військових дій та, як наслідок, щоденне збільшення та виникнення пошкоджень конструкцій, у тому числі і кам'яних, актуальним є питання не попередження виникнення пошкоджень та дефектів а їх своєчасне усунення. Тому, у даній роботі буде розглянуто основні причини виникнення пошкоджень, способи їх усунення, та удосконалено існуючі технології з метою покращення їх ефективності та розширення області застосування.

Відповідно до даних наукового дослідження Руссого В.В. [6] відомо, що у період від початку ведення військових дій на території України до кінця листопада 2022 р. частка пошкоджених будівель із кам'яних конструкцій складала 74,26 % (більше 700 об'єктів) від загальної кількості встановлених автором пошкоджених об'єктів (оглянуто близько 1000 об'єктів).

З відкритих джерел встановлено, що на початок 2024 р. загальна кількість пошкоджених об'єктів складала 250 тис. будівель [7], а на початок лютого 2026 р. кількість об'єктів, що зазнали пошкоджень внаслідок військових дій, сягнула більше 420 тис. (серед них повністю зруйнованих будівель ~ 250 тис. об'єктів, пошкоджених житлових будинків ~ 170 тис.) [8]. Дані щодо відсоткової частки кам'яних конструкцій серед пошкоджених відсутні. Однак, можна припустити, що вона складає не менше 50 %. Вказані цифри свідчать загалом про неймовірний приріст пошкоджень протягом короткого проміжку часу. На жаль дана тенденція зберігається і по цей час.

У відповідності до ДСТУ 9273-2024 [9] типовими дефектами та пошкодженнями кам'яних та армокам'яних конструкцій є: тріщини (рис. 1.2, а); розшарування (рис. 1.2, б); випирання (рис.1.2, в); вивітрювання (рис. 1.2, г) та

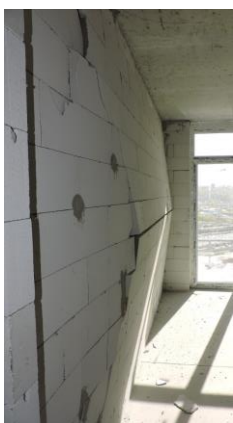
розморожування кладки (рис. 1.2, д); механічні пошкодження (в тому числі осколкові пошкодження та вибивання фрагментів кладки) (рис. 1.2, е, є); корозія кладки та арматури; технологічні дефекти тощо.



а



б



в



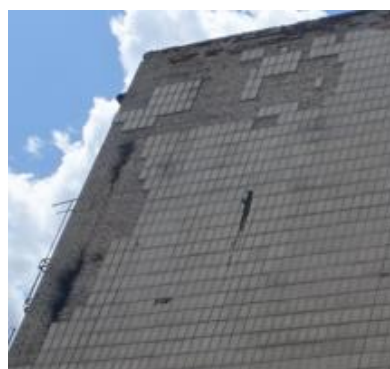
г



д



е



є

Рис.1.2. Дефекти та пошкодження кам'яних конструкцій: а – тріщини; б – розшарування; в – випинання; г – вивітрювання; д – розморожування; е, є – механічні пошкодження

Для встановлення та фіксації пошкоджень будівель та споруд, що виникли внаслідок позапроектних впливів, зумовлених бойовими діями, в тому числі потрапляння засобів ураження, вибухів, пожеж тощо, виконується їх обстеження [1, 3, 10]. На основі результатів виконаного обстеження кожен будівельний об'єкт, залежно від виду та обсягу пошкоджень/руйнувань, може бути віднесено до одної із трьох категорій пошкодження, що у свою чергу впливає на подальший вибір конструктивно-технологічних рішень з ремонту/підсилення конструкцій чи їх демонтаж.

Аналіз численних звітів з обстеження будівель та споруд пошкоджених у наслідок військових дій, а саме динамічних впливів, пожеж та влучання боєприпасів свідчить, що тріщини різного характеру у кам'яних конструкціях (з повнотілих, порожнистих елементів та керамічних блоків) є найбільш поширеним пошкодженням [4, 9, 11] та наявні на усіх об'єктах, що підлягали обстеженню. Тому дана робота буде присвячена аналізу причин їх виникнення, способам їх усунення, а також пошуку та дослідженню ефективних технологічних рішень їх ремонту, що допоможуть забезпечити якість виконаних робіт, зниження трудозатрат, тривалості і вартості ремонту та сприятимуть пришвидшенню темпів відбудови постраждалих регіонів України.

Відповідно до ДСТУ 9273:2024 [9] встановлено, що тріщини кам'яної кладки є пошкодження конструкцій, що мають суттєвий вплив на технічний стан як окремої конструкції, так і будівлі в цілому. Відповідно до нормативу конструкції, залежно від кількості та характеру пошкоджень, можуть бути віднесені до одного із чотирьох технічних станів: нормального, задовільного, непридатного до нормальної експлуатації та аварійного.

Дослідженнями причин виникнення дефектів і пошкоджень кам'яних конструкцій та способів їх ремонту займалися Бабич Є.М. [12], Бондар О. М. [13], Гриньова І.І. [14, 15], Клименко Є. В. [16-19], Руссий В.В. [6], Савйовський В.В. [20, 21], Тонкачєєв Г.М. [22], Хохлін Д. О. [23], Nurul N. [24], E. Thomaz [25], A. Gregori [26] та ін.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-207:2015 [27] характер руйнування кладки і ступінь впливу чинників залежить від напруженого стану при стиску. Руйнування кладки при стиску починається із появи вертикальних тріщин, при цьому вони виникають при навантаженнях менше руйнівних. Такі пошкодження, зазвичай, виникають у опорних

ділянках (наприклад під балками чи плитами перекриття/ покриття), у місцях примикання вертикальних конструкцій одна до одної (наприклад поздовжніх та поперечних несучих стін чи у примиканнях несучих стін та перегородок), у кутах віконних чи дверних прорізів тощо. Розрізняють осадові, силові та температуро-вологісні тріщини.

У наслідок дії вибухових хвиль стінові конструкції зазнають згинальних та зсувних зміщень внаслідок яких на конструктивних елементах виникають, найчастіше, східчасті (такі, що проходять по швах кладки) вертикальні та діагональні тріщини. Іноді, під дією вибухових хвиль може відбуватися розшарування кладки (часто це можна побачити у конструкціях виконаних із порожнистої цегли чи керамічних блоків).

Аналізом науково-технічної літератури [11, 12, 20, 21, 24, 28] встановлено перелік чинників, що призводять до виникнення тріщин у кам'яних конструкціях. У загальному, всі чинники умовно можна розділити на: тривалої дії (нерівномірне осідання основи/ фундаменту; температурні впливи/ температурні деформації; замokання, підвищена вологість; надмірні навантаження на конструкції; використання неякісних матеріалів; помилки допущені при проєктуванні чи зведенні будівлі; біологічні впливи; корозія (в тому числі армування кладки); помилки допущені при експлуатації) та короткотривалої дії (позапроєктні впливи у тому числі військові дії, сейсмічні та динамічні впливи та ін.). Важливо відмітити, що дію чинників тривалої дії можна попередити, уникнути чи передбачити виконавши комплекс заходів і таким чином можливо уникнути розвитку наявних пошкоджень чи виникнення нових, у тому числі і тріщиноутворення. Попередити дію короткотривалих чинників не можливо, тому їх вплив на конструкцію є непередбачуваним та не може бути усунуто заздалегідь.

Чинники тривалої дії

Нерівномірне осідання основи/ фундаменту (рис. 1.3) може виникнути внаслідок систематичного замokання основи (атмосферні опади, пошкодження інженерних мереж тощо). Зміна рівня ґрунтових вод теж може вплинути на деформаційні характеристики основи і, як наслідок, може призвести до осідання чи спучення, що у свою чергу може призвести до кренів, деформацій та нерівномірного розподілення напружень у конструктивних елементах будівлі [29].

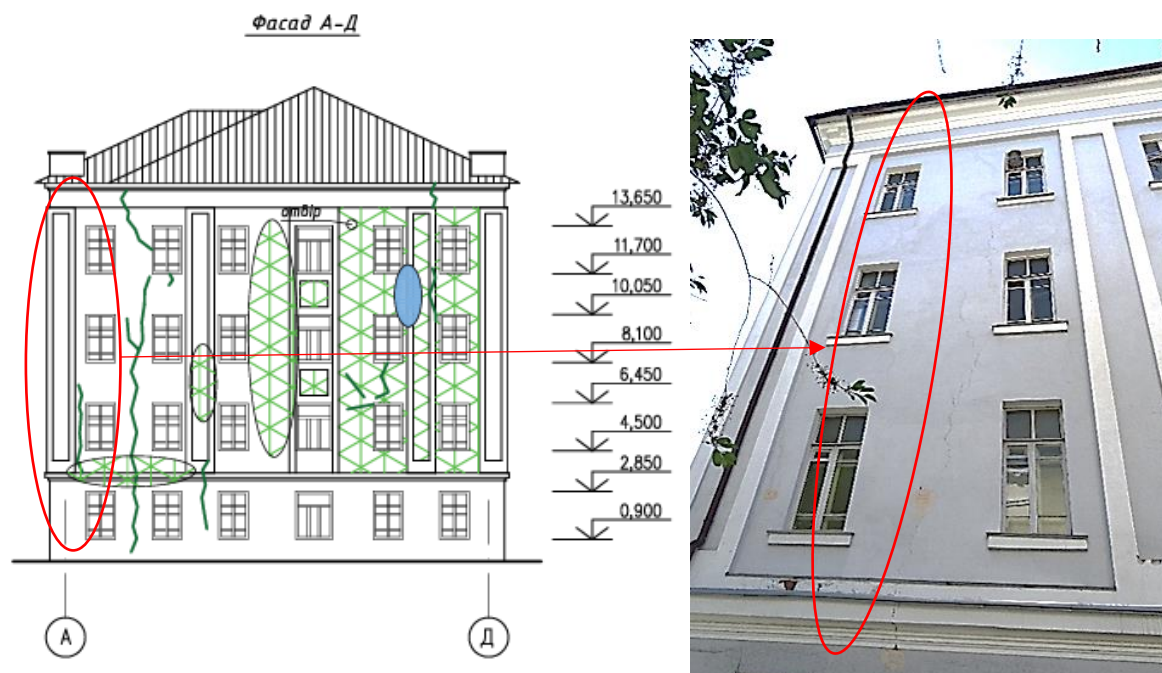


Рис. 1.3. Тріщини по висоті будівлі внаслідок нерівномірної деформації основ (просідання основ внаслідок замокання)*

* Джерело: витяг із звіту із технічного обстеження (Освіти, 6)

Температурні впливи/ деформації, зазвичай, викликані значною зміною температури як зовні будівлі, так і в середині. Оскільки, усі матеріали мають різні коефіцієнти теплового розширення, то у місцях їх з'єднання найчастіше виникають пошкодження у вигляді тріщин.

А. Daware [30], на аналізі існуючих експериментальних досліджень та даних, наведених у нормативних документах, встановив, що при підвищенні температури відбувається значне зниження модуля пружності матеріалу, що характеризує спроможність матеріалу конструкцій чинити опір деформації. Так, відповідно до даних, зниження модуля пружності на 50 % відбувається уже при температурі 400 °C та лінійно зменшується при збільшенні температури. Однак, як зауважив автор [30], зниження модуля пружності під дією високих температур дуже залежить від виду конструкції, її розмірів, наявності пустот та інше та впливає на деформаційні показники конструкцій.

Аналіз вказаних досліджень засвідчив, що найбільші пошкодження цегляних конструкцій відбуваються при температурі від 600 °C до 800 °C, внаслідок чого

відбувається деструкція тіла конструкцій, утворюються різноманітні пошкодження, що значно знижують несівну здатність конструкції. Так, середнє значення зниження міцності кладки на стиск при температурі до 600 °C складає 20 %, а при 800 °C уже 27 %. Однак, варто зауважити, що ці значення є усередненими, та залежать від багатьох чинників.

Замокання та підвищення вологості у кам'яних конструкціях з часом призводить до пошкодження тіла конструкцій і зниження їх несучої здатності [30, 31]. Зазвичай, підвищена вологість цегляних стін виникає внаслідок капілярного підтягування води з основ та фундаментів, внаслідок пошкоджень систем водовідведення та даху (покрівельного шару), або ж внаслідок поверхневого зволоження (дощ, сніг, туман, роса). А за умови постійного чи систематичного зволоження цегляних конструкцій часто відбувається перенесення солей із тіла конструкції на її поверхню (засолення), що у свою чергу сприяє швидшому руйнуванню тіла конструкції.

Оскільки, кам'яні конструкції достатньо пористі та мають здатність до поглинання води, то зміна температури, а саме циклічне заморожування/відтавання, призводить до поступового руйнування тіла конструкцій за рахунок розширення води під час замерзання [32].

N. Sathiparan [31] провівши низку експериментальних досліджень встановив, що збільшення вологості цегляних стін, виконаних із керамічної цегли, пропорційне зменшенню міцності кладки на стиск. При цьому, подальше висушування зволоженої цегли не змінювало значення міцності. Також, встановлено, що при постійній дії води міцність кладки на зсув та зчеплення цегли і мурувального розчину зменшується.

Подібні дослідження були виконані й для силікатної цегли H. Garbalinska [33] та встановлено, що незалежно від виду цегли міцність на стиск при зволоженні знижувалася в середньому на 30 %.

Використання неякісних матеріалів, тобто таких, що не відповідають проектним значенням, можуть з часом призвести не тільки до пошкодження конструкцій, а й до їх руйнування [34].

Так, B. Liang [35] провівши низку досліджень встановив, що якість мурувального розчину має прямий вплив на міцність кладки на стиск. При збільшенні

міцності мурувального розчину вдається досягнути збільшення міцності цегляної кладки. S.B. Singh [36] стверджує, що міцність кладки залежить також і від якості цегли, що використовується для кладки стін.

A. Yadav [37] вивчала вплив товщини мурувального розчину (13, 20 та 27 мм) з різним компонентним складом на міцність кладки на стиск та на зсув. Аналіз досліджень засвідчив, що найменшу міцність на стиск має кладка де товщина розчину складала 13 мм, при товщині розчину 27 мм спостерігалася найменша міцність на зсув. Найбільш оптимальною товщиною мурувального розчину, за результатами досліджень, є товщина у 20 мм, що забезпечує міцність на стиск та на зсув відповідно до проєктних значень. Однак, варто зауважити, що в Україні товщина мурувального розчину складає 8-12 мм залежно від розмірів кам'яних елементів кладки [27]. При цьому, досліджень українських науковців у цьому напрямі не виявлено.

Помилки допущені при зведенні будівлі, як то відсутність чи недостатня кількість додаткового кріплення; неякісна перев'язка рядів; відсутність армування у кладці, або недостатня його кількість; недостатня довжина обпирання конструкцій; міцність розчину, що не відповідає проєктним значенням; відхилення конструкцій при їх зведенні тощо [5] також є частою причиною виникнення дефектів у кам'яних конструкціях.

До біологічних впливів, що можуть викликати пошкодження кам'яних конструкцій у вигляді тріщин, можна віднести проростання кущів та дерев у безпосередній близькості до будівлі [38]. Коренева система дерев може суттєво змінити щільність основ та здатна проникати у кам'яні конструкції порушуючи таким чином їх структурну цілісність. А наявність вологи сприяє появі та розвитку різноманітних грибків у тілі конструкції, що спричиняють поступову деструкцію кам'яної кладки та зниження несучої здатності конструктивних елементів [39, 40].

Корозія конструкцій (в тому числі і для армованих конструкцій) також часто відбувається під дією вологи, та призводить до розширення матеріалу, нерівномірного перерозподілення напружень у конструкції, виникнення тріщин та ін. Так, M. Molnár [41] та ін. встановили, що кількість тріщин у цегляних конструкціях залежить від можливості капілярного просочення води та висоти розташування ділянки кладки від ґрунтової основи, що безпосередньо впливає на виникнення та

подальший процес корозії. Іноді корозія тіла конструкції відбувається внаслідок впливу різного роду агресивних середовищ – рідких та газоподібних.

Пошкодження конструкцій виникають і у ході *експлуатації* [5]. Наприклад: механічні пошкодження (пробивання отворів, сколи конструкцій, кріплення елементів обладнання тощо); корозійне руйнування внаслідок відсутнього або не достатнього захисту конструкцій від впливу агресивного середовища; пошкодження поверхні внаслідок абразивних впливів (наприклад внаслідок пошкодження системи збору та відведення дощових і талих вод) та ін. Тому, важливо під час експлуатації будівлі чи споруди виконувати їх систематичний огляд та моніторинг за станом конструктивних елементів.

Понаднормові навантаження на конструкції є не менш частою причиною їх пошкодження ніж інші впливи. Надмірні навантаження виникають при перебудові будівель чи споруд та влаштуванні надбудов. Пошкодження кам'яних конструкцій у вигляді тріщин найчастіше з'являються у місцях дії зосередженого навантаження за умови відсутності додаткових розподільчих конструкцій.

Чинники короткотривалої дії

До *сейсмічних та динамічних впливів*, що можуть спричинити виникнення дефектів та пошкоджень кам'яних конструкцій, можна віднести землетруси [42], вібрації від руху чи роботи транспорту або спеціального обладнання, влаштування паль (забивання, віброзанурення) на прилеглій території, побутові та промислові вибухи [43] тощо.

З початком вторгнення військ РФ на територію України кількість пошкоджень та руйнувань конструкцій, у тому числі кам'яних, значно зросла. При цьому, варто зауважити, що за рахунок позапроектних впливів викликаних військовими діями, пошкодження конструктивних елементів мають дещо інший вид, масштаб та характер. Тому, при відновленні експлуатаційної придатності конструкцій пошкоджених військовими діями необхідно керуватися новими підходами.

Основними чинниками, що призводять до пошкоджень конструкцій внаслідок *військових дій* є ударні хвилі від вибухів, пожежі та осколкові пошкодження [1, 44-46] (рис. 1.4).



а



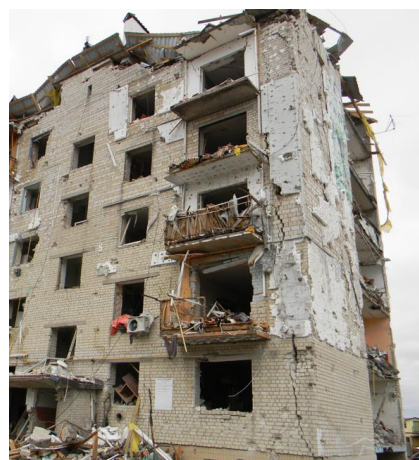
б



в



г



д

Рис. 1.4. Пошкодження кам'яних конструкцій внаслідок військових дій:

а – вибивання фрагментів кладки; б – руйнування кладки внаслідок дії вибухової хвилі; в – осколкові ураження; г – термічне ураження кладки внаслідок пожежі; д – часткове руйнування, відхилення конструкцій від проєктного положення, випинання кладки по всій висоті будівлі*

* - фото з особистого архіву

Вибухи можуть *призвести* до зміщення конструкцій відносно свого проєктного положення, руйнування частини або цілої конструкції, або навіть усієї будівлі, утворення тріщин різного просторового положення та геометричних параметрів; вибивання фрагментів кладки, потоншення тіла конструкції, порушення стабільності основи (створення вирви під фундаментом, зсуви тощо) та ін. Також, варто враховувати постійні вібраційні впливи від руху військової важкої техніки, що може призвести до погіршення стану конструкцій.

Кожен із вище зазначених чинників окремо один від одного або в сукупності призводять до появи пошкоджень у кам'яних конструкціях, зниження їх міцності, зменшення довговічності, погіршення експлуатаційних характеристик тощо. Як наслідок, конструкції із пошкодженнями, незалежно від причин їх виникнення, кількості та розміру, потребують своєчасної стабілізації/ закріплення для уникнення подальшого розвитку пошкоджень та виконання комплексу ремонтно-відновлювальних робіт для продовження безпечної експлуатації будівель. Для цього необхідно встановити відомі технології виконання таких ремонтних робіт та, за потреби, розробити нові чи удосконалити відомі.

Усі розглянуті чинники та можливі дефекти та пошкодження, які можуть виникнути внаслідок їх дії наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Перелік чинників, що провокують виникнення пошкоджень кам'яних конструкцій

Чинник, що спричиняє виникнення пошкодження	Пошкодження, що виникають внаслідок дії чинника
1	2
<i>Тривалої дії</i>	
Нерівномірне осідання основи/фундаменту	Тріщини, випинання кладки, пошкодження від стискальних навантажень
Температурні впливи/температурні деформації	Розморожування кладки, відшарування опорядження, тріщини
Замокання, підвищена вологість	Корозія армування, розморожування, розшарування
Надмірні навантаження на конструкції	Роздріблення та розколювання кладки під опорами, тріщини у примиканнях, вертикальні та похилі тріщини
Використання неякісних матеріалів	Розшарування кладки, вивітрювання муруваль-ного розчину, розкришування від навантаження
Помилки допущені при зведенні будівлі	Відхилення конструкцій від проєктного положення, тріщини; випинання/відхилення стін під дією навантаження
Біологічні впливи	Висоли, відшарування опорядження, лущення поверхні, розшарування стін, тріщини
Корозія матеріалу конструкцій (у тому числі корозія армування)	Розшарування кладки, тріщини
Помилки допущені при експлуатації	Влаштування технологічних отворів, зволоження, замокання, тріщини

1	2
<i>Короткотривалої дії</i>	
Температурні впливи (пожежі та температурні деформації)	Вогневе ураження кладки, розкришування, випинання, тріщини
Позапроектні впливи у тому числі військові дії, сейсмічні та динамічні впливи та ін.	Розшарування стін, наскрізні отвори, відхилення конструкцій від проектного положення, розтріскування кладки, осколкові пошкодження, тріщини

1.2 Аналіз технологій та досліджень ремонту та підсилення кам'яних конструкцій з тріщинами

З метою відновлення експлуатаційних можливостей та продовження життєвого циклу пошкоджених будівель і споруд виникає необхідність у виконанні ремонтно-відновлювальних робіт.

ДСТУ 9273:2024 [9] регламентує – вертикальні та похилі силові тріщини, що перетинають не більше ніж два ряди кладки та інші тріщини з шириною розкриття не більше ніж 0,5 мм вважаються такими, що можуть знизити довговічність конструкції та потребують проведення різноманітних заходів із їх захисту. При цьому, конструкції з тріщинами, ширина розкриття яких більше 0,5 мм, потребують виконання ремонтних робіт, підсилення або перекладання усієї конструкції чи її частини.

Відповідно до ДСТУ Б В.3.1-2:2016 [47] ремонт та підсилення кам'яних конструкцій виконується за чотирма основними напрямками: повна чи часткова заміна кладки несучих конструкцій шляхом її аналогічного перекладання; ін'єктування тріщин для відновлення несучої здатності кладки; відновлення чи підвищення несучої здатності (жорсткості) конструкцій введенням елементів підсилення; відновлення загальної (просторової) жорсткості або стійкості будинку (споруди).

Повну чи часткову заміну кладки виконують при значному пошкодженні, розморожуванні кладки чи у аварійних ситуаціях. Також, нормативом [47] передбачено, що конструкції у яких наявні тріщини з шириною розкриття 50 мм підлягають перекладанню.

Нормативом [47] передбачено для ремонту тріщин стін ін'єктуванням використовувати цементно-колоїдні клеї, цементно-піщані, цементно-полімерні та

полімерні розчини. Склад та технологія робіт повинна враховувати фізико-механічні властивості кладки, її вологість тощо. Зачеканка тріщин цементним розчином рекомендована при їх розкритті понад 3 мм.

Підсилення кам'яних конструктивних елементів з тріщинами виконують методом влаштування різноманітних обойм – залізобетонних, цегляних, розчинових, сталевих, комбінованих, а також за допомогою введення високоміцних сталевих елементів у тіло конструкції чи влаштування зовнішнього армування наклеюванням вуглецевих стрічок, ламелей чи сталевих пластин [48-52].

Вибір того чи іншого напрямку ремонту залежить безпосередньо від розміру та геометричного положення тріщин, стану конструктивних елементів з пошкодженнями та умов експлуатації конструкції.

Пшінько О. М [5] стверджує, що важливим є необхідність розуміння мети заповнення тріщин, а саме: закриття тріщин виконують для запобігання проникнення у конструкцію агресивних речовин; герметизацію тріщин – для усунення негерметичності; пластичне з'єднання – для з'єднання країв тріщин за умови збереження суцільності при можливих обмежених деформаціях; жорстке з'єднання – для відновлення несучої здатності конструкцій тощо. Розуміння мети дозволить обрати найбільш прийнятний та дієвий спосіб ремонту.

Виконавши короткий аналіз нормативних вимог, можна підсумувати, що до класичних технологій ремонту та підсилення кам'яних конструкцій з тріщинами можна віднести [53]: герметизація та зачеканка тріщин; ін'єкційні технології; влаштування зовнішнього армування; механічне закріплення тріщин; перекладання кладки; влаштування зовнішнього армування.

Далі виконаємо анотований огляд зазначених технологій.

Технологія герметизації та зачеканки тріщин.

Технологія зачеканки тріщин є найбільш простою у виконанні. У більшості випадків таку технологію використовують для заповнення тріщин цегляних конструкцій з шириною розкриття від 3 мм різноманітними ремонтними розчинами [28] шляхом очищення тріщини від незв'язних частин; розшивання тріщини (за необхідності); обробці спеціальними розчинами [54] (за наявності грибків, висолів та

ін.); зволоження чи нанесення спеціальних адгезивних або ґрунтувальних розчинів; заповнення тріщини ремонтним розчином за допомогою шпателя та подальшим опорядженням конструкції.

Найбільш поширеними матеріалами, що застосовуються для даної технології є матеріали на основі цементу. Однак на практиці використовують також глиняні, вапняні [55], полімерні та інші розчини.

Перевагою даної технології ремонту є простота, доступність та незначна тривалість виконання ремонтних робіт. Однак також є ряд значних недоліків: здебільшого заповнення тріщини ремонтним розчином відбувається не на всю глибину та радше має декоративно-естетичні властивості по їх приховуванню; технологія не забезпечує відновлення структурну цілісність конструкції; у разі ігнорування причин виникнення тріщин процес тріщиноутворення буде продовжуватися в подальшому, а технологія зачеканки буде неефективна. Використання технології доречне при необхідності швидкого ремонту (до проведення комплексу основних ремонтно-відновлювальних робіт), та можливе тільки для стабілізованих тріщин і таких, що не мають впливу на експлуатаційні властивості конструкцій.

Технологія ін'єктування тріщин.

Технологія ін'єктування тріщин кам'яної кладки широко використовується для їх ремонту та має підтверджену ефективність. Дослідженням технології ін'єктування кам'яної кладки займалися видатні вітчизняні та зарубіжні дослідники, а саме: Є. В. Клименко [17], Й. Й. Лучко [56], О. І. Менеїлюк [57, 58], І. Прокопенко [59] та інші. Їх дослідження були спрямовані на спрощення технології ін'єктування тріщин, підвищення якості виконання робіт, покращення показників відремонтованих конструкцій.

Встановлено, що у якості ін'єкційних матеріалів може бути використано широкий спектр ремонтних розчинів, головними відмінностями яких є різна ступінь текучості, адгезія до кладки, вид та вартість, обладнання для ін'єктування та ін. Усі ремонтні ін'єкційні розчини умовно можна звести до наступних: мінеральні розчини на вапняному в'язучому [59] (переважно застосовуються для ремонтно-

відновлювальних робіт на історичних будівлях), цементовмісні [47] (для заповнення тріщин з шириною розкриття від 3 мм і порожнин), епоксидні смоли [47] (для заповнення тріщин з шириною розкриття менше 3 мм за рахунок підвищеної текучості), поліуретанові (для заповнення тріщин та щілин з інфільтрацією води).

За допомогою технології ін'єктування можливо досягнути наступних результатів – виконати заповнення тріщин та порожнин ремонтним розчином; склеїти тріщину [60]; виконати гідроізоляцію конструкцій [56] тощо незалежно від їх просторового положення.

Загалом класична технологія ін'єктування тріщин полягає у [61]. просвердлюванні отворів вздовж тріщини у шаховому порядку таким чином, щоб вони були розміщені під кутом $30-45^\circ$ до площини конструкції, а їх глибина має забезпечити перетин тріщин (рис. 1.5). Далі, тріщину та отвори очищують від пилу та незв'язних частин і влаштовують ін'єкційні пакери шляхом їх загвинчування, забивання або вклеювання. У науково-технічній літературі встановлено, що крок ін'єкційних пакерів має складати 30-50 см. Однак, не вдалося віднайти джерел у яких наведено обґрунтування наведеного кроку пакерів. Тому, у більшості випадків, їх крок регламентується виробниками ремонтних розчинів.

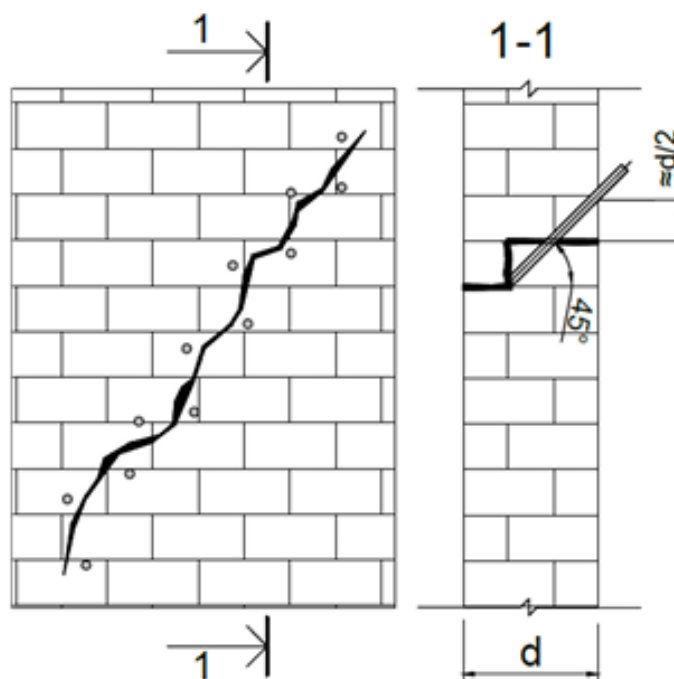


Рис. 1.5. Умовна схема ін'єктування тріщин кам'яної кладки за класичною технологією [54]

Перед ін'єктуванням тріщини необхідно виконати її поверхневу зачekanку, а після її полімеризації/ схвачування виконується ін'єктування тріщини обраними ремонтними розчинами шляхом під'єднання ін'єкційного пристрою до найнижчого пакера та подачі розчину під тиском від 0,2-0,6 МПа. Після появи розчину у вище розташованому пакері нижній перекривають та продовжують ін'єктування через наступний пакер. Після закінчення ін'єктування та набуття розчином проєктних міцнісних показників пакери зрізають та, за необхідності, виконують опорядження конструкції.

Перевагою технології ін'єктування є: відносна простота виконання ремонтних робіт; широкий вибір ремонтних матеріалів, що дає можливість виконання ремонтно-відновлювальних робіт для різних цілей (герметизація, гідроізоляція, зміцнення, заповнення швів тощо); повне заповнення тріщин різної ширини розкриття ремонтним матеріалом; відновлення структурної цілісності кладки; зміцнення конструкції; відсутність зміни геометричних параметрів та загального вигляду конструкцій.

Недоліками технології є: висока вартість окремих ремонтних матеріалів; тривалість виконання робіт; можливе додаткове ослаблення кладки внаслідок влаштування отворів при значній кількості тріщин у конструкції. При цьому, варто зауважити, що у нормативній та науковій літературі не висвітлено дослідження, що вказували б на можливість заповнення тріщин ремонтними матеріалами при їх значній ширині розкриття та при ремонті стінових конструкцій з порожнистої цегли чи керамічних блоків.

Технологія підсилення цегляних конструкцій обоймою.

Одним із напрямів підсилення кам'яних конструкцій з пошкодженнями у вигляді тріщин є влаштування обойми для перерозподілення навантаження, що діє на пошкоджену конструкцію. Дослідженням способів підсилення цегляних конструкцій обоймами займалися Клименко Є. В. [16-19], Менеїлюк А. І. [57], Іваник І. Г. [62], та ін. Розрізняють наступні види обойм для кам'яних конструкцій [16, 18, 47, 57]: кам'яна; залізобетонна або розчинова; сталева; комбінована. Далі анотовано розглянуто кожен із них.

Кам'яна обойма. Технологія влаштування цегляної обойми включає: зачищення швів на глибину до 5 мм; свердління отворів у швах глибиною мінімум 45 мм, Ø 4-6 мм (залежно від діаметру армування підсилення) з кроком по висоті від 2-х до 4-х рядів кладки, по ширині 250-510 мм; влаштування з'єднувальної арматури довжиною не менше 100 мм; обмурування конструкції цеглою з мінімальною товщиною обойми в половину цегли з включенням з'єднувальної арматури в кладку обойми; заповнення розчином усіх очищених швів, проміжку між існуючою конструкцією та кладкою обойми та інших порожнин. Варто зазначити, що перед виконанням робіт із підсилення необхідно виконати ремонт пошкоджень шляхом їх зачеканки чи ін'єктування ремонтними розчинами.

Клименко Є.В. стверджує [16, 18], що взяття пошкодженої кам'яної конструкції у цегляну обойму дозволяє передати значну частину вертикального стискаючого навантаження на матеріал обойми. При цьому, передача навантажень досягається через дотичні зусилля через розчин між шарами кладки, що підсилюється, та кладки підсилення. Частину навантаження від перекриття/покриття і інших конструкцій цегляна обойма може сприймати через розчин між конструкцією та новою кладкою.

Перевагою даного способу підсилення є включення в роботу відновленої кладки разом з обоймою, збільшення несучої здатності підсиленої конструкції, використання доступних матеріалів, відносно невелика вартість виконання робіт. Однак суттєвими недоліками вказаного підсилення є зменшення внутрішнього простору приміщення за рахунок збільшення поперечного перерізу конструкції, що підлягала підсиленню; можливість більшого пошкодження конструкції під час влаштування отворів та розчищення швів; складність мурування кладки у половину цеглини, тривалість виконання робіт, збільшення маси конструкції.

Залізобетонна/ розчинова обойма. Залізобетонну або розчинову обойму можна вважати однією із класичних технологій підсилення кам'яних конструкцій [47, 53]. Таку обойму можна влаштовувати з однієї чи кількох сторін так і навколо всієї конструкції.

Суть технології підсилення залізобетонною обоймою полягає у очищенні конструкції від пилу та бруду, незв'язних частин; ремонт наявних пошкоджень –

зокрема тріщин шляхом їх ін'єктування або зачеканювання (залежно від величини тріщини); влаштуванні на зовнішній стороні конструкції металевго арматурного каркасу (діаметр та крок армування залежить від ступеню пошкодження конструкції); виконанні (за необхідності) додаткового кріплення каркасу до конструкції через арматурні «коротиші» влаштовані в тіло конструкції на хімічний анкер; оббетонування або способом торкретування або шляхом вкладання бетонної суміші в опалубку попередньо влаштовану в проєктні місця.

S. Churilov [63] експериментальними дослідженнями встановив, що підсилення цегляних стін із повнотілих елементів залізобетонною обоймою дозволяє збільшити міцність конструкцій на стиск від 123 % (одностороннє підсилення) до 204 % (двостороннє підсилення) порівняно із непідсиленими зразками.

Р. Joyklad та ін. [64] досліджували можливість зміцнення стін із порожнистої цегли на зсув шляхом улаштування армованого розчину. Для цього виготовили зразки (фрагменти стін) із порожнистої цегли, які підсилювали металевою сіткою влаштованою у один або три шари з'єднаною із зразком кріпленнями та нанесенням поверх сітки цементного розчину товщиною 10 або 20 мм. Підсилення виконувалося з однієї або з двох сторін стіни. Далі зразки випробовували на зсув у спеціальній установці. Встановлено, що влаштування металевої сітки у три шари з обох сторін стіни з подальшим нанесенням цементного розчину товщиною 10 мм є найбільш ефективним способом підсилення, що забезпечує збільшення осьової деформації до 233 %, а граничну несучу здатність на 143 % порівняно із стіною без підсилення (рис. 1.6).

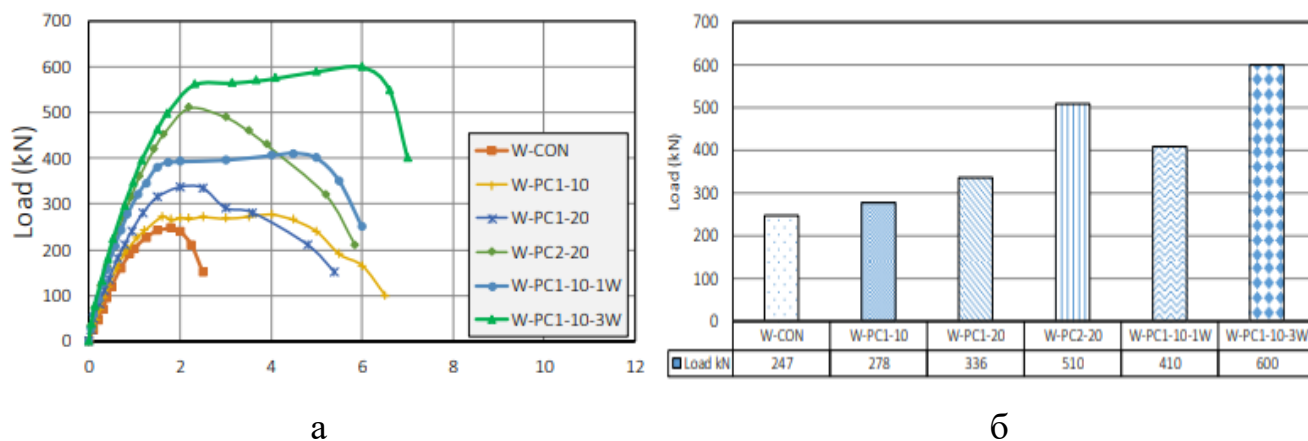


Рис. 1.6. Результати експериментальних досліджень [64]:

а – визначення осьової деформації; б – визначення граничної несучої здатності

Збільшення товщини цементного розчину сприяє його швидкому розтріскуванню та призводить до збільшення маси зразків. При цьому, використання одного шару металевої сітки не дозволяє виконати значне підсилення досліджуваної конструкції. Однак, як стверджує автор [64], дана технологія підсилення потребує подальшого дослідження.

Металева та комбінована обойма. Технологію влаштування металевої обойми для підсилення кам'яних конструкцій [47] використовують у випадках, коли збільшення поперечного перерізу конструкцій небажане. Зазвичай, для влаштування металевих обойм використовують різноманітні сталеві елементи – кутики, планки, стійки, тощо, які, зазвичай, з'єднують між собою зварюванням. Таке рішення дозволяє виконати суттєве надійне підсилення конструкцій, оскільки значна частина навантаження буде сприйматися саме обоймою. Однак, зазначена технологія є трудомісткою та тривалою.

За необхідності, можливе підсилення кам'яних конструкцій суміщеною технологією [50] з улаштуванням металевої обойми та оббетонування. Однак зазначену технологію доцільно застосовувати для підсилення конструкцій зі значними пошкодженнями або за необхідності сприйняття конструкцією значно більшого навантаження ніж передбачено проєктом.

Перевагою технологій влаштування обойм можна вважати: зрозуміле, логічне та відпрацьоване виконання технологічних операцій; доступність матеріалів; можливість застосовування для конструкцій із значними пошкодженнями. Однак, використання обойм призводить до значного збільшення маси конструкцій а, іноді до суттєвого збільшення їх поперечного перерізу, зменшення корисної площі/ об'єму приміщень, що часто є небажаним.

Варто зазначити, що незалежно від вибору обойм, перед їх влаштуванням передбачено виконання ремонту наявних тріщин зачеканюванням чи ін'єктуванням ремонтними розчинами для відновлення цілісності конструкцій.

Технології механічного закріплення конструкцій з тріщинами.

Влаштування накладних сталевих елементів та тяжів. Однією із класичних технологій підсилення кам'яних конструкцій з тріщинами можна вважати

влаштування накладок з металевих елементів [47] – швелерів, кутиків, пластин та влаштування тяжів, що можуть бути влаштовані зовні чи з середини будівлі, як накладні поверх тіла конструкції так і в ньому з попереднім влаштуванням штраби, розміри якої відповідають розмірам накладного елемента. Для фіксації накладних металевих елементів між собою та з конструкцією використовують стяжні болти, які пропускають через тіло конструкції.

Усталеним способом підсилення цегляних конструкцій із тріщинами є спосіб влаштування шпонок із арматурних стержнів або із сталевих прокатних елементів. Застосування даної технології доцільне при тріщинах з шириною розкриття до 10 мм. Технологія влаштування шпонок полягає у влаштуванні штраб у тілі конструкції з відповідними проєктними розмірами. Штраби очищують від пилу та бруду, встановлюють у них сталеві шпонки та у подальшому заповнюють ремонтним розчином.

Технологія влаштування накладних сталевих елементів дозволяє перерозподілити розтягуючі зусилля, що можуть виникнути у конструкціях. Проте, недоліком даної технології є додаткове втручання в пошкоджену конструкцію, що може призвести до подальшого руйнування, а також значна трудомісткість виконання ремонтно-відновлювальних робіт. Важливо відмітити, що підсилення механічним кріпленням виконується разом із ремонтом тріщин шляхом їх зачеканки чи ін'єктування.

Підсилення монтажем стержнів у основу. Низка закордонних компаній пропонує для підсилення кам'яних і цегляних конструкцій з пошкодженнями у вигляді тріщин використовувати гвинтові стержні з високоміцної сталі [54, 65-67]. Спосіб підсилення кладки шляхом монтажу у неї стержневих елементів можна поділити на наступні методи: «сухий» монтаж стержнів у тіло конструкції (рис. 1.7, а) та поверхневий монтаж стержнів (рис. 1.7, б).

Технологія підсилення кладки з тріщинами влаштуванням стержнів у тіло конструкції, *методом «сухого монтажу»* полягає у бурінні у конструкції отворів на проєктну глибину діаметром дещо меншим від діаметра стержнів, що будуть у подальшому монтуватися. Отвори очищують та загвинчують у них стержні проєктної довжини.

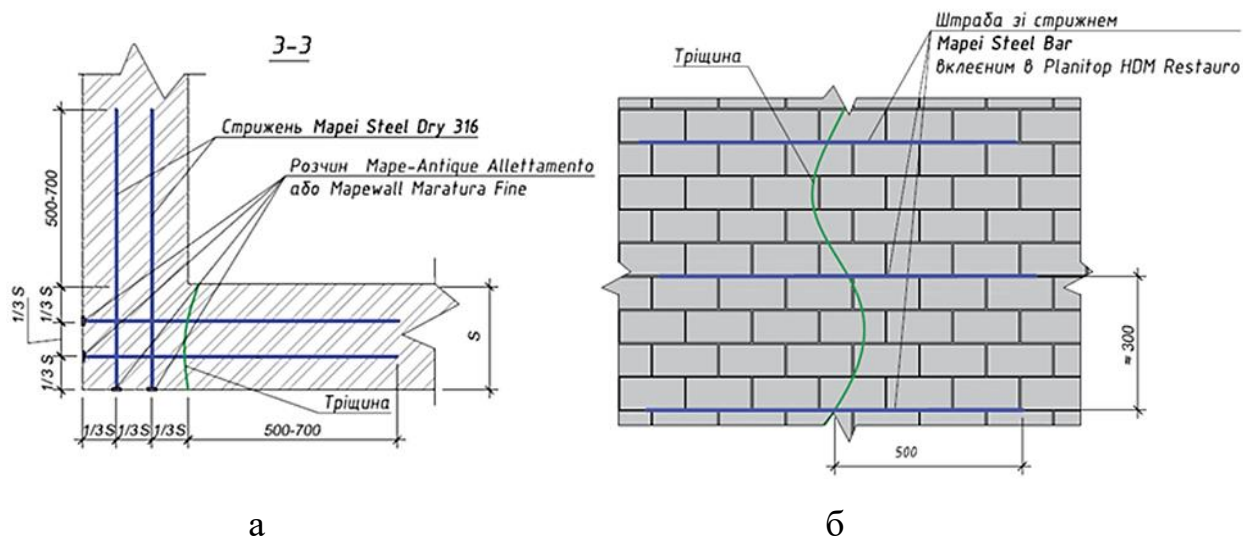


Рис. 1.7. Підсилення конструкції методом «сухого монтажу» (а) та поверхневим монтажем стержнів (б) [54,68]

Перевагою даного методу підсилення є мінімізація зміни загального вигляду конструктивних елементів, що потребують підсилення; мінімальна зміна ваги конструкцій; швидкість виконання робіт; стійкість стержнів до впливу високих температур та вологості; можливість влаштування стержнів у будь-якому просторовому напрямку. Однак недоліком даної технології є значна трудомісткість, висока вартість матеріалів, відсутні достатні дані щодо дослідження зміцнення пошкоджених конструкцій.

Метод поверхневого монтажу стержнів [68-71] у кладку полягає у влаштуванні штраб у кладці з тріщиною на глибину не менше 50 мм з кроком по висоті близько 300 мм довжиною не менше ніж 500 мм з кожного боку від тріщини. Штраби очищують від пилу, промивають водою та орієнтовно на 2/3 глибини штраби за допомогою спеціального шприца вкладають ремонтну суміш. Відразу після цього у суміш утоплюють сталевий стержень і далі повністю заповнюють ремонтною сумішшю.

Аналіз результатів досліджень свідчить про доцільність та ефективність використання зазначеного способу підсилення цегляних конструкцій з тріщинами. Важливо, що при застосуванні даного способу фактично не збільшується маса конструкцій, та не відбувається значного втручання у тіло конструкцій. Відповідно, за необхідності можна легко відновити візуальний вигляд підсилених конструкцій. Однак, суттєвим недоліком є трудомісткість виконання робіт та їх вартість.

Технологія підсилення конструкцій влаштуванням зовнішнього армування.

Влаштування зовнішнього армування із композитних матеріалів.

Розповсюдженим способом підсилення кладки кам'яних стін є влаштування зовнішнього армування із скловолокна, вуглецевого волокна або ламелей з використанням полімерних матеріалів (здебільшого епоксидного клею) [51, 54, 72].

Варто зауважити, що існує два принципові методи підсилення/ закріплення кам'яних конструкцій зовнішнім армуванням. До першого варто віднести – улаштування поясів підсилення по зовнішньому периметру будівель, або окремих конструкцій стін, зазвичай у межах міжповерхових перекриттів [54, 72, 73]. До другого можна віднести – локальні підсилення у межах тріщин чи інших пошкоджень [54].

Для прикладу наведено технологію влаштування зовнішнього поясу підсилення з використанням композитних матеріалів ТОВ «МАПЕЙ Україна» – склосітки Mapegrid та двокомпонентного армованого волокном цементного розчину Planitor HDM Maxi (рис. 1.8). Суть методу підсилення з улаштування зовнішніх поясів полягає у підготовці основи (очищення від пилу, бруду та ін.); зволоження та нанесення шару цементного армованого розчину товщиною 4-5 мм на основу; нанесення шару ґрунту (після твердіння розчину, орієнтовно через добу); вкладання шпателем епоксидної шпаклівки товщиною 1-1,5 мм; «втоплення» у шпаклівку стрічки з вуглецевого волокна; вкладання другого шару епоксидної шпаклівки; фіксація стрічок з вуглецевого волокна по довжині та на перехресних ділянках точковим кріпленням із вуглецевих шнурів.



Рис. 1.8. Влаштування вуглецевої стрічки MapeWrap C UNI-AX 300 з нанесенням просочувального шару MapeWrap 31 [54]

Особливістю даного методу підсилення кам'яних конструкцій влаштуванням зовнішніх поясів є можливість підсилення окремої ділянки або, за необхідності, суцільне підсилення всієї конструкції чи будівлі. Таке підсилення фактично не змінює масу конструкцій, при цьому зберігаються її усі геометричні параметри. Тривалість та трудомісткість виконання ремонтно-відновлювальних робіт є достатньо низькою. Дана технологія ефективна коли стінові конструкції суцільні, тобто відсутні проєми у межах поясів. Однак варто зауважити, що таке підсилення не ефективне при збільшенні навантажень на будівлю чи на конструкції, які підсилюються.

Наклеювання вуглецевих волокон за допомогою епоксидних клеїв на конструкції є напрямом, що активно розвивається. Легкість та швидкість виконання робіт, широкий вибір епоксидних клеїв та вуглецевого волокна та значне підвищення міцності конструкцій без збільшення їх маси та зміни геометрії є перевагою даного способу підсилення.

Недоліком даного способу підсилення є неможливість наклеювання волокон на поверхні із пошкодженнями у вигляді гострих країв, вибиванням окремих елементів кладки тощо, оскільки у подібних місцях виникатиме концентрація напружень, що призведе до відклеювання/ відшарування підсилення від основи. Також, значним недоліком є низька стійкість епоксидних клеїв до впливу зміни температури, особливо високої.

М. Corradi та ін. [74] досліджували можливість ремонту тріщин у стінах із керамічних блоків за допомогою вуглецевого волокна наклеєного на епоксидний клей (CFPR). До цегляних стовпів (зразків) прикладали стискаючі та зсувні зусилля за допомогою спеціальної установки до появи перших тріщин з фіксацією значень. Так, горизонтальні руйнівні зусилля складали від 150,55 кН до 158,68 кН при вертикальному тиску 0,3 та 0,2 МПа відповідно. Тріщини шириною розкриття 4-7 мм утворилися на межі блоків та мурувального розчину з частковим розтріскуванням блоків. Для ремонту використали спосіб наклеювання вуглецевого волокна у місцях пошкоджень на епоксидний клей з обох сторін пошкодження. Після полімеризації клею виконали повторне прикладання руйнівних зусиль із фіксацією їх значень. Встановлено, що міцність на зсув збільшилася у 1,3-1,4 рази, порівняно із значеннями

отриманими до підсилення. При цьому тріщина, у місці ремонту розкрилася до значень 0,3-0,8 мм без подальшого збільшення. При збільшенні навантаження спостерігалось руйнування зразків по діагоналі у місцях відсутності вуглецевих волокон. Дане дослідження свідчить про доцільність використання вуглецевих волокон приклеєних на епоксидний клей для підсилення кам'яних конструкцій виконаних із керамічних блоків.

Текстильно-армовані розчини (TRM). Відносно новим способом закріплення кам'яних конструкцій є використання текстильно-армованих розчинів (textile reinforced mortar (TRM)) [75-78], що широко використовується за кордоном. Дослідженнями даного способу підсилення займалися L. A. S. Kouris [75], S. De Santis [76], N. Ismail [77], F. G. Carozzi [78] та ін.

Технологія закріплення кам'яних конструкцій полягає у [77] виконанні наступних операцій: очищенні поверхні стін від незв'язних частин, пилу та бруду; заповнення (зачеканення/ ін'єктування) тріщин ремонтними розчинами; зволоження поверхні водою до насичення; нанесення шару вирівнюючого розчину товщиною до 15 мм; нанесення клейового розчину товщиною 3-4 мм плоским шпателем після висихання вирівнюючого; «втоплення» вуглецевої чи склосітки у свіжовкладений клейовий розчин; вкладання наступного шару клейового розчину з вирівнюванням поверхні.

Для перевірки дієвості даної технології була виконана низка експериментальних досліджень, що полягали у визначенні міцності підсиленої кладки на стиск та зсув (імітація сейсмічного впливу). Як засвідчили результати дослідження, армований матеріал має гарну адгезію з основою цегляних конструкцій. Встановлено, що збільшення міцності на стиск складає від 128 % до 136 %, а приріст міцності на зсув складає від 575 % до 786 %.

Перевагою даного способу підсилення є відносно низька трудомісткість виконання робіт, простота виконання. Недоліком даного способу є неможливість використання даного способу на конструкціях зі значними пошкодженнями. Варто зазначити, що даний напрямок підсилення конструкцій активно розвивається за кордоном. Особливо актуальними є дослідження з можливості використання

технології підсилення цегляних конструкцій текстильно-армованими розчинами у сейсмічних районах.

Р. Bischof [79] займався удосконаленням вище зазначеної технології та можливості її використання на стінах виконаних із керамічних блоків. Суть його досліджень полягала у нанесенні спеціального розчину способом розпилювання. При цьому, досліджувалася зміна товщини розчину, кількість шарів скловолокна та спосіб розташування поясів на конструкції. Так, при товщині шару 25 мм вкладали 1 шар скловолокна, при 3 мм – 2 шари. Досліджували кілька варіантів влаштування умовних поясів підсилення (рис. 1.9): без підсилення (а); 2 вертикальні пояси (б); 2 вертикальні та 1 діагональний пояс (в); 2 вертикальні та 2 діагональні пояси (г).

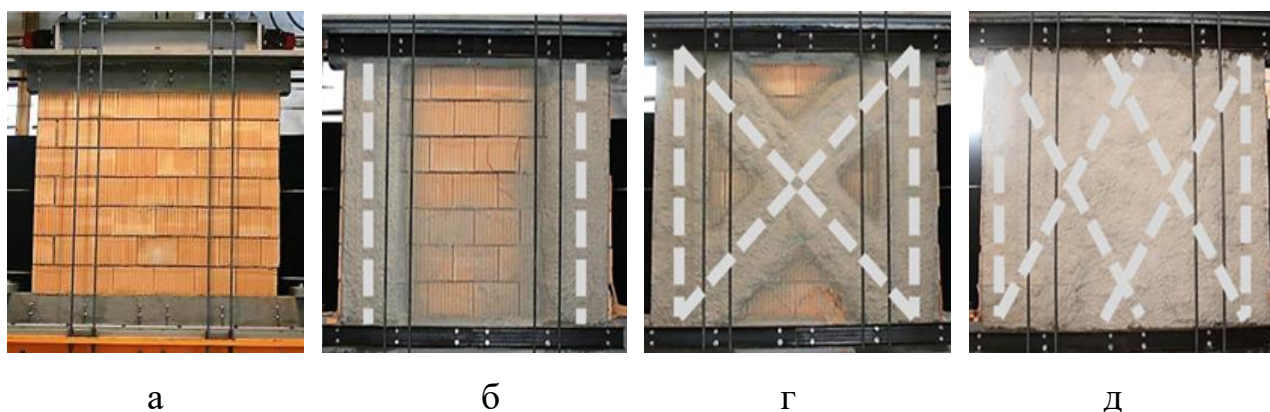


Рис. 1.9. Влаштування поясів підсилення на фрагменти кладки [79]:

- а – зразок без підсилення; б – зразок підсилений двома вертикальними поясами,
- в – зразок посилений двома вертикальними та діагональними поясами;
- г – зразок посилений двома вертикальними та двома діагональними поясами

До зразків одночасно прикладали вертикальне (постійне) та горизонтальне (змінне, циклічне) руйнівне зусилля. Встановлено, що найефективнішим способом підсилення фрагменту стіни із керамічних блоків є варіант із влаштуванням 2-х вертикальних і 2-х діагональних поясів (рис. 1.9, д). При цьому значення руйнівного зусилля для вказаного зразка на 161 % більше порівняно із значеннями для непідсилених зразків.

Варто зауважити, що дані дослідження, а саме дослідження пов'язані із сейсмостійкістю, були проаналізовані у зв'язку з численними динамічними (як одиничними, так і повторними) впливами на конструкції внаслідок військових дій на території України. Відповідно, розуміння поведінки кам'яних конструкцій при сейсмічних/ динамічних навантаженнях є актуальним на даний момент.

Загалом, у даному підрозділі проаналізовано найбільш поширені способи ремонту та підсилення кам'яних (цегляних) конструкцій. Усі вище наведені технології ремонту та підсилення є технологічно обґрунтованими, відносно простими у застосуванні, суттєво не змінюють габарити конструктивних елементів, що потребують проведення ремонтно-відновлювальних робіт та не змінюють значною мірою їх масу.

Варто зауважити, що існують також й інші технології ремонту та підсилення цегляних конструкцій із пошкодженнями. Однак вони не були розглянуті у даному підрозділі у зв'язку із недоведеною ефективністю, високою трудомісткістю чи тривалістю виконання ремонтно-відновлювальних робіт, відсутністю ремонтних матеріалів чи їх аналогів на ринку України.

Проаналізувавши вище наведені технології ремонту та підсилення кам'яних (цегляних) конструкцій можна підсумувати наступне – більшість із технологій направлено на структурне відновлення конструкцій із повнотілої цегли. Однак, у сучасному будівництві все більше використовують порожнисту цеглу чи керамічні блоки. Аналіз науково-технічної літератури засвідчив, що даних щодо ремонту пошкоджень конструкцій, виконаних із вказаних матеріалів обмаль.

Аналіз свідчить, що технологія заповнення тріщин шляхом зачеканки чи ін'єктування ремонтних матеріалів застосовується у всіх наведених способах ремонту чи підсилення кам'яних конструкцій із повнотілої цегли. А ремонт конструкцій із керамічних блоків чи порожнистої цегли виконують шляхом влаштування елементів підсилення, як то наклеювання композитних матеріалів чи текстильно-армованих розчинів. Однак, за умови наявності на конструкціях тріщин, на відміну від конструкцій із повнотілої цегли, не враховано можливість їх заповнення ремонтним матеріалом.

Також встановлено, що відсутні дослідження ефективності ін'єктування тріщин цементними чи полімерними розчинами, що вказують чіткі розмежування критеріїв

щодо необхідності використання того чи іншого матеріалу залежно від виду матеріалу конструкцій. Наявні тільки загальні рекомендації або вказівки.

Враховуючи реалії сьогодення, а саме продовження військових дій на території України та постійне збільшення пошкоджень цегляних конструкцій можна стверджувати, що є необхідність у дослідженні та удосконаленні технології ін'єктування тріщин з можливістю її застосування для конструкцій як із повнотілих, так і порожнистих елементів при забезпеченні якості виконання робіт та проєктних показників відновлених конструкцій.

Для зниження техніко-економічних показників ремонтно-відновлювальних робіт передбачено *робочу гіпотезу дослідження*, яка полягає у тому, що вірно підібраними матеріалами та технологією ін'єктування тріщин вдасться відновити структурну цілісність конструкції стіни шляхом склеювання тріщин як для повнотілої, так і порожнистої цегли та керамічних блоків. Завдяки чому, за відсутності потреби у збільшенні навантаження, потреба у додатковому підсиленні стінових конструкцій буде відсутня.

1.3 Дослідження впливу технологічних чинників на якісні показники ремонту кам'яних конструкцій із тріщинами

Забезпечення нормативних/ проєктних експлуатаційних параметрів відновлених конструктивних елементів вимагає дотримання чіткої технологічної послідовності, а також врахування комплексу чинників, що впливають на результативність та якість робіт як на етапі їх реалізації, так і після нього. З метою встановлення ключових чинників, які визначають ефективність ремонтно-відновлювальних заходів, проведено аналіз сучасної науково-технічної літератури.

Відповідно до виконаного аналізу виокремлено чинники, що на думку автора мають найбільший вплив на технологічний процес ремонту тріщин та на якість виконаних робіт. До таких чинників віднесено наступні:

- вплив вологості основи на технологію виконання робіт та міцність зчеплення з нею ремонтного матеріалу;
- вплив підготовки основи на міцність зчеплення ремонтного матеріалу з нею;

- вплив густини ремонтних матеріалів на якість заповнення тріщин.

Вологість основи. У науково-технічній літературі широко висвітлюється вплив вологості конструкцій на їх якісні показники та експлуатаційні властивості. У нормативних документах, вологість основи конструкцій є одним із ключових чинників при виконанні ремонтно-відновлювальних робіт. Так, наприклад, при виконанні ремонту конструкцій із застосуванням сухих будівельних сумішей [80] допустима вологість основи повинна складати не більше 4 %, а при влаштуванні скріпленої теплоізоляції [81] вологість основи має бути у межах 4-6 %. Тільки на основі цих даних можна стверджувати, що вологість основи є параметром, що може суттєво вплинути на виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

W. A. Kendzierawska та ін. [82] досліджувала вплив вологості основи керамічних виробів на міцність зчеплення з ними гідроізоляційних матеріалів. Так, дослідженню підлягали шість гідроізоляційних матеріалів, з них: три – на полімерно-мінеральній основі, два – на основі полімерно-модифікованих бітумів та один – синтетичний полімер. Перед нанесенням гідроізоляційного покриття цегляну основу штучно зволожували шляхом нанесення води щіткою у різних пропорціях. Досліджено шість станів вологості основи: 0-2 %; 3-4 %; 5-6 %; 7-8 %; 9-10%; 11-12 %.

Далі, на підготовлену поверхню наносили гідроізоляційний матеріал приготований відповідно до рекомендацій виробників та після набрання ним проектної міцності виконували визначення міцності на відрив. Встановлено, що усі протестовані гідроізоляційні покриття зі збільшенням вологості основи мали тенденцію до зменшення міцності зчеплення з нею (рис. 1.10). Тобто, найбільші значення міцності зчеплення з основою були при показниках 0-2 % вологості, а найнижчі – при показниках 11-12 %. При цьому, максимальне значення міцності зчеплення з основою для гідроізоляційних матеріалів на полімерно-мінеральній основі складала 0,87-1,72 МПа при вологості основи 0-4 %; для матеріалів на основі полімерно-модифікованих бітумів максимальні показники міцності складали 0,67-0,81 МПа при тій же вологості основи; а для матеріалу на основі синтетичного полімеру 1,18 МПа при вологості 0-2 %.

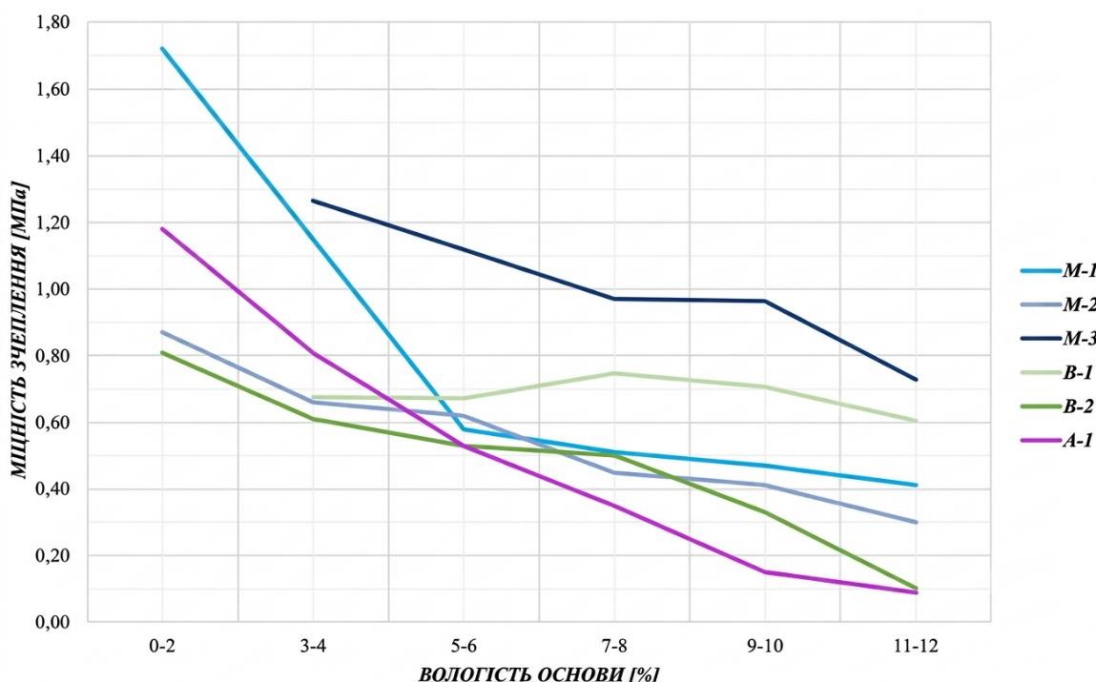


Рис. 1.10 Вплив вологості основи на міцність зчеплення гідроізоляційних покриттів [82]

Аналіз дослідження свідчить, що збільшення вологості основи конструкції має негативний вплив на міцність зчеплення ремонтного матеріалу з основою. Тут варто зауважити, що усі гідроізоляційні матеріали полімеровмісні. Тобто, можна зробити наступні висновки – тенденція до зниження міцності зчеплення основи зі збільшенням її вологості може бути також і для інших полімерних матеріалів, наприклад на основі епоксидних смол. Тому, при їх застосуванні вкрай важливо, щоб основа була максимально суха. При цьому, за умови використання цементних розчинів повинна спостерігатися зворотна дія – збільшення міцності зчеплення з основою при збільшенні її вологості. Тому, при виборі ремонтних матеріалів вкрай важливо враховувати параметри вологості основи як на момент виконання ремонтно-відновлювальних робіт, так і на час подальшої експлуатації конструкцій.

Автором помічено, що в технічних паспортах на матеріали часто не вказано оптимальне значення міцності зчеплення з основою. Однак, даний параметр є найбільш важливим показником якості виконання ремонтних робіт. Тому, зважаючи на результати дослідження можна стверджувати, що вологість основи може бути суттєвим чинником, що має вплив на якісні показники відремонтованих конструкцій.

Значна частка досліджень спрямована на вплив вологості цегляних конструкцій на їх експлуатаційні та міцнісні властивості, а саме на міцність на зсув, міцність на стиск та вигин зразків із керамічної цегли. Далі, анотовано наведено зміст та результати проаналізованих досліджень.

Встановлено, що вологість навколишнього середовища має суттєвий вплив на міцність на зсув цегляних стін із повнотілої та порожнистої цегли [83]. Так, для конструкцій виконаних із повнотілої цегли міцність на зсув при відносній вологості повітря 30 % складала близько 0,2 МПа, при 60 % - близько 0,41 МПа, а при умові постійної вологості у межах 90 % міцність на зсув складала близько 0,58 МПа. У той же час за умови зведення конструкції із порожнистої цегли міцність на зсув складала: при 30 % вологості – 0,38 МПа, при 60 % - близько 0,5 МПа, при 90 % - близько 0,63 МПа. Автор припускає, що таке відхилення у міцностях пов'язане із зчепленням мурувального розчину із тілом цегли. Тобто, для повнотілої цегли зчеплення відбувається по площі постелі цегли, в той час, як для порожнистої цегли розчин проникає у отвори та створює при затвердінні додаткову жорсткість.

D. V. Вомра [85] досліджував міцність на стиск зразків цегляних стовпів та встановив, що підвищення їх вологості сприяє зниженню міцності. Так, при вологості зразків 2,5 % міцність на стиск була на 14-18 % більше ніж для зразків із вологістю 10 %. При цьому, руйнівні зусилля для сухих зразків в середньому складали 220 кН (з коливаннями значень у межах 9,9 кН), а для вологих 212 кН (з коливаннями значень у 29,5 кН).

Аналіз досліджень інших авторів [85] зазначає, що коливання вологості зразків від 0 до 3 % майже не впливає на міцність на стиск. Однак збільшення вологості до 10-13 % призводить до зниження значень міцності на стиск до 15 %.

Стан основи. Х. Лі та ін. [86] досліджували вплив виду підготовки на міцність зчеплення з новими ремонтним матеріалом.

Для дослідження було підготовлено експериментальні зразки з імітацією гладкої поверхні, шорсткої поверхні (створення неглибоких боріздов по поверхні у одному напрямку) та дуже шорсткої поверхні (створення боріздов на поверхні у двох напрямках). При цьому, гладка та шорстка поверхня були сухими, а для дуже шорсткої

поверхні досліджено два стани основи – суха та мокра. Для створення мокрої поверхні зразок промивали під водою протягом 10 хв.

Досліджувані зразки розташовували горизонтально, по периметру навколо них створювали умовну опалубку та вкладали у неї ремонтний розчин. У подальшому зразки піддавалися визначенню міцності на згин через 4 год, через одну та три доби після нанесення ремонтного розчину. Результати дослідження наведено на рис. 1.11.

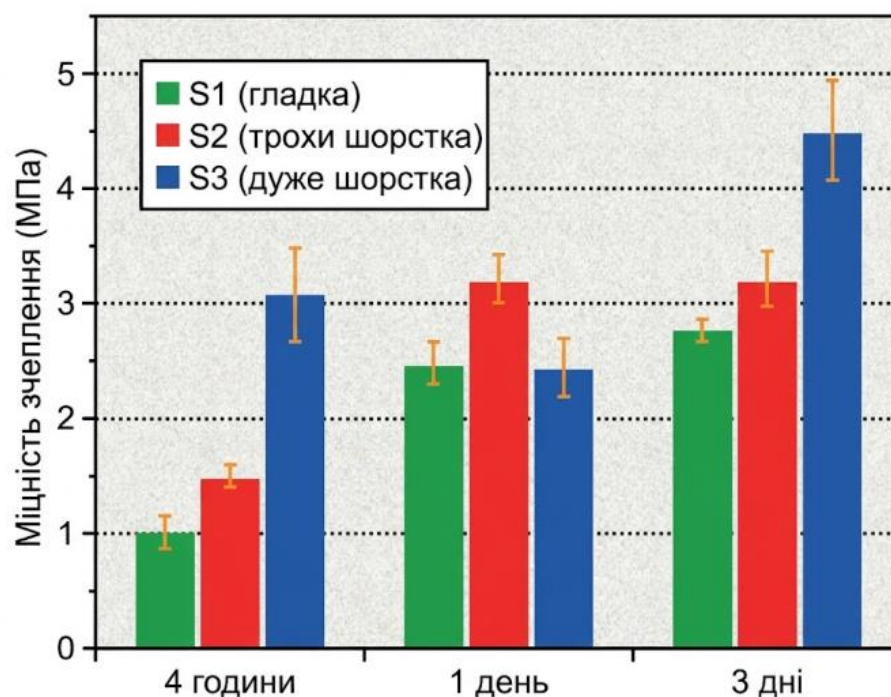


Рис. 1.11. Міцність зчеплення ремонтного матеріалу з основою залежно від якості її підготовки [86]: зелене – гладка поверхня; червоне – шорстка; синій – дуже шорстка

Виконаними дослідженнями встановлено, що для гладкої поверхні міцність зчеплення з основою в усіх випадках (через 4 год та через 1 і 3 доби) була найменша, при цьому найбільше значення міцності зчеплення складало близько 2,8 МПа на 3-тю добу після виконання ремонту.

Для злегка шорсткої поверхні міцність зчеплення з основою складала близько 3,1 МПа уже через добу після виконання ремонтних робіт. А для дуже шорсткої основи спостерігалася наступна тенденція: через 4 год міцність зчеплення складала близько 3 МПа; через добу міцність зчеплення складала близько 2,4 МПа (що може бути пов'язано із поглинанням вологи основою); через три доби міцність зчеплення складала 4,4 МПа, що може свідчити про набрання ремонтним матеріалом міцності.

Густина ремонтних матеріалів. Відповідно до нормативних вимог, для заповнення тріщин може бути використано цементні, полімерні чи інші матеріали. При цьому, не зважаючи на те, що ці матеріали у більшості випадків є високотекучими, їх густина та проникність є різними.

J. F. González-Sánchez та ін. [87] досліджували проникність різноманітних ін'єкційних мінеральних матеріалів (шість матеріалів) вздовж умовної тріщини залежно від їх густини, що додатково коригувалася різноманітними добавками. Оскільки, досліджувані матеріали передбачено використовувати для ремонту тріщин історичних будівель, то з імітували умовні тріщини з використанням циліндрів висотою 400 мм заповнених травертином фракції 2-4 мм. Ін'єкційні матеріали після приготування ін'єктували у однаковому об'ємі у нижню ділянку циліндрів та після їх твердіння виконували оцінку заповнення ними умовної тріщини (рис. 1.12).

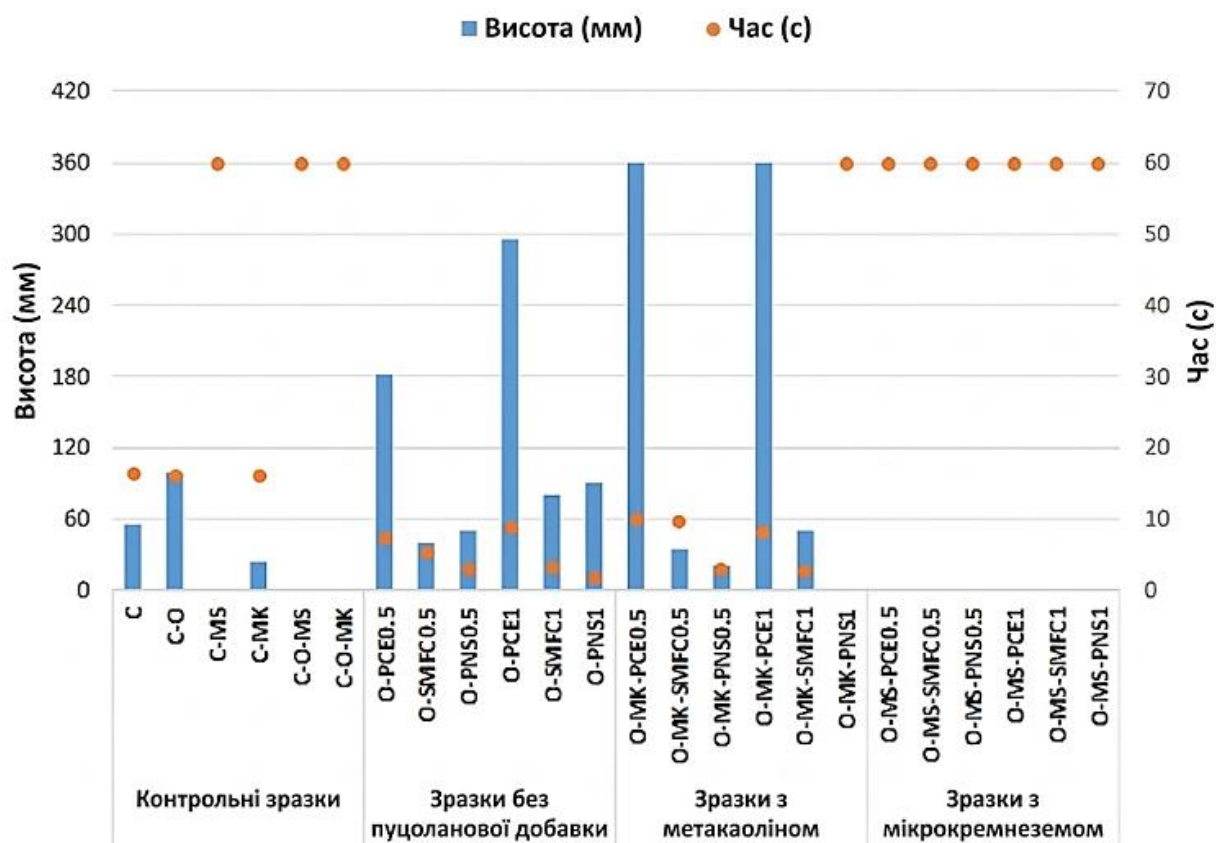


Рис. 1.12. Дослідження проникності ремонтного матеріалу в умовну тріщину [87]

Встановлено, що розчини без додавання добавок частково заповнили умовні тріщини та змогли піднятися над точкою ін'єктування на висоту 55-100 мм. При

додаванні до матеріалів пуцоланів спостерігали часткове погіршення проникності для окремих матеріалів, а для інших навпаки. А при додаванні мікрокремнезему спостерігали повне закупорення умовних тріщин для усіх матеріалів. При додаванні суперпластифікаторів спостерігалось швидке заповнення ремонтним матеріалом умовної тріщини на максимальну висоту. Автори [87] також зазначають, що ремонтні розчини по різному зв'язувалися із добавками, тому однозначно заявити, що конкретна добавка є кращою за інші складно.

У подальшому з отриманих зразків визначено міцність на стиск через 7, 28, 92, 182 та 365 діб після ін'єктування (рис. 1.13). Таким чином визначено вплив добавок на зміцнення конструкції. Встановлено, що додавання меткаоліну збільшило міцність на стиск зразків, що можна пояснити збільшенням щільності матеріалу за рахунок кращого проникнення ін'єкційного розчину. Додавання мікрокремнезему не сприяло підвищенню міцності на стиск, оскільки за рахунок значних розмірів наповнювача не можливо досягнути заповнення порожнин. Додавання суперпластифікаторів сприяло підвищенню міцності на стиск зразків, що, ймовірно, пов'язано із повним проникненням матеріалів у тріщину та краще зв'язування часток основи між собою.

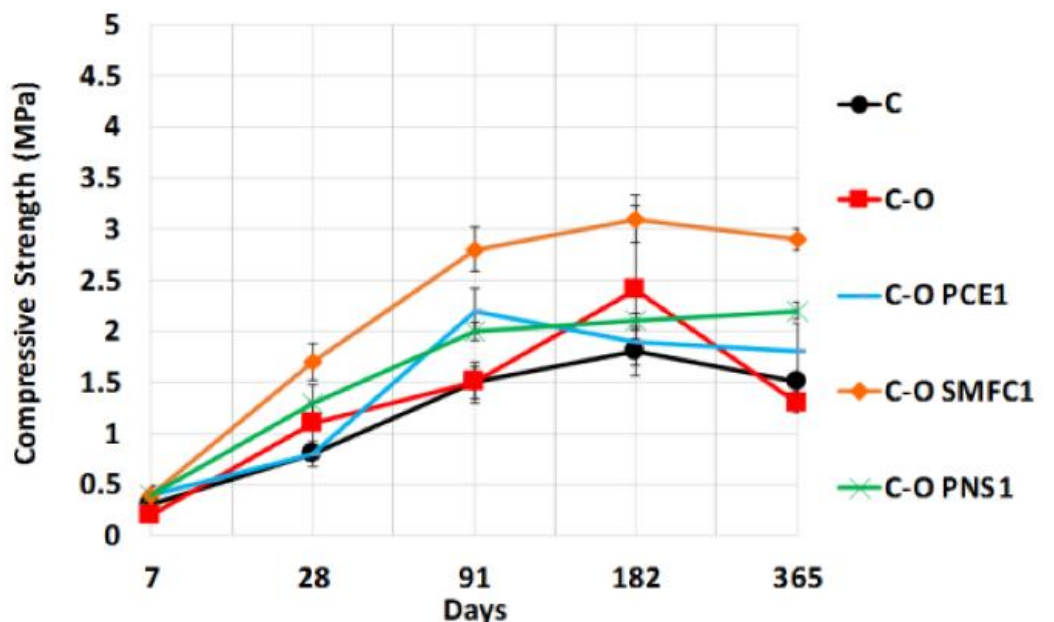


Рис. 1.13. Визначення міцності на стиск зразків, що піддавалися ремонту
(за умови додавання 1 % наповнювачів)

Висновки до 1-го розділу

1. Аналізом науково-технічних звітів із обстеження пошкоджених будівель встановлено, що близько 60 % пошкоджених будівель – безкаркасні з несучими стіновими кам'яними конструкціями, із них ~ 68 % конструкцій виконані із повнотілої цегли, ~ 7 % із порожнистої цегли, ~ 11 % із керамічних блоків, ~ 14 % із блоків ніздрюватого бетону та ін. Тріщини з різними геометричними параметрами (довжиною, шириною розкриття, просторовим положенням тощо) є найбільш поширеними пошкодженнями кам'яних конструкцій.

2. Поява тріщин у кам'яних конструкціях може бути викликана як одиночним чинником, так і низкою сукупних факторів. Основними та найбільш розповсюдженими причинами появи тріщин кам'яних конструкцій є: нерівномірне осідання основи/ фундаменту; замокання конструкцій; надмірні навантаження; динамічні навантаження, в тому числі і сейсмічні впливи; біологічна та хімічна корозія; вплив військових дій (вибухи, осколкові пошкодження, пожежі) тощо. Відповідно, ремонт тріщин кам'яних конструкцій є актуальним питанням, що потребує більш детального вивчення.

3. Аналізом науково-технічної та нормативної літератури встановлено, що для ремонту кам'яних конструкцій, у тому числі із тріщинами, існує значна кількість технологій. Залежно від очікуваного результату може бути виконано: заповнення тріщин для відновлення структурної цілісності конструкцій; відновлення несучої здатності конструкцій; підсилення конструктивного елементу (збільшення несучої здатності). Найбільш поширеною технологією ремонту конструкцій із повнотілої цегли є заповнення тріщин ремонтним матеріалом способом зачеканки (заповнення тріщини без відновлення міцнісних показників чи підсилення конструкції) та ін'єктування (заповнення та склеювання тіла конструкції, збільшення її несівної здатності та інше).

Для ремонту чи підсилення конструкцій із порожнистих елементів найбільшого поширення набули способи влаштування зовнішнього армування шляхом

наклеювання елементів підсилення на епоксидний клей або ж використання текстильно-армованих розчинів.

4. Робочою гіпотезою дослідження передбачено, що вірно підібраними матеріалами та технологією ін'єктування тріщин вдасться відновити структурну цілісність конструкції стіни шляхом склеювання тріщин як для повнотілої, так і порожнистої цегли та керамічних блоків. Завдяки чому, за відсутності потреби у збільшенні навантаження, потреба у додатковому підсиленні стінових конструкцій буде відсутня.

5. Виокремлено найбільш досліджувані технологічні чинники та їх вплив на виконання ремонтно-відновлювальних робіт і їх результати: вплив вологості основи на технологію виконання робіт та міцність зчеплення з нею ремонтного матеріалу; вплив якості підготовки основи на міцність зчеплення ремонтного матеріалу з нею; вплив густини ремонтних матеріалів на якість заповнення тріщин.

7. Найбільш значимі результати першого розділу викладені у роботах [2, 54, 88, 89].

РОЗДІЛ 2

ВИЯВЛЕННЯ ЧИННИКІВ, ЩО МАЮТЬ ВПЛИВ НА ТЕХНОЛОГІЮ ВІДНОВЛЕННЯ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ТРІЩИНАМИ.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Встановлення важливості технологічних чинників

Аналіз науково-технічної та нормативної літератури, виконаний у розділі 1, свідчить, що найбільш поширеним методом ремонту кам'яних конструкцій є ін'єктування ремонтних композицій у порожнини тріщин. Згідно з літературними джерелами, ін'єкційні розчини широко застосовуються для відновлення цілісності кам'яних і залізобетонних елементів [60] (зокрема і на історичних об'єктах), а також для влаштування протифільтраційної гідроізоляції [90, 91].

Сучасний ринок будівельної продукції пропонує широкий асортимент ін'єкційних матеріалів. Виробники зазвичай заявляють про суттєве підвищення міцності, тріщиностійкості та деформативності відновлених конструкцій в разі застосування їх матеріалів. Проте, в більшості випадків ці дані не мають належного підтвердження.

Додатково встановлено, що основний масив наявних наукових праць присвячений вивченню несучої здатності та фізико-механічних показників уже відновлених конструкцій. Водночас процес ін'єктування з точки зору технології вивчений/ відображений недостатньо. Зокрема, практично відсутні дослідження, що обґрунтовують специфіку ремонту тріщин у керамічних блоках та інших порожнистих елементах із урахуванням їхньої геометрії.

Таким чином, виникає потреба в комплексному дослідженні технологічних параметрів ін'єктування кам'яних конструкцій та встановленні впливу різного роду чинників на технологію робіт та/ або якісні показники відремонтованої конструкції.

Враховуючи аналіз науково-технічної літератури щодо питання виокремлення технологічних чинників, які можуть мати вплив як на якісні показники відремонтованих конструкцій, так і на технологію виконання ремонтно-відновлювальних робіт встановлено, що у ній не достатньо висвітлено або взагалі відсутнє висвітлення питання досліджень окремих чинників. А саме, відсутні

дослідження впливу ширини розкриття тріщин та інших геометричних параметрів на технологію їх ремонту; не у достатній мірі висвітлено питання дослідження вибору виду ремонтного матеріалу залежно від виду кам'яних конструкцій; в обмеженій кількості дані щодо розробки технології ін'єктування кам'яних конструкцій в цілому.

Не зважаючи на відсутні дослідження, технологія ін'єктування є однією із найбільш використовуваних. Аналіз звітів із технічного обстеження об'єктів будівництва дав змогу виокремити ряд технологічних чинників, що на думку автора можуть мати найбільший вплив на технологію виконання ремонту тріщин кам'яних конструкцій [92] та виконати їх ранжування (значущість) з використанням методу експертних оцінок [93, 94]. Суть методу полягає у опитуванні групи експертів, що безпосередньо мають відношення до виконання ремонтно-відновлювальних робіт кам'яних конструкцій способом ін'єктування з метою визначення пріоритетності наведеного переліку технологічних чинників на технологію ремонту. Анкета-опитувальник, надана експертам, наведено у дод. А.

До участі в опитуванні залучили 10 експертів. До розгляду їм було надано перелік із десяти технологічних чинників, що на думку автора можуть мати вплив на технологію виконання ремонтно-відновлювальних робіт. До таких чинників віднесено:

- m_1 – геометричні параметри тріщини: ширина розкриття, глибина та довжина;
- m_2 – вид матеріалу конструкції (повнотіла цегла, порожниста цегла, керамічні блоки);
- m_3 – вид / тип ремонтного розчину (цементний, полімерний) враховуючи текучість, густину, усадку тощо.
- m_4 – стан основи та її підготовка, у тому числі і стан тіла кам'яної кладки та суцільність заповнення швів;
- m_5 – порядок ін'єктування (заповнення) тріщини знизу-вгору чи згори-вниз;
- m_6 – ін'єктування (заповнення) тріщин залежно від способу влаштування пакера (в тріщину, під кутом в глиб тріщини, під кутом зовні тріщини);
- m_7 – вологість конструкції;
- m_8 – час та тиск ін'єктування ремонтного розчину;
- m_9 – температура навколишнього середовища та конструкції на момент виконання ремонтно-відновлювальних робіт;
- m_{10} – висота розташування пошкодження (тріщина), доступність до неї.

За допомогою методу експертних оцінок виконано визначення ваги (важливості) кожного чинника. Для цього експерти оцінили вплив чинників на технологію ремонту тріщин кам'яних конструкцій ін'єктуванням, присвоюючи їм відповідну оцінку. Так, найбільш впливовий чинник на думку експерта отримує максимальну оцінку 10, найменш впливовий – 1.

Для оцінки значущості чинника вирішено використовувати психометричну шкалу Сааті, тобто шкалу експертного оцінювання пріоритетів або переваг, параметри якої наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Шкала значущості чинника

Ступінь значущості	Визначення	Пояснення
1	Однакова значущість (немає переваг)	Дві дії роблять однаковий внесок у досягнення мети
3	Деяка перевага значущості однієї дії над іншою (слабка значущість)	Існують розуміння на користь переваги однієї з дій, однак ці розуміння недостатньо переконливі
5	Істотна або сильна значущість	Є надійні дані або логічні судження для того, щоб показати перевагу однієї з дій
7	Очевидна або дуже сильна значущість	Переконливе свідчення на користь однієї дії перед іншою
9	Абсолютна значущість	Свідчення на користь переваги однієї дії щодо іншої найвищою мірою переконливі
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між двома сусідніми судженнями	Ситуація, коли необхідне компромісне рішення

Для визначення результуючого вектору пріоритету наданих технологічних чинників використовували *метод приписування балів*. А перевіряли розрахунки *методом попарного порівняння*.

Метод визначення вагових коефіцієнтів на основі методу приписування балів

Відповідно до аналізу анкет-опитувальників, значення показників за ступінню їх значущості, відповідно до думки експертів, а також вага показників наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Ступінь значущості чинників на технологію ін'єктування тріщин кам'яних конструкцій відповідно до експертних оцінок

Експерт	Чинники									
	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅	m ₆	m ₇	m ₈	m ₉	m ₁₀
1	7	5	9	10	8	6	3	4	2	1
2	8	6	9	10	7	5	4	3	1	2
3	10	5	8	9	7	6	3	2	4	3
4	9	7	8	10	5	4	6	4	3	2
5	8	6	10	9	7	5	3	3	2	1
6	9	5	10	8	6	7	4	3	2	2
7	8	6	10	9	5	7	4	2	3	1
8	10	4	8	9	7	6	5	3	1	2
9	8	5	9	10	7	4	6	3	2	2
10	8	5	10	9	6	7	4	2	3	2

За методом приписування балів для подальшого розрахунку було визначено вагу кожного окремого і-го чинника за формулою (2.1):

$$r_i = \frac{m_i}{\sum_{j=1}^m m_{ij}} \quad (2.1)$$

Загальна вага чинника, враховуючи думку усіх експертів розраховувалася за формулою:

$$\sum_{i=1}^n r_j \quad (2.2)$$

Вага чинника, за методом приписування балів, визначається за формулою (2.3):

$$w_j = \frac{r_i}{n} \quad (2.3)$$

Дані, відповідно до розрахунку за формулами наведено у таблиці 2.3.

Розрахунок ваги чинників за методом приписування балів

Експерт	Загальна сума балів	Вага чинників									
	$\sum_{j=1}^m m_{ij}$	r_{i1}	r_{i2}	r_{i3}	r_{i4}	r_{i5}	r_{i6}	r_{i7}	r_{i8}	r_{i9}	r_{i10}
1	55	0,13	0,09	0,16	0,18	0,15	0,11	0,05	0,07	0,04	0,02
2	55	0,15	0,11	0,16	0,18	0,13	0,09	0,07	0,05	0,02	0,04
3	57	0,18	0,09	0,14	0,16	0,12	0,11	0,05	0,04	0,07	0,05
4	58	0,16	0,12	0,14	0,17	0,09	0,07	0,10	0,07	0,05	0,03
5	54	0,15	0,11	0,19	0,17	0,13	0,09	0,06	0,06	0,04	0,02
6	56	0,16	0,09	0,18	0,14	0,11	0,13	0,07	0,05	0,04	0,04
7	55	0,15	0,11	0,18	0,16	0,09	0,13	0,07	0,04	0,05	0,02
8	55	0,18	0,07	0,15	0,16	0,13	0,11	0,09	0,05	0,02	0,04
9	56	0,14	0,09	0,16	0,18	0,13	0,07	0,11	0,05	0,04	0,04
10	56	0,14	0,09	0,18	0,16	0,11	0,13	0,07	0,04	0,05	0,04
$\sum_{i=1}^n r_j$		1,53	0,97	1,64	1,67	1,17	1,02	0,75	0,52	0,41	0,32
w_j		0,15	0,10	0,16	0,17	0,12	0,10	0,08	0,05	0,04	0,03

Відповідно до результатів отриманих за методом приписування балів побудовано діаграму важливості впливу технологічних чинників на технологію ремонту цегляних конструкцій ін'єктуванням (рис.2.1)

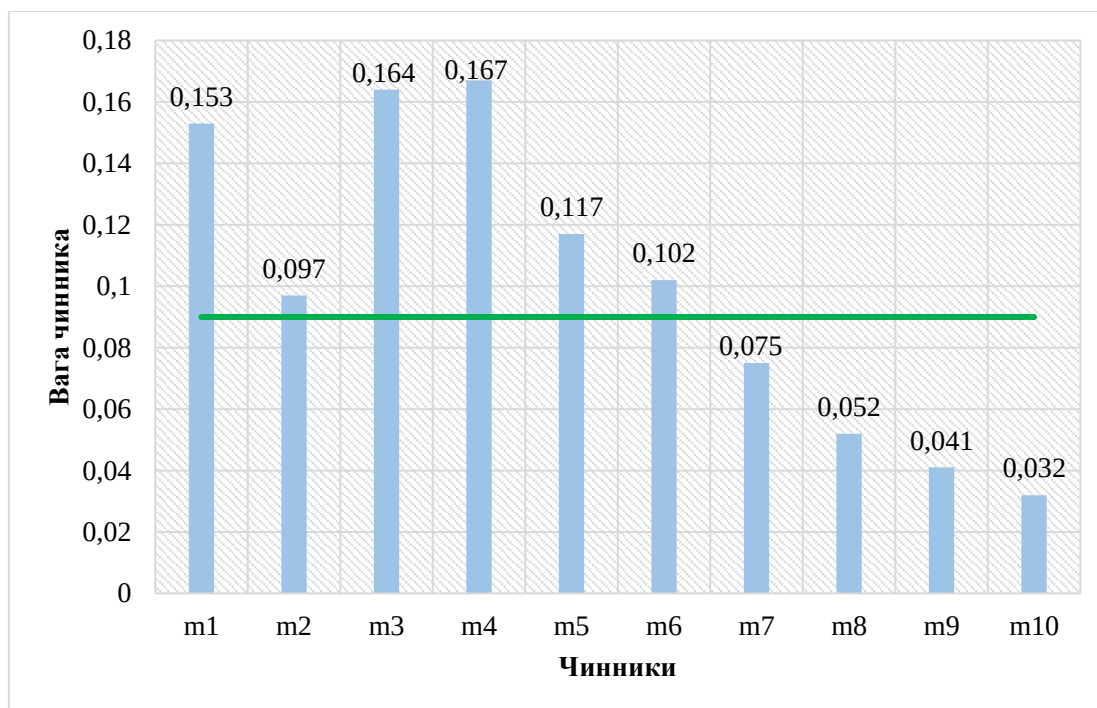


Рис. 2.1. Діаграма важливості впливу технологічних чинників на технологію ремонту цегляних конструкцій ін'єктуванням за методом приписування балів на основі експертного опитування (зеленою лінією вказано поріг вагомості чинників)

Встановлено, що вагомість чинників за методом приписування балів, на думку експертів, розподілилася наступним чином:

- 1) m_4 – стан основи та її підготовка, у тому числі і стан тіла кам'яної кладки та суцільність швів, $w_4 = 0,167$;
- 2) m_3 – вид / тип ремонтного розчину (цементний, полімерний) враховуючи текучість, густину, усадку тощо, $w_3 = 0,164$;
- 3) m_1 – геометричні параметри тріщини: ширина розкриття, глибина та довжина, $w_1 = 0,153$;
- 4) m_5 – порядок ін'єктування (заповнення) тріщини знизу-вгору чи згори-вниз, $w_5 = 0,117$;
- 5) m_6 – ін'єктування (заповнення) тріщин залежно від способу влаштування пакера (в тріщину, під кутом в глиб тріщини, під кутом зовні тріщини), $w_6 = 0,102$;
- 6) m_2 – вид матеріалу конструкції (повнотіла цегла, порожниста цегла, керамічні блоки), $w_6 = 0,097$;
- 7) m_7 – вологість конструкції, $w_7 = 0,075$;
- 8) m_8 – час та тиск ін'єктування ремонтного розчину, $w_8 = 0,052$;
- 9) m_9 – температура навколишнього середовища та конструкції на момент виконання ремонтно-відновлювальних робіт, $w_9 = 0,041$;
- 10) m_{10} – висота розташування пошкодження (тріщина), доступність до неї, $w_{10} = 0,032$.

Для подальшого планування експериментальних досліджень буде враховано чинники, що виходять за поріг вагомості, а саме: стан основи і її підготовка; вид ремонтного матеріалу; геометричні параметри тріщин; порядок ін'єктування; спосіб влаштування ін'єкційного пакера; вид матеріалу конструкції.

Визначення вектору пріоритетів за допомогою метода попарних порівнянь

Для перевірки отриманих результатів виконано розрахунок вектору вагових коефіцієнтів (пріоритетів) за основним методом Сааті. Для цього застосовано метод попарних порівнянь. На основі даних експертних оцінок (табл. 2.2) побудовано матрицю попарних порівнянь A з 6-ма найвпливовішими, на думку експертів, чинниками, а саме:

f_1 – геометричні параметри тріщини;

f_2 – вид матеріалу конструкції (повнотіла цегла, порожниста цегла, керамічні блоки);

f_3 – вид / тип ремонтного розчину (цементний, полімерний);

f_4 – стан основи та її підготовка;

f_5 – порядок ін'єктування (заповнення) тріщини;

f_6 – ін'єктування (заповнення) тріщин залежно від способу влаштування пакера.

Визначення середньої оцінки для окремого чинника знайдено за формулою (.4:

$$f_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} m_j}{10} \quad (2.4)$$

Середні оцінки для кожного критерію:

- $f_1 = (7 + 8 + 10 + 9 + 8 + 9 + 8 + 10 + 8 + 8) / 10 = 85 / 10 = 8,5$ – геометричні параметри тріщини;
- $f_2 = (5 + 6 + 5 + 7 + 6 + 5 + 6 + 4 + 5 + 5) / 10 = 54 / 10 = 5,4$ – вид матеріалу конструкції (повнотіла цегла, порожниста цегла, керамічні блоки);
- $f_3 = (9 + 9 + 8 + 8 + 10 + 10 + 10 + 8 + 9 + 10) / 10 = 91 / 10 = 9,1$ – вид / тип ремонтного розчину (цементний, полімерний);
- $f_4 = (10 + 10 + 9 + 10 + 9 + 8 + 9 + 9 + 10 + 9) / 10 = 93 / 10 = 9,3$ – стан основи та її підготовка;
- $f_5 = (8 + 7 + 7 + 5 + 7 + 6 + 5 + 7 + 7 + 6) / 10 = 65 / 10 = 6,5$ – порядок ін'єктування (заповнення) тріщини;
- $f_6 = (6 + 5 + 6 + 4 + 5 + 7 + 7 + 6 + 4 + 7) / 10 = 57 / 10 = 5,7$ – ін'єктування (заповнення) тріщин залежно від способу влаштування пакера.

Для побудови матриці попарного порівняння розміром 6 x 6 було використано обрані чинники у порядку ранжування, а саме: f_4 , f_3 , f_1 , f_5 , f_6 , f_2 . Матриця формується за формулою 2.5:

$$a_{ij} = f_i / f_j \quad (2.5)$$

де, f_i – середня оцінка критерію i .

Для зворотніх елементів розрахунок виконується за формулою 2.6:

$$a_{ji} = 1/a_{ij} \quad (2.6)$$

Матриця А має наступний вигляд (з урахуванням середніх оцінок).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 8,5/5,4 & 8,5/9,1 & 8,5/9,3 & 8,5/6,5 & 8,5/5,7 \\ 5,4/8,5 & 1 & 5,4/9,1 & 5,4/9,3 & 5,4/6,5 & 5,4/5,7 \\ 9,1/8,5 & 9,1/5,4 & 1 & 9,1/9,3 & 9,1/6,5 & 9,1/5,7 \\ 9,3/8,5 & 9,3/5,4 & 9,3/9,1 & 1 & 9,3/6,5 & 9,3/5,7 \\ 6,5/8,5 & 6,5/5,4 & 6,5/9,1 & 6,5/9,3 & 1 & 6,5/5,7 \\ 5,7/8,5 & 5,7/5,4 & 5,7/9,1 & 5,7/9,3 & 5,7/6,5 & 1 \end{bmatrix}$$

Після розрахунку матриця матиме наступний вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1,574074 & 0,934066 & 0,913978 & 1,307692 & 1,491228 \\ 0,635294 & 1 & 0,5934407 & 0,580645 & 0,830769 & 0,947368 \\ 1,070588 & 1,685185 & 1 & 0,978495 & 1,4 & 1,596491 \\ 1,094118 & 1,722222 & 1,021739 & 1 & 1,430769 & 1,631579 \\ 0,764706 & 1,203704 & 0,714286 & 0,698925 & 1 & 1,140351 \\ 0,670588 & 1,055556 & 0,626374 & 0,612903 & 0,877193 & 1 \end{bmatrix}$$

Далі виконуємо обчислення значення вектору пріоритетів за кожним чинником на основі представленої вище матриці. Відповідні обчислення виконуємо за формулою 2.7:

$$q_i = \sqrt[n]{a_{ij} \cdot a_{ij+1} \cdot \dots \cdot a_{in}} \quad (2.7)$$

тобто, за методом середнього геометричного:

$$q_1 = \sqrt[6]{1 \times 1,574074 \times 0,934066 \times 0,913978 \times 1,307692 \times 1,491228} = 1,203$$

$$q_2 = \sqrt[6]{0,635294 \times 1 \times 0,5934407 \times 0,580645 \times 0,830769 \times 0,947368} = 0,765$$

$$q_3 = \sqrt[6]{1,070588 \times 1,685185 \times 1 \times 0,978495 \times 1,4 \times 1,596491} = 1,288$$

$$q_4 = \sqrt[6]{1,094118 \times 1,722222 \times 1,021739 \times 1 \times 1,430769 \times 1,631579} = 1,317$$

$$q_5 = \sqrt[6]{0,764706 \times 1,203704 \times 0,714286 \times 0,698925 \times 1 \times 1,140351} = 0,92$$

$$q_6 = \sqrt[6]{0,670588 \times 1,055556 \times 0,626374 \times 0,612903 \times 0,877193 \times 1} = 0,807$$

Сума ваги критеріїв рівна: $1,203 + 0,765 + 1,288 + 1,317 + 0,92 + 0,807 = 6,3$.

Результуюча вага критерія визначається за формулою 2.8:

$$w_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (2.8)$$

Виконавши відповідні обчислення, розташуємо чинники та ступенем їх вагомості від найважливішого до найменш важливого:

f_4 – стан основи та її підготовка, $w_4 = 1,317 / 6,3 = 0,209$ або 20,9 %;

f_3 – вид / тип ремонтного розчину (цементний, полімерний);, $w_3 = 1,288 / 6,3 = 0,204$ або 20,4 %;

f_1 – геометричні параметри тріщини, $w_1 = 1,203 / 6,3 = 0,191$ або 19,1 %;

f_5 – порядок ін'єктування (заповнення) тріщини, $w_5 = 0,92 / 6,3 = 0,146$ або 14,6 %;

f_6 – ін'єктування (заповнення) тріщин залежно від способу влаштування пакера, $w_6 = 0,807 / 6,3 = 0,128$ або 12,8 %;

f_2 – вид матеріалу конструкції (повнотіла цегла, порожниста цегла, керамічні блоки); $w_2 = 0,765 / 6,3 = 0,121$ або 12,1 %.

На основі отриманих результатів побудовано діаграму пріоритетності технологічних чинників, що представлено на рис. 2.2.

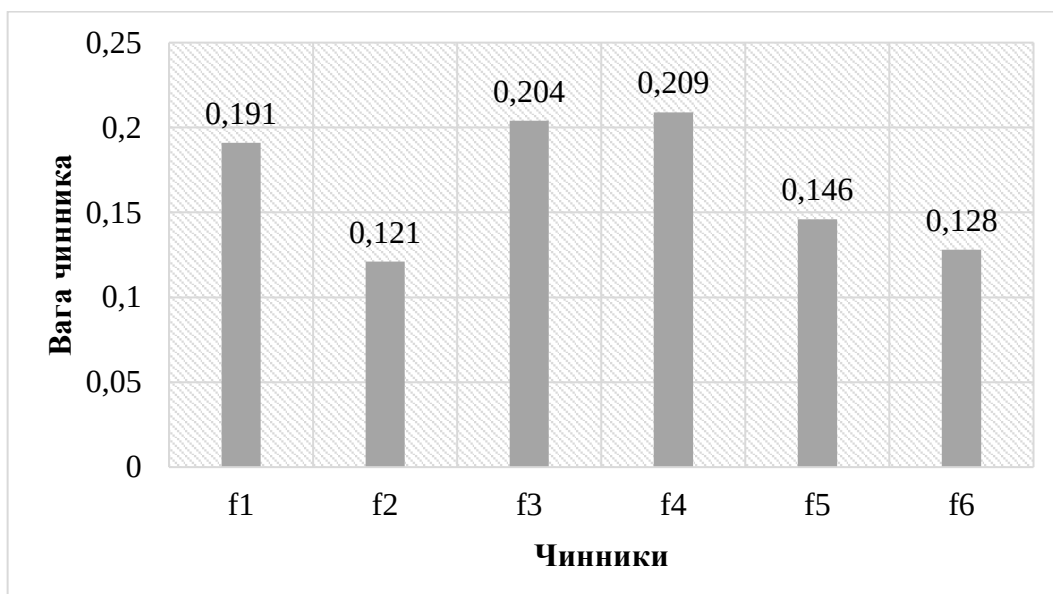


Рис. 2.2. Діаграма пріоритетності технологічних чинників на технологію відновлення цегляних конструкцій ін'єктуванням за методом попарних порівнянь

Отже, отримані значення вектору пріоритетів визначеного за допомогою методу попарних порівнянь підтверджують значення отримані за методом приписування балів.

Відповідно до результатів розрахунків пріоритетності чинників, при плануванні подальших експериментальних досліджень буде враховано:

- стан основи та її підготовка;
- вид / тип ремонтного розчину;
- геометричні параметри тріщин;
- порядок ін'єктування (заповнення) тріщини;
- ін'єктування (заповнення) тріщин залежно від способу влаштування пакера;
- вид матеріалу конструкцій.

2.2 Загальна методика дисертаційного дослідження

Для удосконалення технології ін'єктування тріщин кам'яних (цегляних) конструкцій, що дозволить отримати якісні достовірні результати виконання ремонтно-відновлювальних робіт необхідна розробка загальної методики дисертаційного дослідження. Ця методика має структурувати весь обсяг дисертаційної роботи та виокремити її ключові етапи. Використання загальноприйнятих наукових методів досліджень дозволить отримати вихідні дані, які стануть основою для розробки вдосконаленої технології ремонту пошкоджених стін і практичних рекомендацій щодо її впровадження.

Загальну методику дисертаційного дослідження представлено у вигляді блок-схеми на рис. 2.3.

У відповідності до загальної методики дисертаційного дослідження(див. рис. 2.3) на *першому етапі* виконано аналіз доступної науково-технічної літератури з метою встановлення чинників, що призводять до виникнення дефектів та пошкоджень кам'яних/цегляних конструкцій будівель та споруд; проаналізовано відомі технології ремонту та підсилення пошкоджених кам'яних конструкцій; виокремлено найбільш поширену технологію ремонту тріщин – ін'єктування; проаналізовано технологічні чинники, що мають вплив на технологію виконання ремонтно-відновлювальних робіт та їх якість.

На *другому етапі* визначено перелік найбільш пріоритетних чинників, що можуть мати вплив на технологію виконання робіт, розроблено загальну методику

експериментальних досліджень з урахуванням виокремлених чинників, обрано перелік досліджуваних матеріалів та необхідного обладнання.

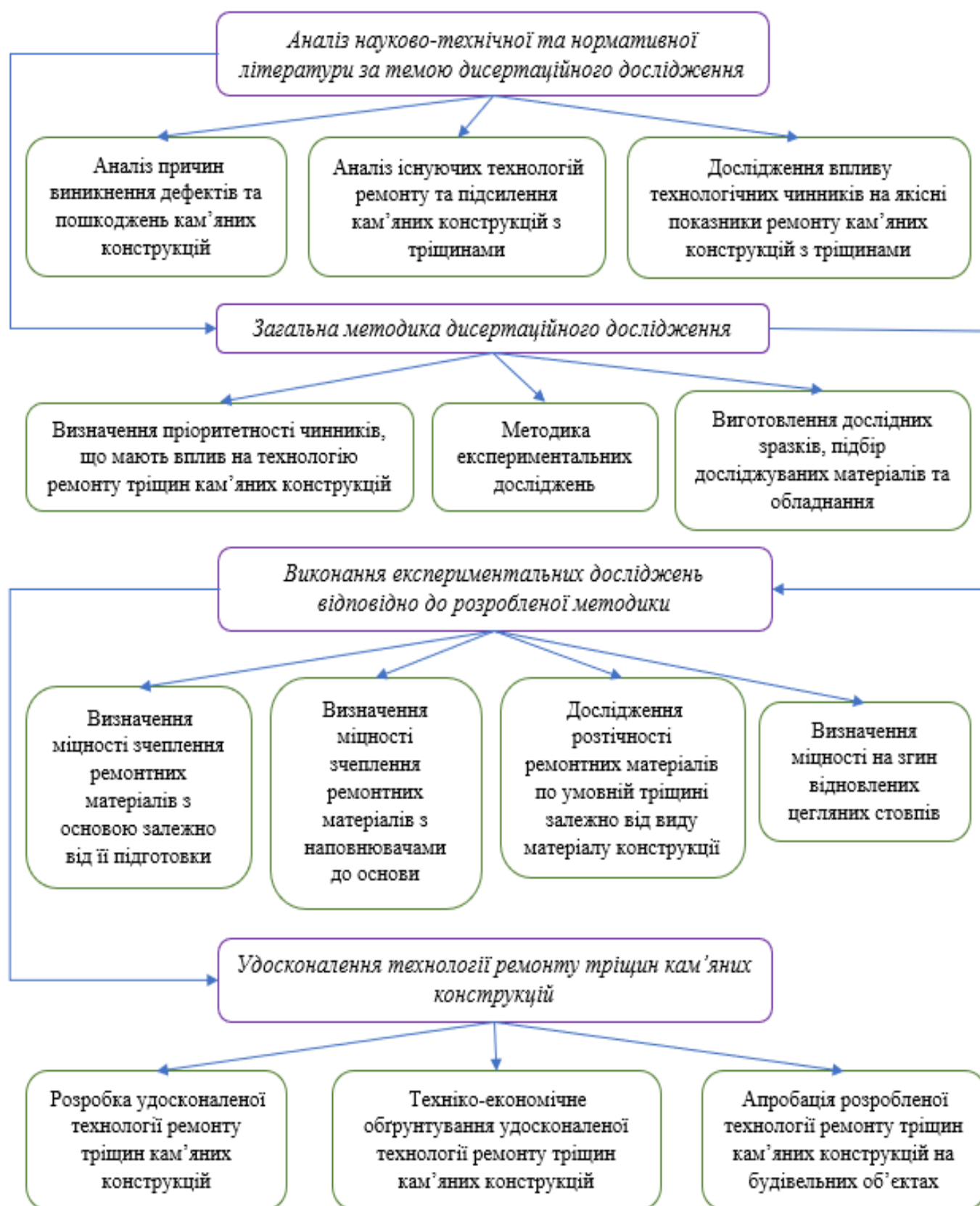


Рис. 2.3 – Блок-схема загальної методики дисертаційної роботи

На *третьому етапі* передбачено виконання ряду експериментальних досліджень, що включають:

- ✓ визначення міцності зчеплення ремонтних матеріалів до основи (цегли) залежно від способу її підготовки.

Так, для проведення даного дослідження передбачено використання окремих цеглин марки М100 (з однієї партії) та 4 ремонтних матеріалів, що будуть наноситися на основу: двох цементних сумішей та двох полімерних розчинів. Заплановано перевірити вплив спеціальних адгезивних матеріалів (розчин Primer 3296 та просочувальна полімерна композиція Консолід 1) та води на міцність зчеплення ремонтних розчинів та основи.

- ✓ визначення впливу наповнювачів, доданих до обраних ремонтних матеріалів, на міцність зчеплення матеріалу до цегли.

Для даного дослідження заплановано використати 4 види наповнювачів: тальк, карбонат кальцію, аеросил, пісок річковий сухий, що будуть додаватися до ремонтних матеріалів у визначених пропорціях.

- ✓ визначення розтічності ремонтних матеріалів по умовній тріщині для встановлення кроку пакерів за умови їх ін'єктування у тріщини конструкцій виконаних із повнотілої цегли, порожнистої (круглопустотної) цегли та керамічних блоків.

Дослідження передбачатиме використання змурованих фрагментів стін із різного виду штучних каменів (повнотілої цегли, порожнистої цегли та керамічних блоків) з прикріпленням оргсклом для можливості спостереження за розповсюдженням ремонтного матеріалу для встановлення кроку пакерів.

- ✓ встановлення можливості склеювання тріщин обраними ремонтними матеріалами з визначенням міцності на згин відновлених зразків.

Дана серія досліджень передбачатиме визначення міцності на згин відремонтованих за технологією ін'єктування зразків кам'яних конструкцій обраними ремонтними матеріалами. При цьому, буде досліджено пусті тріщини та тріщини попередньо заповнені кварцовим піском.

Як результат буде встановлено вплив досліджуваних технологічних чинників на технологію виконання ремонту тріщин ін'єктуванням для її удосконалення.

Останній етап дисертаційної роботи передбачатиме розробку удосконаленої технології ремонту тріщин цегляних конструкцій ін'єктуванням з урахуванням отриманих залежностей, виконання техніко-економічного обґрунтування удосконаленої технології та виконано впровадження удосконаленої технології ін'єктування на будівельних об'єктах.

Так, вище описано послідовність виконання досліджень для розробки удосконаленої технології ремонту тріщин цегляних конструкцій ін'єктуванням з урахуванням таких чинників впливу як стан основи та її підготовка; вид / тип ремонтного розчину; геометричні параметри тріщин; порядок ін'єктування (заповнення) тріщини; ін'єктування (заповнення) тріщин залежно від способу влаштування пакера; вид матеріалу конструкцій.

2.3 Застосовані матеріали та обладнання

Для проведення експериментальних досліджень передбачено використання наступних будівельних матеріалів: цегла, цементний мурувальний розчин, адгезивні розчини та ін'єкційні ремонтні матеріали.

Цегла. Для досліджень використано три види штучних каменів, а саме:

1. Цегла глиняна повнотіла рядова;
2. Цегла порожниста рядова;
3. Керамічні пустотілі блоки/камені.

Основні фізико-механічні характеристики та геометричні параметри обраних матеріалів наведено у табл. 2.4.

Мурувальний розчин. Для мурування зразків використано мурувальний цементно-піщаний розчин марки М150 з наступним складом пісок:цемент:вода у співвідношенні 1:4:0,7 відповідно. При цьому, як наповнювач використано пісок річковий середньої крупності, об'ємною густиною 2610 кг/м³. Для цементно-піщаного розчину також використано портландцемент марки М-500 та вода технічна чиста.

Основні фізико-механічні характеристики та геометричні параметри цегли

Вид каміння	Марка міцності на стиск	Водопоглинання, %	Теплопровідність, Вт/м°C	Морозостійкість, марка	Пустотність, %	Геометричні розміри, мм
Цегла глиняна повнотіла	M100	5-9	0,56-0,59	F25	-	250 x 120 x 65
Цегла порожниста рядова	M100	15	0,5	F25	-	250 x 120 x 65
Керамічний блок/камінь	M100	10-13	0,18	F50	48	250 x 120 x 138

Адгезивні матеріали. Для перевірки впливу адгезивів на міцність зчеплення ремонтного розчину з цеглою використано наступні матеріали:

- *Primer 3296* (виробництво ТМ «MAPEI») [95] – вододисперсна глибокопроникна акрилова ґрунтівка, що призначена для консолідації та покращення характеристик слабких, крихких та пильних поверхонь. Щільність при температурі 20 ± 2 °C складає $1,01 \text{ г/см}^3$. Ґрунтівка текуча, наноситься на поверхню за допомогою щітки з м'яким ворсом чи валиком;

- *Консолід І* (виробництво ТМ «Композит») [96] – високопроникна двокомпонентна полімерна просочувальна композиція призначена для поверхневого зміцнення, гідрофобізації, знепилення, підвищення хімічної стійкості. Щільність при температурі 20 ± 2 °C складає $1,05 \text{ г/см}^3$. Рідина високотекуча, наноситься на поверхню конструкцій валиком чи щіткою з м'яким ворсом.

Для цементних розчинів, для зволоження основи перед укладанням ремонтного матеріалу, використано чисту технічну воду.

Ін'єкційні ремонтні матеріали. У якості ремонтних ін'єкційних розчинів обрано наступні матеріали:

- *Едмок ін'єкційний* – двокомпонентна полімерна високотекуча композиція (виробництво ТМ «Композит» [97]) призначена для склеювання, герметизації, антикорозійного захисту та ін.;

- *Epojet* – двокомпонентна супертекуча епоксидна смола (виробництво ТМ «МАРЕІ» [98]) призначена для склеювання та армування конструкцій ін'єктуванням під низьким тиском. Щільність при температурі 20 ± 2 °C складає $1,14 \text{ г/см}^3$;

- *Stabilcem* – високотекуче порошкоподібне в'язуче на цементній основі, що розширюється, для ін'єкційних розчинів (виробництво ТМ «МАРЕІ» [99]). Матеріал порошкоподібний. Приблизна витрата розчину при ін'єктуванні складає $1,5 \text{ кг/л}$. Міцність зчеплення з бетоном на відрив складає більше $2,5 \text{ МПа}$ (відповідно до технічного паспорту).

- *Microcem 12000* – неорганічне мікродисперсне гідравлічне в'язуче з пуцолановою дією призначене для гідроізоляції та консолідації кам'яних споруд та для ін'єктування ґрунтових масивів (виробництво ТМ «МАРЕІ» [100]). Даний матеріал досліджувався додатково, для перевірки можливості його використання у якості ремонтного розчину для ін'єктування тріщин цегляних конструкцій.

- ін'єкційні пакери (ін'єктори) – для цементного матеріалу пластиків, для полімерних матеріалів (металеві).

Обладнання, що використано у дослідженнях. Для виконання запланованих експериментальних досліджень використано наступне обладнання.

Адгезіометр – установка, що призначена для визначення зусилля розтягу/відриву (адгезійного з'єднання) шляхом створення направленого розривного напруження (рис. 2.4). У комплекті до адгезіометра використовують металеві «п'ятаки» - квадратні пластини ($50 \times 50 \times 5 \text{ мм}$) з привареним кріпленням з внутрішньою різьбою через яку виконуються кріплення пристрою.

Використання адгезіометра для визначення величини та виду адгезійного з'єднання ремонтного матеріалу з конструкцією передбачено на 1-му, 2-му та 3-му етапах досліджень.

Оцінку результатів дослідження виконувалася відповідно до ДСТУ Б EN 1015-12:2012 [14] (рис. 2.5).

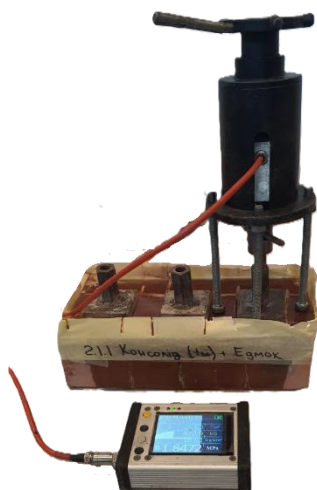


Рис. 2.4. Адгезіометр, загальний вигляд

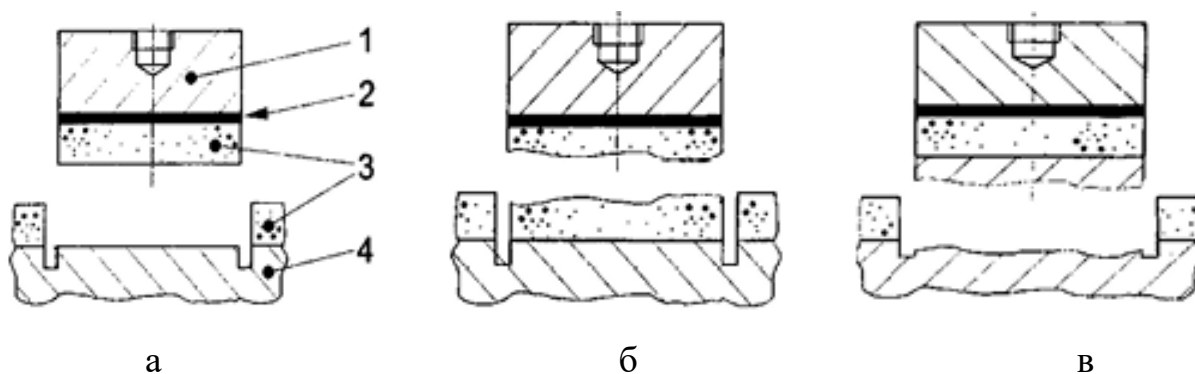


Рис. 2.5. Вид руйнування відповідно до ДСТУ Б EN 1015-12:2012 [101], де:

- 1 – п'ятак; 2 – клейовий розчин; 3 – ремонтний розчин, що випробовується;
4 – основа (цегла); а) адгезійне руйнування (на межі ремонтного розчину та клею);
б) когезійне руйнування (у тілі ремонтного розчину); в) когезійне руйнування (у тілі конструкції)

Гідравлічний прес П-100 – використано для вимірювання міцності на згин цегляних стінок до та після їх ремонту. Прикладання зусилля до дослідних зразків виконувалося покроково з фіксацією руйнівного значення. Використання гідравлічного пресу передбачено на 4-му етапі експериментальних досліджень.

Ін'єкційний насос для смол (цементу) – обладнання призначене для ін'єктування ремонтних розчинів до тріщин у кам'яних конструкціях під низьким тиском (рис. 2.6, а). Насос обладнано ємністю для суміші обсягом 2 л, сіткою фільтраційною, поршневым насосом, манометром, шлангом для подачі суміші, двигуном. Варто

зазначити, що не зважаючи на те, що насос, відповідно до технічних характеристик, можна використовувати для ін'єктування цементних високотекучих матеріалів, фактично його було використано тільки для ін'єктування полімерних композицій, оскільки при використанні цементних матеріалів насос швидко виходив з ладу.



Рис. 2.6. Ін'єкційне обладнання: а) ін'єкційний насос електричний;
б) насос ручний будівельний

Ручний насос будівельний (рис. 2.6, б) призначений для подачі ремонтного цементного матеріалу до тріщини у конструкції під незначним тиском.

Використання електричного насоса та ручного будівельного насоса передбачено на 3-му та 4-му етапах експериментальних досліджень.

Висновки до 2-го розділу

1. Аналізом науково-технічної літератури недостатньо висвітлено дослідження спрямовані на встановлення впливу технологічних чинників на технологію виконання ремонту тріщин кам'яних конструкцій ін'єктуванням. Більшість досліджень висвітлюють поведінку конструкцій після виконання комплексу ремонтно-відновлювальних робіт.

2. Для встановлення переліку технологічних чинників, що мають найбільший вплив на технологію ремонту (на думку автора) виконано їх ранжування методом експертних оцінок з розрахунком ступеню значущості чинників на технологію ін'єктування тріщин кам'яних конструкцій методом приписування балів та перевірено його методом попарних порівнянь. Розрахунком для планування та

виконання експериментальних досліджень виокремлено перелік чинників, що більше порогу вагомості чинників, а саме (перелік чинників наведено у порядку спадання їх важливості): стан основи та її підготовка; вид/тип ремонтного розчину (цементний, полімерний); геометричні параметри тріщини (ширина розкриття); порядок ін'єктування (заповнення) тріщини знизу-вгору чи згори-вниз; ін'єктування (заповнення) тріщин залежно від способу влаштування пакера (в тріщину, під кутом в глиб тріщини; вид матеріалу конструкції (повнотіла цегла, порожниста цегла, керамічні блоки).

3. Для врахування якісної оцінки експериментальних досліджень та розробки удосконаленої технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій ін'єктуванням розроблено загальну методика дисертаційного дослідження. Методика структурувала усі дослідження з виокремленням найважливіших етапів, та включала в себе: аналіз науково-технічної та нормативної літератури; розробку методики експериментальних досліджень; розробку удосконаленої технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій з урахуванням результатів виконаних експериментальних досліджень та апробацію удосконаленої технології.

4. Для проведення експериментальних досліджень визначено застосовані матеріали, а саме: вид цегляних елементів – повнотіла та порожниста цегла, керамічні блоки/камені; матеріали для мурування; адгезійні розчини. Обрано досліджувані ремонтні ін'єкційні матеріали: два цементних матеріали – Stabilcem і Microcem 12000 (виробництво ТМ «МАРЕІ»); два полімерні матеріали - Едмок ін'єкційний (виробництво ТМ «Композит») і Ероjet (виробництво ТМ «МАРЕІ»). Виокремлено перелік обладнання, необхідного для виконання експериментальних досліджень.

5. Найбільш значимі результати даного розділу викладені у роботах [90].

РОЗДІЛ 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ТРІЩИН КАМ'ЯНИХ СТІН ІН'ЄКТУВАННЯМ

3.1 Методика експериментальних досліджень

Аналіз науково-технічної літератури свідчить, що при виконанні ремонтно-відновлювальних робіт на кам'яних конструкціях з тріщинами, значну роль на якість виконаної роботи та відновлення експлуатаційних властивостей відремонтованих конструкцій мають як окремі технологічні чинники, так і їх сукупність. Встановлено, що у науково-технічній літературі не достатньо даних щодо дослідження впливу окремих технологічних чинників на процес та якість ремонтно-відновлювальних робіт кам'яних конструкцій із повнотілої чи порожнистої цегли або керамічних блоків.

У попередньому розділі, на основі аналізу технічних звітів із обстеження пошкоджених конструкцій будівель та споруд виокремлено перелік технологічних чинників, що, на думку автора, можуть мати вплив на технологію виконання ремонтно-відновлювальних робіт. У подальшому виконано ранжування чинників із використанням методу експертних оцінок та методу попарних порівнянь. Встановлено, що найбільш пріоритетними чинниками є (вказано у порядку зниження пріоритетності): стан основи та її підготовка; вид ремонтного матеріалу (цементний чи полімерний); геометричні параметри тріщин (ширина розкриття, довжина та ін.); порядок/напрямок ін'єктування тріщини та ін'єктування (заповнення) тріщин залежно від способу влаштування пакерів та ін.

Тому, у даному розділі виконано планування та виконання експериментальних досліджень спрямованих на встановлення впливу вище зазначених чинників на технологію ремонту тріщин кам'яних конструкцій та якісні показники відремонтованих конструкцій.

Усі наведені у даному розділі експериментальні дослідження направлені на удосконалення існуючої технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій ін'єктуванням та визначення впливу окремих технологічних чинників на технологію виконання ремонтно-відновлювальних робіт. Для проведення експериментальних

досліджень виконано розробку методики експериментальних досліджень, що включала чотири етапи (рис. 3.1), на кожному з яких досліджено вплив окремих чинників на технологію ремонту чи якість відремонтованих конструкцій.

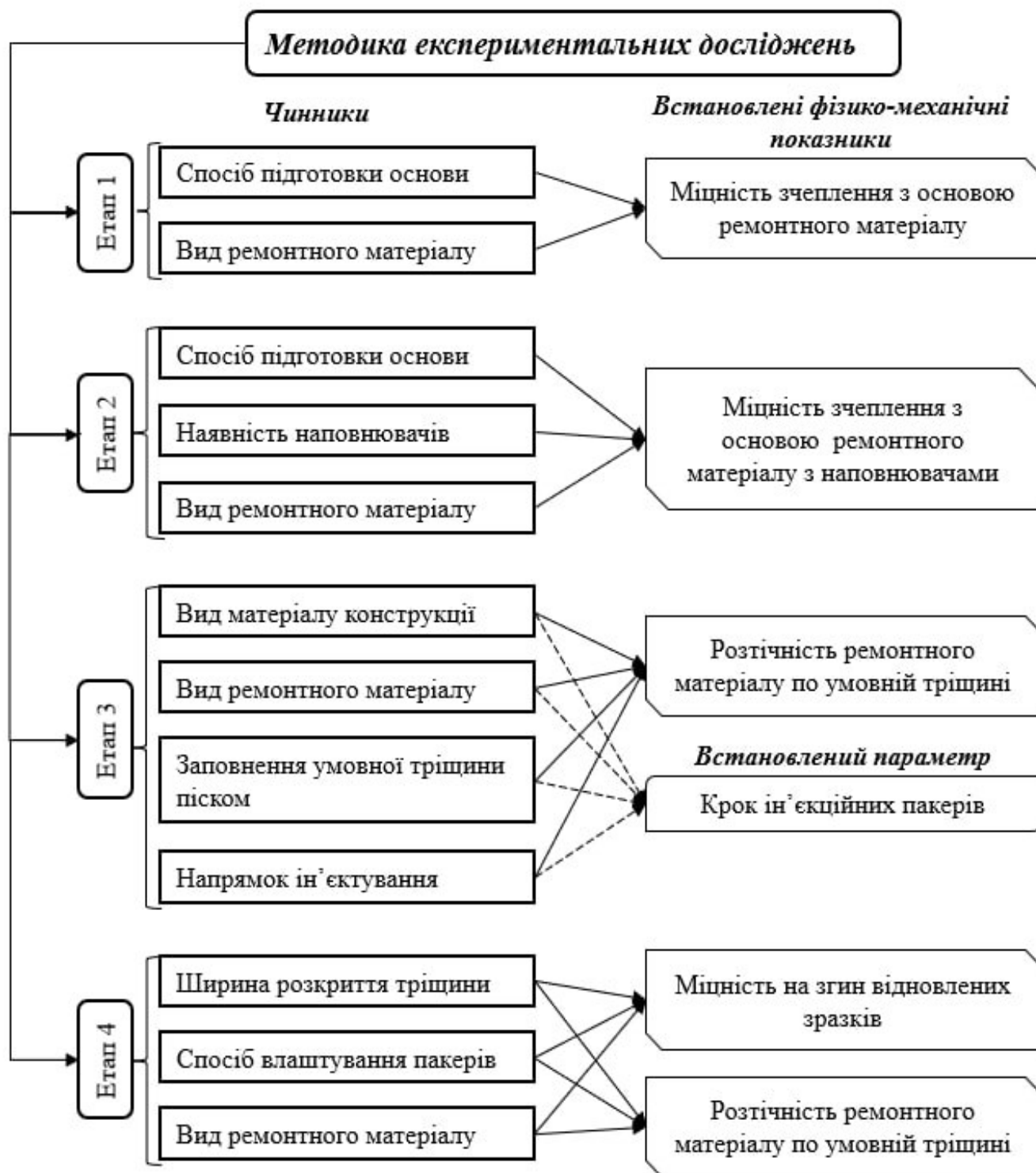


Рис. 3.1. Структурна схема виконання експериментальних досліджень

На першому етапі передбачено дослідити вплив способу підготовки основи конструкції на міцність та вид адгезійного зчеплення ремонтного матеріалу із основою. Для даного дослідження у якості основи використати повнотілу цеглу. Для виконання цього дослідження передбачено нанесення спеціальних адгезивних матеріалів (*Консолід 1, Primer 3296*) і води на частину дослідних зразків перед нанесенням шару ремонтного матеріалу. На іншу частину ремонтний матеріал наносити без підготовки основи (виконати тільки очищення зразків від пилу). Після полімеризації/ затвердіння ремонтних матеріалів виконати визначення міцності з'єднання та вид руйнування. За результатами експериментальних досліджень встановити доцільність та необхідність використання адгезивних матеріалів для виконання подальших експериментальних досліджень технології ремонту тріщин.

Другий етап досліджень присвячено визначенню міцності зчеплення ремонтних матеріалів з основою повнотілої цегли залежно від кількості наповнювача введеного до розчину для перевірки можливості здешевлення ремонтних матеріалів при забезпеченні якості виконання ремонтно-відновлювальних робіт. Підготовку основи, для даного дослідження, виконати з урахуванням результатів попереднього етапу досліджень. У якості наповнювачів передбачено використати: наповнювач № 1 – тальк; наповнювач № 2 – карбонат кальцію; наповнювач № 3 – аеросил; наповнювач № 4 – пісок середньої крупності річковий.

Третій етап досліджень полягав у встановленні розтічності ремонтного матеріалу по умовній тріщині залежно від виду матеріалу конструкції. Для цього перевірено здатність досліджуваних ремонтних матеріалів до заповнення штучно створеної тріщини у конструкціях із повнотілої цегли, порожнистої цегли (з циліндричними пустотами) та конструкції із керамічних блоків. Для контролю висоти підйому та розповсюдження ремонтного розчину по умовній тріщині виготовлено фрагменти кам'яних стін із органічним склом прикріпленим до них. За результатами даного дослідження встановлено величину кроку ін'єкційних пакерів залежно від виду ремонтного матеріалу.

Ширина розкриття тріщин кам'яних конструкцій може бути значною (до 50 мм), і, зазвичай, для ремонту таких тріщин рекомендовано застосовувати цементні матеріали. Однак, полімерні матеріали мають значно кращу адгезію до основи цегли. Тому додатково вирішено перевірити можливість попереднього заповнення тріщини (шириною розкриття близько 10 мм) кварцовим піском середньої крупності з подальшим ін'єктуванням у неї полімерних композицій. Дане дослідження спрямоване на перевірку можливості використання полімерних матеріалів для ремонту тріщин шириною розкриття понад 3 мм і з метою здешевлення технології ремонту тріщин при забезпеченні якісних показників відремонтованої конструкції.

На четвертому етапі досліджень перевірено міцність на згин відремонтованих цегляних стовпів із повнотілої цегли (зразків із штучно створеними тріщинами) обраними ін'єкційними матеріалами залежно від ширини розкриття тріщини та способу влаштування у них ін'єкційних пакерів. При цьому, враховано результати попередніх експериментальних досліджень, а саме: якість підготовки основи; наявність наповнювача; крок пакерів.

3.2 Дослідження міцності зчеплення ремонтних розчинів з основою залежно від способу її підготовки

Метою даного експериментального дослідження є встановлення впливу способу підготовки основи цегляних конструкцій на вид та значення міцності зчеплення досліджуваних ремонтних матеріалів. Оскільки, більшість кам'яних конструкцій виконано саме із повнотілої цегли, то для проведення експериментального дослідження обрано саме її.

У якості ремонтних матеріалів досліджували:

- *Едмок ін'єкційний* – двокомпонентна полімерна високотекуча композиція (ТОВ «Композит»);
- *Epojet* – двокомпонентна супертекуча епоксидна смола (ТМ «МАРЕІ»);
- *Stabilcem* – високотекуче порошкоподібне в'яжуче на цементній основі (ТМ «МАРЕІ»);

Додатково заплановано перевірити адгезію ще одного матеріалу для визначення можливості його подальшого використання у експериментальному дослідженні, а саме *Microset* – мікродисперсне гідравлічне в'язуче з пуцолановою дією (ТМ «МАРЕІ»).

Для проведення даного експериментального дослідження заплановано та проведено 3 серії досліджень – 2 основні серії та 1 додаткова:

1-ша серія досліджень (основна) – спрямована на встановлення виду та значення міцності зчеплення ремонтного матеріалу до основи без її підготовки (виконано знепилення);

2-га серія досліджень (основна) – передбачає виявити вид та значення міцності зчеплення ремонтного матеріалу до основи з попереднім нанесенням на неї адгезивних матеріалів.

3-тя серія досліджень (додаткова) – спрямована на встановлення виду та значення міцності зчеплення матеріалу *Microset* до основи з її попереднім зволоженням (насиченням водою).

У якості адгезивних матеріалів, враховуючи вид ремонтних матеріалів, обрано наступні:

- для цементної суміші *Stabilcem* використовували – чисту воду (для насичення нею основи) та ґрунтівку *Primer 3296* (ТМ «МАРЕІ»);
- для полімерних композицій *Едмок ін'єкційний* та *Epojet* використовували полімерну просочувальну композицію *Консолід І* (ТОВ «Композит»);
- для *Microset* використовували чисту воду.

Для спрощення сприйняття та полегшення подальшої обробки отриманої інформації варіанти досліджень було систематизовано (табл. 3.1).

Кожній серії дослідження присвоєно номер підсерії (табл. 3.2). Зразкам із матеріалами *Microset* номер не присвоювався.

Під час проведення експериментальних досліджень для врахування можливої статистичної похибки використано по 3 зразка для кожної підсерії досліджень. Відповідно, загальна кількість експериментальних зразків для проведення даного дослідження становила: $14 \times 3 = 42$ шт.

Таблиця 3.1

Дослідження міцності зчеплення ремонтного матеріалу з основою (повнотіла цегла)
залежно від способу її підготовки

№ серії дослідження	Спосіб підготовки основи	Ремонтний матеріал			
		Stabilcem	Едмок ін'єкційний	Epojet	Microcem
1-ша (основна)	Без підготовки	+	+	+	-
2-га (основна)	Консолід 1- 1 шар	-	+	+	-
	Консолід 1 - 3 шари	-	+	+	-
	Консолід 1 - 5 шарів	-	+	-	-
	Вода (1 шар)	+	-	-	-
	Вода (3 шари)	+	-	-	-
	Вода (5 шарів)	+	-	-	-
	Primer 3296 – 1 шар	+	-	-	-
	Primer 3296 – 2 шари	+	-	-	-
3-тя (додаткова)	Вода (5 шарів)	-	-	-	+

Таблиця 3.2

Присвоєння номерів підсерії досліджень

№ серії дослідження	Матеріал	Спосіб підготовки основи	Кількість шарів адгезивних розчинів	№ підсерії
1-ша (основна)	Stabilcem	Без підготовки основи	-	1.1
	Epojet		-	1.2
	Едмок ін'єкційний		-	1.3
2-га (основна)	Едмок ін'єкційний	Консолід 1	1 шар	2.1.1
			3 шари	2.1.2
			5 шарів	2.1.3
	Stabilcem	Вода	1 шар	2.2.1
			3 шари	2.2.2
			5 шарів	2.2.3
	Stabilcem	Primer 3296	1 шар	2.3.1
			2 шари	2.3.2
	Epojet	Консолід 1	1 шар	2.4.1
			3 шари	2.4.2
3-тя (додаткова)	Microcem	Вода	5 шарів	без номеру

Експериментальні дослідження виконано в лабораторних умовах за температури навколишнього середовища 20 ± 2 °C та відносної вологості 60 ± 5 %. Уся цегла для експериментальних досліджень відібрана без перепалів, однорідна та з однієї партії. Цегла зберігалася за вказаних умов до проведення експериментів впродовж 5 діб. Підготовка основи усіх зразків полягала у ретельному очищенні від незв'язних матеріалів та пилу постілі цегли за допомогою щітки з м'яким ворсом.

Загалом, експериментальний зразок являє собою повнотілу цеглу (250 x 120 x 65 мм) по периметру якої (навколо постілі) влаштовано бортики із широкої малярної стрічки таким чином, щоб висота виступу стрічки над постіллю складала близько 10-15 мм (рис. 3.2).

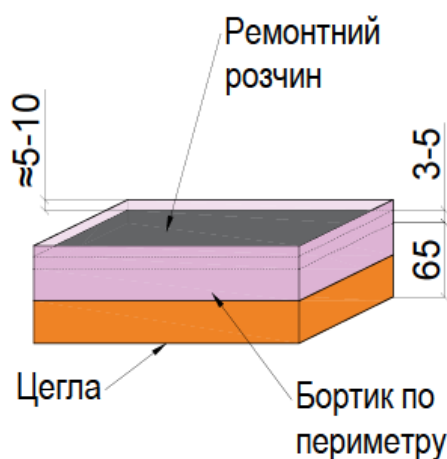


Рис. 3.2. Загальний вигляд дослідного зразка для визначення міцності зчеплення ремонтних розчинів з основою

Малярну стрічку огорнули навколо зразків (цеглин) у 3 шари для забезпечення стійкості та жорсткості бортиків. Загальний вигляд частини партії експериментальних зразків, що будуть використані для 1-ї та 2-ї серій (основних) досліджень наведено на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Загальний вигляд партії експериментальних зразків

Для 1-ї серії досліджень після очищення основи від пилу на постіль наносили заздалегідь приготовані відповідно до рецептури та рекомендацій виробника ремонтні розчини. При цьому, товщина шару ремонтного розчину складала: для *Stabilcem* близько 4 мм, а для полімерних композицій *Едмок ін'єкційний* та *Ероjet* близько 2-3 мм.

Для 2-ї серії досліджень на підготовлену постіль (очищену від пилу) наносили ґрунтовку або воду (див. табл. 3.2) у визначеній кількості шарів. У разі, якщо після нанесення ґрунтовки/ води у визначеній кількості шарів поверхня зразка була мокра від води чи мала дзеркальний вигляд від ґрунтовки, то таку поверхню акуратно витирали сухою ганчіркою.

Для встановлення кількості адгезивного матеріалу, що необхідний для насичення зразка, виконували зважування ємності з розчином до та після його нанесення та виконували візуальну оцінку поверхні зразків після кожного нанесення.

Так, виконаними вимірюваннями встановлено, що маса води, що нанесена в один шар, в середньому складала 14 г. Маса ґрунтовки *Primer 3296* для кожного шару дещо відрізнялася. Так, для першого шару маса складала в середньому 12 г, другого шару в середньому 11 г. Маса просочувальної композиції *Консолід-1* складала: перший шар – в середньому 10 г, наступні шари маса зменшувалася пропорційно та для 5-го шару складала близько 7 г.

Процес нанесення усіх адгезивних розчинів виконувався за допомогою щіток з м'яким ворсом. Кожен наступний шар наносився на зразок після поглинання ним попереднього шару матеріалу. Варто зазначити, що максимальна кількість шарів ґрунтовки, а саме 2 шари, обумовлена рекомендаціями виробника.

Ремонтний матеріал готували безпосередньо перед його використанням. Так, матеріал *Stabilcem* готували шляхом замішування визначеної кількості води з поступовим додаванням цементного порошку за допомогою електричної дрилі на низьких обертах до отримання однорідної суміші. Розчин *Едмок ін'єкційний* та *Ероjet* готували шляхом замішування компоненту А та компоненту Б у відповідних пропорціях протягом 3-х хвилин на низьких обертах.

Суміш *Stabilcem* наносили на основу відразу після її зволоження. При використанні ґрунтовки *Primer 3296*, ремонтний розчин *Stabilcem* наносили на зразки не раніше ніж через 4 год після нанесення останнього шару ґрунту.

При використанні у якості адгезійного шару епоксидної просочувальної композиції *Консолід-1* спочатку виконували її нанесення на зразки у визначеній кількості шарів. Кожен наступний шар просочувальної композиції наносився на зразок після поглинання ним попереднього шару. Не раніше ніж через 24 год після останнього шару просочувальної композиції та її полімеризації, виконували нанесення ремонтних розчинів *Едмок ін'єкційний* або *Epojet*.

У подальшому, після нанесення на зразки ремонтних матеріалів, виконували спостереження за ними. Так, встановлено, що на зразках, які були недостатньо зволожені (номери підсерій 1.1, 2.2.1 та 2.3.1), матеріал *Stabilcem* почав майже відразу (через 5 хв після нанесення) розтріскуватися, що свідчить про поглинання основою води із розчину. На інших зразках розтріскування розчину також спостерігалось, однак воно почало з'являтися через декілька годин після його нанесення, що свідчить про поверхневе вивітрювання вологи та усадку матеріалу. Враховуючи вищезазначене, встановлено, що у подальшому необхідно виконувати захист зразків із цементною ремонтною сумішшю від швидкого висихання шляхом систематичного зволоження. Однак варто зважати, що при ін'єктуванні тріщин реальних конструкцій ремонтний матеріал буде розташовано в середині конструкції. Тому можна припустити, що за таких умов поверхневого вивітрювання вологи не буде. При цьому, буде присутнє поглинання води тілом конструкції. Тому, за умови використання для ремонту тріщини *цементного розчину* необхідно у достатній кількості виконати її *попереднє зволоження*.

Поверхня епоксидних матеріалів не мала розтріскувань, була гладка, глянцева.

Загальний вигляд партії зразків після нанесення ремонтних матеріалів (через 3 год після нанесення) наведено на рис. 3.4.

Через 24 год після полімеризації розчинів *Едмок ін'єкційний* та *Epojet* до поверхні зразків виконували приклеювання металевих, заздалегідь підготовлених (очищених та знежирених), п'ятаків (рис. 3.5, а) для подальшого визначення виду та

значення міцності зчеплення. Приклеювання п'ятаків виконували на полімерний матеріал *Едмок ін'єкційний*. До зразків із цементними розчинами п'ятаки приклеювали через 28 діб після нанесення ремонтного розчину (рис. 3.5, б).



а

б



в

г

Рис. 3.4. Загальний вигляд партії зразків після нанесення ремонтних розчинів: а – матеріал *Едмок ін'єкційний* + *Консолід 1*; б – матеріал *Ероjet* + *Консолід 1*; в – матеріал *Stabilcem* + ґрунтівка *Primer 3296*; г – матеріал *Stabilcem* + вода



а



б

Рисунок 3.5. Загальний вигляд зразків із приклеєними сталевими п'ятаками: а – на полімерній основі; б – на цементній основі

Через 24 год після приклеювання п'ятаків до зразків по їх гранях виконували прорізування штраб за допомогою кутової шліфувальної машинки на глибину, що відповідала глибині ремонтного розчину з частковим прорізанням тіла цегли (рис. 3.6).



Рисунок 3.6. Підготовка зразків до проведення дослідження з визначення міцності зчеплення з основою

Вимірювання міцності зчеплення ремонтних матеріалів виконували за допомогою прилада – адгезіометра (рис. 3.7), що призначений для визначення відривного зусилля, що характеризує величину міцності зчеплення.



Рис. 3.7. Процес вимірювання міцності зчеплення ремонтних матеріалів з основою за допомогою адгезіометра

Усереднені результати вимірювань наведено у табл. 3.3-3.6. Для зручності обробки інформації результати згруповано по ремонтним матеріалам.

Результати дослідження (найбільш характерні) з визначення міцності зчеплення ремонтного матеріалу *Stabilcem* з основою (цеглою) наведено на рис. 3.8.

Визначення міцності зчеплення ремонтного матеріалу *Stabilcem* з основою (цеглою) залежно від способу її підготовки

№ підсерії	Спосіб підготовки основи	Середнє значення міцності зчеплення, МПа			Середнє значення міцності зчеплення по підсерії, МПа	Вид адгезійного з'єднання
		зразок 1	зразок 2	зразок 3		
1	2	3	4	5	6	7
1.1	Без підготовки	0,2228	0,2491	0,2113	0,2277	Адгезійний
2.2.1	Вода (1 шар)	0,1987	0,1714	0,3361	0,2354	Адгезійний
2.2.2	Вода (3 шари)	0,3361	0,3801	0,3220	0,3461	Адгезійно-когезійний
2.2.3	Вода (5 шарів)	0,5413	0,5680	0,4820	0,5304	Когезійний
2.3.1	Primer 3296 (1 шар)	0,8983	0,9567	0,8487	0,9012	Адгезійно-когезійний
2.3.2	Primer 3296 (2 шари)	1,3957	0,9685	1,0285	1,1309	Когезійний

Огляд зразків після проведення дослідження засвідчив, що за достатнього зволоження основи водою (5 шарів) або ж при нанесенні на основу ґрунтівки *Primer 3296* у два шари вид руйнування є когезійним – з вириванням фрагментів цегли середньою товщиною 4-7 мм. При недостатньому зволоженні (3 шари води) чи нанесенні 1-го шару ґрунтівки руйнування було адгезійно-когезійним (рис. 3.8), тобто руйнування відбувається по тілу матеріалу чи основи з частковим руйнуванням на межі основа-матеріал. У інших випадках, за відсутності зволоження чи її зовсім незначної кількості вид руйнування адгезійний.

Враховуючи результати експериментального дослідження побудовано діаграму (рис. 3.9), що відображали залежність величини міцності зчеплення ремонтного матеріалу *Stabilcem* з основою та виконано їх аналіз.

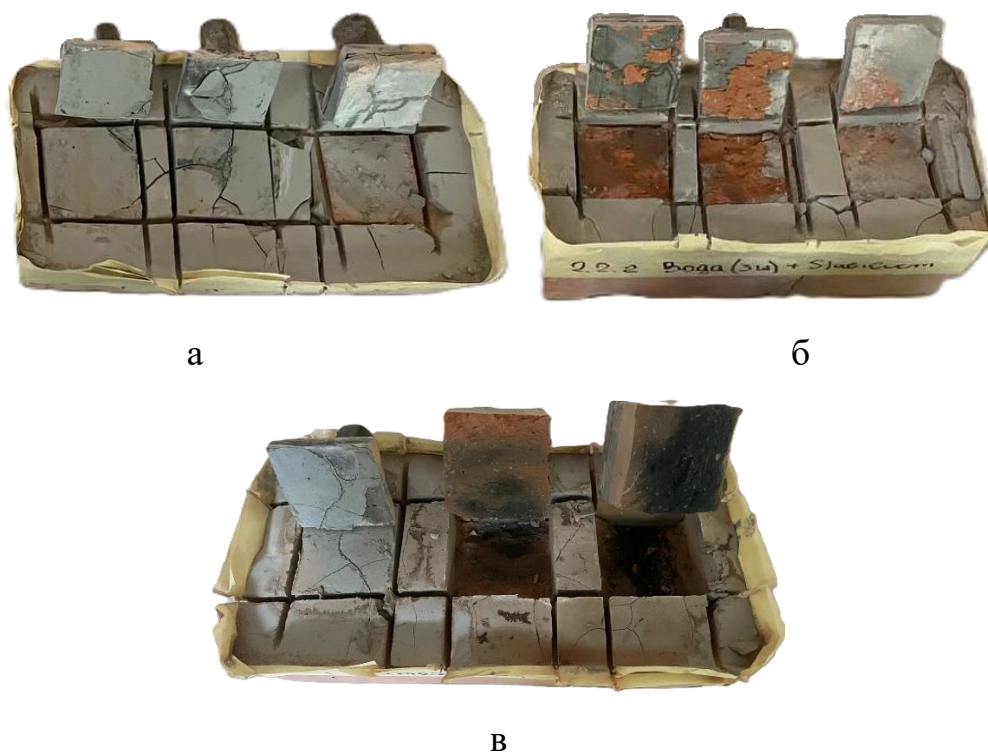


Рис. 3.8. Вид з'єднання матеріалу *Stabilcem* з основою: а) без підготовки (адгезійний); б) нанесення води (адгезійно-когезійний); в) нанесення *Primer 3296* (когезійний)

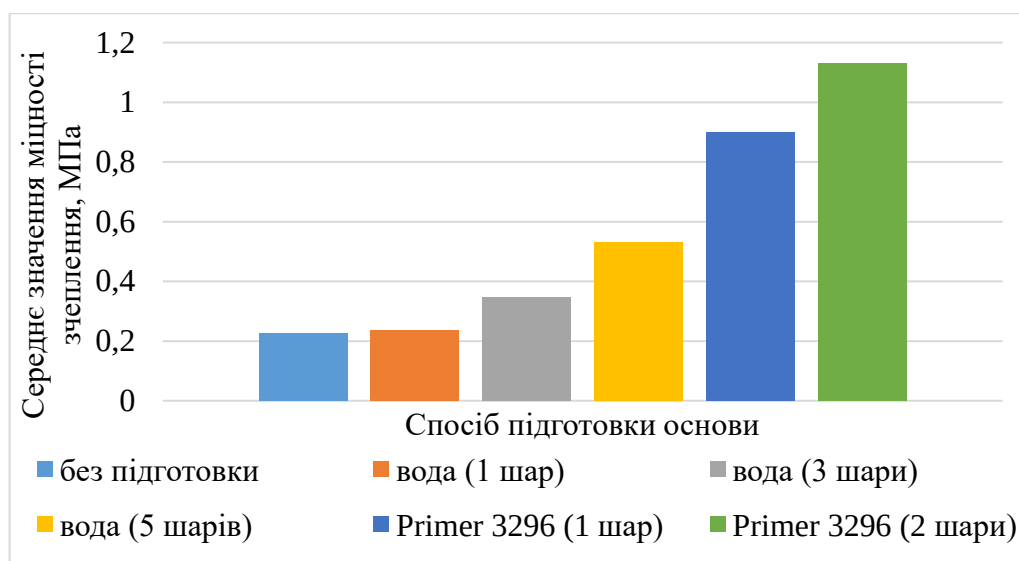


Рис. 3.9. Діаграма міцності зчеплення матеріалу *Stabilcem* з основою залежно від способу її підготовки

Аналіз діаграми (рис. 3.9) дає змогу стверджувати, що підготовка основи є важливим чинником, що має вплив на якість та технологію ремонту цегляних конструкцій з використанням цементної суміші *Stabilcem*. Встановлено, що

найбільша міцність зчеплення з основою матеріалу *Stabilcem* досягнуто при попередньому нанесенні на основу 2-х шарів ґрунтівки *Primer 3296*. При цьому, значення отримані у даному дослідженні майже у 5 разів більше ніж значення отримані для зразків із непідготовленою основою. При нанесенні на основу одного шару ґрунту *Primer 3296* забезпечено збільшення міцності зчеплення у 3,9 разів. При насиченні основи водою також спостерігається збільшення міцності зчеплення порівняно із непідготовленою основою, а саме: при нанесенні води у один шар – збільшення міцності у 1,03 рази; при нанесенні 3-х шарів води – у 1,5 рази; при нанесенні 5-ти шарів води – збільшення міцності у 2,35 рази.

У табл. 3.4 представлені результати Визначення міцності зчеплення ремонтного розчину *Erojet* з основою (цеглою) залежно від способу її підготовки.

Таблиця 3.4

Визначення міцності зчеплення ремонтного розчину *Erojet* з основою (цеглою)
залежно від способу її підготовки

№ підсерії	Спосіб підготовки основи	Середнє значення міцності зчеплення по п'ятаках, МПа			Середнє значення міцності по підсерії, МПа	Вид адгезійного з'єднання
		зразок 1	зразок 2	зразок 3		
1	2	3	4	5	6	7
1.2	Без підготовки	1,5123	2,3571	2,1975	2,0223	Когезійний
2.4.1	Консолід 1 (1 шар)	1,4086	1,3757	1,418	1,4008	Когезійний
2.4.2	Консолід 1 (3 шари)	2,1065	2,0112	2,0594	2,059	Когезійний

А на рис. 3.10 представлена залежність величини міцності зчеплення матеріалу *Erojet* з основою залежно від способу її підготовки. Так, аналіз діаграми (рис. 3.10) свідчить, що використання матеріалу *Консолід 1* має несуттєвий вплив на значення міцності зчеплення матеріалу *Erojet* з основою. При цьому, нанесення розчину в один шар навіть призвело до зменшення середнього значення міцності зчеплення порівняно із непідготовленою основою у 1,44 рази, а при нанесенні розчину у три шари значення міцності зчеплення майже не змінилося порівняно з непідготовленою основою.

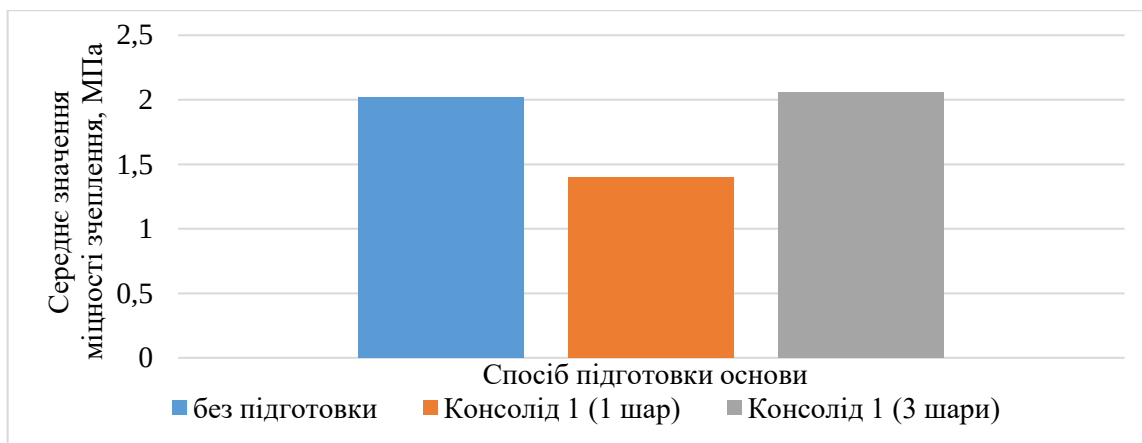


Рис. 3.10. Залежність величини міцності зчеплення матеріалу *Epojet* з основою залежно від способу її підготовки

Після огляду зразків встановлено, що при використанні матеріалу *Epojet* руйнування у всіх випадках когезійне – по тілу основи (рис. 3.11). Це може пояснюватися високою проникністю матеріалу в тіло конструкцій. При цьому, товщина тіла цегли, що відірвалася, складала: для зразків без підготовки – 4 мм у місцях просочення матеріалу; близько 2 мм – при нанесенні 1-го шару Консолід 1; близько 4 мм – при нанесенні 3-х шарів Консолід 1.



а



б



в



г

Рис. 3.11. Вид зчеплення матеріалу *Epojet* з основою: а) без підготовки; б) нанесення Консолід 1 (1 шар); в) нанесення Консолід 1 (3 шари); г) руйнування по тілу цегли

Результати визначення міцності зчеплення ремонтного розчину *Едмок ін'єкційний* з основою (цеглою) залежно від способу її підготовки представлені у табл. 3.5, а відповідна залежність – у вигляді діаграми на рис. 3.12.

Таблиця 3.5

Визначення міцності зчеплення ремонтного розчину *Едмок ін'єкційний* з основою (цеглою) залежно від способу її підготовки

№ підсерії	Спосіб підготовки основи	Середнє значення міцності зчеплення по п'ятаках, МПа			Середнє значення міцності по підсерії, МПа	Вид адгезійного з'єднання
		зразок 1	зразок 2	зразок 3		
1	2	3	4	5	6	7
1.3	Без підготовки	0,4805	0,6873	0,5872	0,585	Когезійний
2.1.1	Консолід 1 (1 шар)	1,1819	1,3765	0,9979	1,1854	Когезійний
2.1.2	Консолід 1 (3 шари)	1,3125	1,5463	1,1077	1,3221	Когезійний
2.1.3	Консолід 1 (5 шарів)	1,8472	1,5349	1,207	1,5297	Когезійний

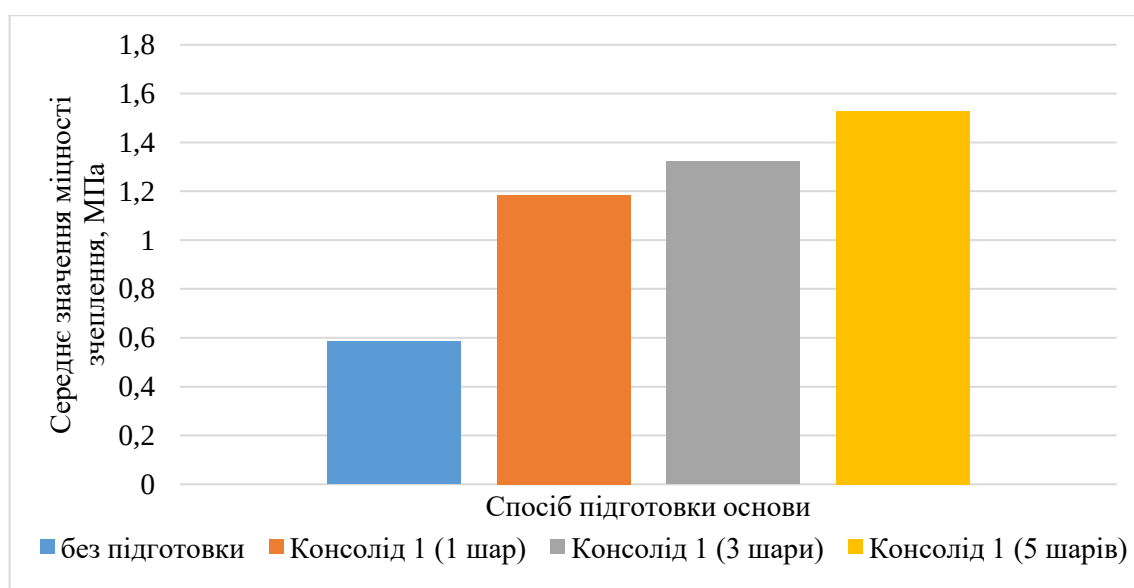


Рис. 3.12. Залежність значення міцності зчеплення матеріалу *Едмок ін'єкційний* з основою залежно від способу її підготовки

Аналіз діаграми (рис. 3.12) свідчить, що використання матеріалу *Консолід 1* у якості адгезиву, разом з ремонтним матеріалом *Едмок ін'єкційний* значно покращує міцність зчеплення полімеру з основою порівняно із непідготовленою основою. Так,

нанесення розчину в один шар збільшує значення міцності зчеплення у 2 рази, при нанесенні розчину у три шари – у 2,26 разів, при нанесенні розчину у 5 шарів – у 2,6 разів. Відповідно до техкарт на матеріали умовна щільність матеріалу *Едмок ін'єкційний* складає близько $1,4 \text{ г/см}^3$, а матеріалу *Ероjet* $1,14 \text{ г/см}^3$, а щільність матеріалу *Консолід 1* складає $1,02\text{-}1,07 \text{ г/см}^3$. Враховуючи зазначене можна стверджувати, що матеріал *Консолід 1* є найбільш проникним та закріплює/ зміцнює основу в глибині збільшуючи міцність на відрив. Однак одного шару *Консолід 1* не достатньо для просочення і зміцнення основи. Можна стверджувати, що зі збільшенням шарів ґрунту буде збільшена глибина проникнення його в тіло конструкції. В той час матеріал *Едмок ін'єкційний* за рахунок більшої густини має менше просочення в тіло конструкції, однак при цьому забезпечує достатню міцність зчеплення з основою.

Візуальним оглядом засвідчено, що у всіх випадках при визначенні міцності зчеплення з основою руйнування відбувається по тілу основи (рис. 3.13), що пояснюється високою проникною здатністю матеріалу *Консолід 1* та високою міцністю матеріалу *Едмок ін'єкційний*.



Рис. 3.13. Вид зчеплення матеріалу *Едмок ін'єкційний* з основою

На рис. 3.14 наведено збільшені фрагменти відірваних п'ятаків (середніх) на яких чітко можна прослідкувати зміну товщини відірваного матеріалу залежно від способу підготовки. Без застосування просочувальних матеріалів товщина відірваного тіла цегли рівна близько 2 мм, а при нанесенні матеріалу Консолід 1 у 5 шарів близько 13 мм.



а

б

в

г

Рис. 3.14. Частина тіла цегли, що відірвалася при визначенні міцності зчеплення матеріалу з основою: а) Едмок; б) Едмок + Консолід 1 (1 шар); в) Едмок + Консолід 1 (3 шари); г) Едмок + Консолід 1 (5 шарів)

Для 3-ї серії досліджень на підготовлену постіль наносили воду у 5 шарів (див. табл. 3.2) та відразу наносили готову ремонтну суміш *Microcem*. Варто зауважити, що нанесення води у кількості 5-ти шарів, зумовлене отриманими результатами дослідження цементного матеріалу *Stabilcem*, при якому значення адгезії було найкращим. Візуально встановлено, що через 5 хв після нанесення, поверхня матеріалу почала розтріскуватися, а через 2 год покрилася сіткою глибоких тріщин. Через 28 діб, після набуття ремонтним матеріалом проєктної міцності, на епоксидний клей приклеювали металеві п'ятаки та виконували визначення міцності зчеплення матеріалу з основою (рис. 3.14). Результати дослідження наведено у табл. 3.6.

Аналіз результатів дослідження свідчить, що міцність зчеплення матеріалу *Microcem* з основою є навіть більшою, ніж міцність зчеплення матеріалу *Stabilcem* у 1,3 рази. Однак, частково це можна пояснити просоченням епоксидного клею через тріщини у матеріалі до основи та склеювання з нею (рис. 3.14).

Визначення міцності зчеплення ремонтного розчину *Microset* з основою (цеглою) залежно від способу її підготовки

Матеріал	Спосіб підготовки основи	Середнє значення міцності зчеплення по п'ятаках, МПа			Середнє значення міцності по підсерії, МПа	Вид адгезійного з'єднання
		зразок 1	зразок 2	зразок 3		
1	2	3	4	5	6	7
Microset	Вода (5 шарів)	0,6959	0,6813	0,6901	0,6891	Адгезійний



Рис. 3.14. Вид зчеплення матеріалу *Microset* з основою

У загальному згідно з результатами експериментальних досліджень можна стверджувати, що підготовка основи, а саме нанесення на неї додаткових адгезивних матеріалів (води), має значний вплив на якість зчеплення ремонтного матеріалу та основи. Так, встановлено, що для матеріалів на цементному в'язучому обов'язковою умовою є зволоження основи для уникнення поглинання вологи з розчину та убезпечення його від передчасного пересушування. При цьому, кращий результат зчеплення забезпечено при нанесенні спеціальних адгезивних матеріалів по типу ґрунту *Primer 3296*. Однак, варто зауважити, що вода також сприяє хорошему зчепленню матеріалу з основою, тому за відсутності інших спеціальних адгезивних розчинів доцільно використовувати її.

Аналіз результатів досліджень зразків із використанням полімерних ремонтних розчинів засвідчив, що не обов'язково використовувати додаткові просочувальні композиції для покращення адгезії, адже дані міцності зчеплення з основою, отримані при нанесенні просочувальних композицій та за їх відсутності, близькі за значеннями (окрім випадку з матеріалом Едмок ін'єкційний).

3.3 Дослідження впливу наповнювачів на міцність зчеплення ремонтних розчинів з основою

У попередньому підрозділі встановлено вплив способу підготовки основи (повнотіла цегла) на міцність зчеплення ремонтного розчину з нею. Встановлено, що при використанні цементних сумішей основа має бути у повній мірі насичена водою. При використанні епоксидних розчинів достатньо, щоб основа була сухою та знепиленою.

Отримані значення міцності зчеплення досліджуваних ремонтних матеріалів з основою свідчать, що полімерні матеріали мають більшу проникність та кращу адгезію порівняно із цементними. Відомо, що ін'єкційні ремонтні матеріали є достатньо дорогими, особливо матеріали на епоксидній основі. Відповідно, вартість полімерних ін'єкційних матеріалів, за умови їх використання для ремонту тріщин шириною розкриття до 2 мм у конструкціях із повнотілої цегли та, наприклад, з шириною розкриття 5-8 мм у таких же конструкціях або виконаних із порожнистих елементів, буде суттєво відрізнятися за рахунок значної різниці у обсягах необхідного ремонтного матеріалу.

Задля подальшого зменшення витрат на ремонтні матеріали вирішено дослідити можливість використання наповнювачів до ремонтних матеріалів. Передбачено, що додавання наповнювачів дозволить збільшити об'єм ремонтних матеріалів, та при цьому забезпечить високі показники зчеплення їх з основою. При цьому слід зазначити, що у випадку отримання позитивних результатів, у подальших дослідженнях може бути змінено рекомендації щодо їх використання, а також можуть бути внесені зміни до загальних рекомендацій з апробації на реальних об'єктах.

У подальших дослідженнях з використанням сумішей *Stabilcem* та *Microcem* вирішено для підготовки основи використовувати тільки зволоження основи водою, як найбільш зручний та простий спосіб її підготовки. За умови використання полімерних композицій *Едмок ін'єкційний* та *Ероjet*, зважаючи на близькі за значеннями показники адгезійного зчеплення з просочувальними композиціями і без них, вирішено у подальших дослідженнях при підготовці основи тільки знепилювати її.

У якості наповнювачів розглянуто 4 матеріали, а саме:

- наповнювач № 1 – тальк, порошкоподібний матеріал;
- наповнювач № 2 – карбонат кальцію, порошкоподібний матеріал;
- наповнювач № 3 – аеросил, сипкий надлегкий матеріал, пухкий;
- наповнювач № 4 – пісок річковий, митий, попередньо висушений.

Варто зауважити, що вище наведений перелік наповнювачів погоджено із виробниками ін'єкційних ремонтних матеріалів.

Для визначення оптимального обсягу наповнювачів до ремонтних матеріалів попередньо виконано дослідження, яке винесено за межі даної роботи. Суть дослідження полягала у визначенні відсоткового співвідношення по масі між ремонтним матеріалом та наповнювачем для збереження високої текучості матеріалу та можливості його використання при ін'єктуванні. Таким чином, визначено наступні оптимальні співвідношення мас, які наведено у табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Співвідношення маси ремонтного розчину до маси наповнювача

Співвідношення маси розчину до маси наповнювача, г						
П.Н.	Ремонтний матеріал	Наповнювач				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
1	2	3	4	5	6	7
1	<i>Stabilcem</i>	100:5	100:5	100:0,5*	100:20	100:40
2	<i>Едмок ін'єкційний</i>	100:25**	100:25	100:2	100:30	100:40
3	<i>Epojet</i>	100:30	100:30	100:2	***	***
4	<i>Microcem</i>	100:15	100:15	100:1*	***	***

Примітка: *за рахунок своєї легкості та значного насипного об'єму масове співвідношення між ремонтними цементними розчинами та наповнювачем може бути зменшено (не досліджувалося).

**Масу наповнювача може бути зменшено.

*** При додаванні піску до розчинів відбувалося його дуже швидке осідання. Тому, вирішено не розглядати ці суміші для подальшого дослідження.

Порядок приготування ін'єкційних матеріалів із наповнювачами відповідав вимогам виробників. Тобто, для цементних сумішей спочатку до необхідної кількості води додавали сухий порошок та замішували його вручну до отримання однорідної

суміші. Далі додавали визначену кількість наповнювача та знову розмішували суміш до однорідної консистенції.

Для полімерних композицій вручну замішували компонент А з компонентом Б у співвідношенні рекомендованому виробниками протягом 3-х хв на низьких обертах для уникнення виникнення повітряних включень. Далі, до готового розчину додавали визначену кількість наповнювача та повторювали перемішування до досягнення матеріалом однорідної консистенції.

Тут варто зауважити, що при додаванні до цементних сумішей наповнювача № 1 (тальк) відбувалося достатньо швидке збільшення в'язкості порівняно із цими ж матеріалами без наповнювачів. Суміш *Stabilcem* при додаванні наповнювача № 1 (тальк) при замішуванні стала тиксотропною. При додаванні цього ж наповнювача до полімерних композицій жодних суттєвих змін не спостерігалось. Об'єм приготованих розчинів після додавання до них наповнювача № 1 (тальк) у всіх випадках суттєво не змінювався.

При додаванні наповнювача № 2 (карбонат кальцію) до полімерних розчинів не спостерігалось значної зміни їх об'єму. Однак при додаванні наповнювача № 2 (карбонат кальцію) до суміші *Stabilcem* виявлено первинне збільшення текучості розчинну з подальшим значним загусанням (протягом 5 хв).

Додавання наповнювача № 3 (аеросил) в усі розчини призвело до суттєвого зниження їх текучості, навіть не зважаючи на дуже малу об'ємну частку маси наповнювача.

При додаванні наповнювача № 4 (пісок річковий) до цементних сумішей спостерігалось збільшення їх об'єму (орієнтовно на 25-35 %) при забезпеченні достатньої текучості матеріалу. Додавання піску до полімерних розчинів забезпечувало збільшення об'єму ремонтного матеріалу орієнтовно на 30 % та достатньо високу текучість. Однак, пісок, після завершення перемішування розчинів, повільно опускався на дно ємності у якій виконувалося замішування. При повторному перемішуванні пісок рівномірно розподілявся по всьому об'єму, а потім знову повільно осідав після завершення змішування. При цьому, швидше осідання піску спостерігалось при замішуванні з розчином *Epojet*. Візуально встановити наявність осідання піску у цементних матеріалах не вдалося.

Після приготування розчинів їх заливали на підготовлені зразки із цегли. Процес підготовки зразків до проведення експерименту описано у підпункті 3.2. При цьому, зразки перед нанесенням цементних розчинів очищували від пилу та зволожували (кількість шарів води не менше 5), а зразки що підлягали нанесенню полімерних композицій тільки знепилювали.

Для забезпечення достовірних результатів для кожного варіанту ремонтних розчинів із наповнювачем виконано по 3 зразка. Загальна кількість зразків складала 54 шт.

Вигляд партії зразків після нанесення ремонтних розчинів із наповнювачами наведено на рис. 3.15.



Рис. 3.15. Загальний вигляд партії зразків із цегли з ремонтними матеріалами з додаванням наповнювачів

Як видно із рис. 3.15 додавання до цементних розчинів різноманітних наповнювачів призводить до зменшення їх усадки та до зменшення їх розтріскування після нанесення, але у більшості випадків воно наявне. Варто зауважити, що при додаванні піску та наповнювача № 2 (карбонат кальцію) до розчину *Stabilcem* поверхня матеріалу зовсім не розтріскалася. Поверхня полімерних матеріалів із додаванням наповнювачів не відрізнялася від поверхні цих же матеріалів без наповнювачів, змінився лише їх колір.

Через 7 діб до зразків було приклеєно металеві п'ятаки на епоксидний клей для визначення міцності зчеплення ремонтних матеріалів до основи. Результати експериментальних досліджень наведено у таблицях (табл. 3.8 – 3.11).

Для візуалізації даних побудовано діаграми (рис. 3.16 – 3.19) у яких наведено результати виконаних досліджень та для порівняння наведено значення міцності зчеплення ремонтного розчину з попереднього дослідження.

Результати визначення міцності зчеплення ремонтної суміші *Stabilcem* з наповнювачами з основою представлено у табл. 3.8, а на рис. 3.16 – діаграма величини міцності зчеплення суміші *Stabilcem* з наповнювачами та основою.

Таблиця 3.8

Визначення міцності зчеплення ремонтної суміші *Stabilcem* з наповнювачами з основою

№ підсерії	Номер наповнювача	Середня міцність зчеплення п'ятаків, МПа			Середнє значення міцності зразків, МПа	Вид адгезійного з'єднання
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3		
1	2	3	4	5	6	7
1	№ 1	0,1531	0,1003	0,2126	0,16	Адгезійно-когезійний*
2	№ 2	0,6672	0,7115	0,7233	0,70	Когезійний
3	№ 3	0,4801	0,5719	0,3816	0,48	Когезійний
4	№ 4 (20 %)	0,1157	0,3530	0,2902	0,25	Адгезійно-когезійний
5	№ 4 (40 %)	0,1258	0,1148	0,2145	0,15	Адгезійний

Примітка: * адгезія була забезпечена проникненням клею «Едмок» через тріщини у ремонтному матеріалі до основи.

Відповідно до діаграми 3.16 та даних наведених у табл. 3.8 можна стверджувати, що найбільше значення міцності зчеплення матеріалу *Stabilcem* з основою виникає при додаванні до нього наповнювача № 2 (карбонат кальцію) та складає у середньому 0,7 МПа, що на 62 % більше середнього значення міцності зчеплення зразків без наповнювача. Додавання наповнювача № 3 (аеросил) забезпечило збільшення міцності на 11 %, а додавання наповнювача № 1 (тальк)

навпаки призвело до зменшення міцності зчеплення на 63 % порівняно із значеннями отриманими для матеріалу без наповнювачів. Додавання піску у обсязі 20 % від маси ремонтного розчину призвело до зменшення міцності зчеплення на 42 %, а додавання піску у обсязі 40 % призвело до зменшення міцності зчеплення на 65 %. Ймовірно, це обумовлено осіданням піску.

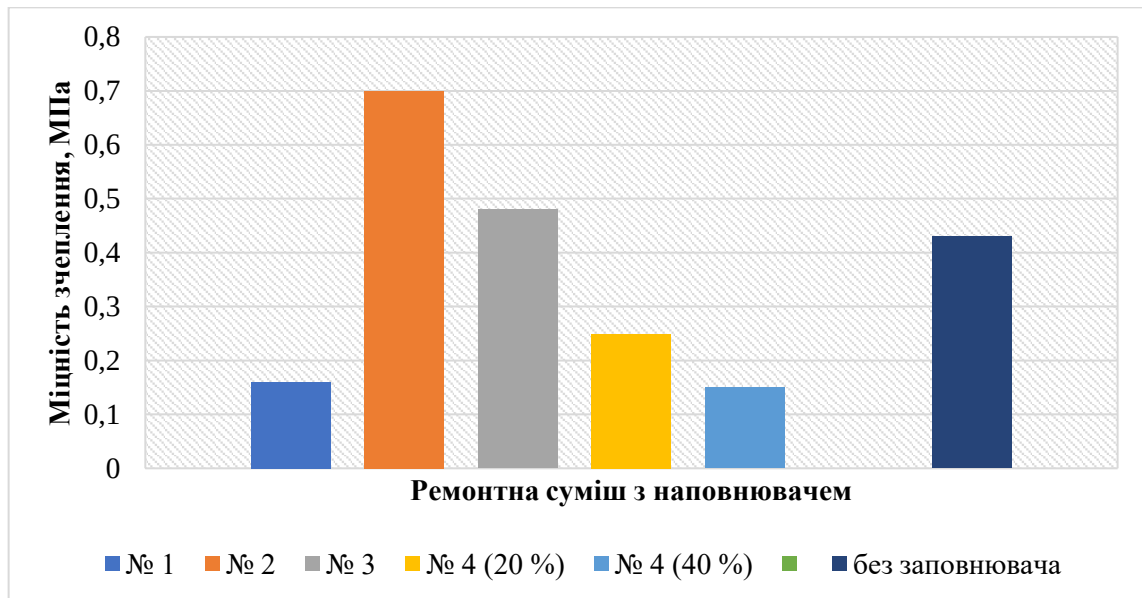


Рис. 3.16. Діаграма величини міцності зчеплення суміші *Stabilcem* з наповнювачами та основою

Огляд п'ятаків після їх відривання для визначення виду адгезійного з'єднання свідчить, що вид з'єднання майже не змінився та є когезійним для зразків із наповнювачами № 2 та № 3, адгезійно-когезійний для зразків із наповнювачами № 1 та № 4, а для зразка з наповнювачем № 5 - адгезійний.

Далі проаналізуємо результати з визначення міцності зчеплення ремонтного розчину *Едмок ін'єкційний* з наповнювачами з основою за даними табл. 3.9, а на діаграмі 3.17 представлена величини міцності зчеплення розчину *Едмок ін'єкційний* з наповнювачами з основою.

Діаграма (див. рис. 3.17) свідчить, що додавання усіх наповнювачів до розчину *Едмок ін'єкційний* призводить до суттєвого збільшення міцності його зчеплення з основою. При цьому, при додаванні наповнювача № 1 (тальк) міцність зчеплення збільшилася на 14 % порівняно із зразками без наповнювачів, додавання наповнювача

№ 2 (карбонат кальцію) – на 96 %, наповнювача № 3 (аеросил) – на 31 %, додавання піску в обсязі 30 % від маси розчину – на 286 %, додавання 40 % піску – забезпечило збільшення міцності зчеплення на 223 %.

Таблиця 3.9

Визначення міцності зчеплення ремонтного розчину *Едмок ін'єкційний* з наповнювачами з основою

№ підсерії	Номер наповнювача	Середня міцність зчеплення п'ятаків, МПа			Середнє значення міцності зразків, МПа	Вид адгезійного з'єднання
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3		
1	2	3	4	5	6	7
1	№ 1	0,7543	0,6323	0,6241	0,67	Когезійний
2	№ 2	1,3517	1,3906	0,6935	1,15	Когезійний
3	№ 3	1,6205	0,4	0,2914	0,77	Когезійний
4	№ 4 (30 %)	2,5258	2,154	2,1139	2,26	Когезійний
5	№ 4 (40 %)	1,6895	1,7989	2,1834	1,89	Когезійний

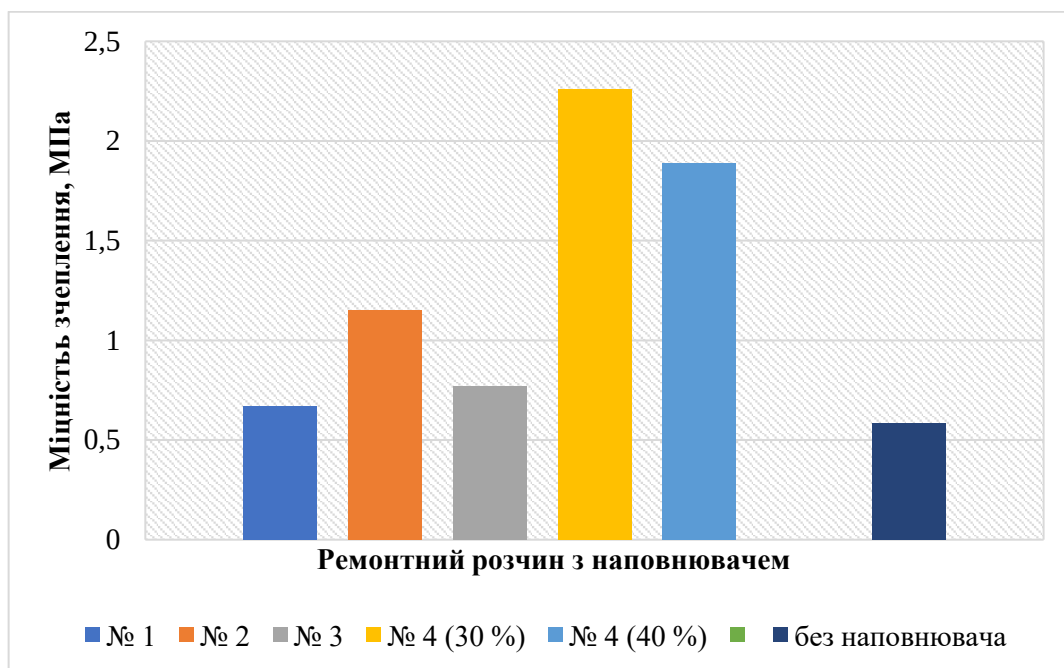


Рис. 3.17. Діаграма величини міцності зчеплення розчину *Едмок ін'єкційний* з наповнювачами з основою

Варто зауважити, що для усіх варіантів наповнювачів вид адгезійного з'єднання розчину та основи був когезійний – тобто розрив відбувався у тілі цегли.

Наступним кроком є аналіз міцності зчеплення ремонтного розчину *Epojet* з наповнювачами з основою за даними табл. 3.10 та діаграмою 3.18, що характеризує величину міцності зчеплення розчину *Epojet* з наповнювачами та основою.

Таблиця 3.10

Визначення міцності зчеплення ремонтного розчину *Epojet* з наповнювачами з основою

№ підсерії	Номер наповнювача	Середня міцність зчеплення п'ятаків, МПа			Середнє значення міцності зразків, МПа	Вид адгезійного з'єднання
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3		
1	2	3	4	5	6	7
1	№ 1	1,3517	2,01	1,29	1,55	Адгезійно-когезійний
2	№ 2	0,03	0,1875	0,127	0,11	Когезійний
3	№ 3	1,8295	1,9504	1,5981	1,79	Когезійний

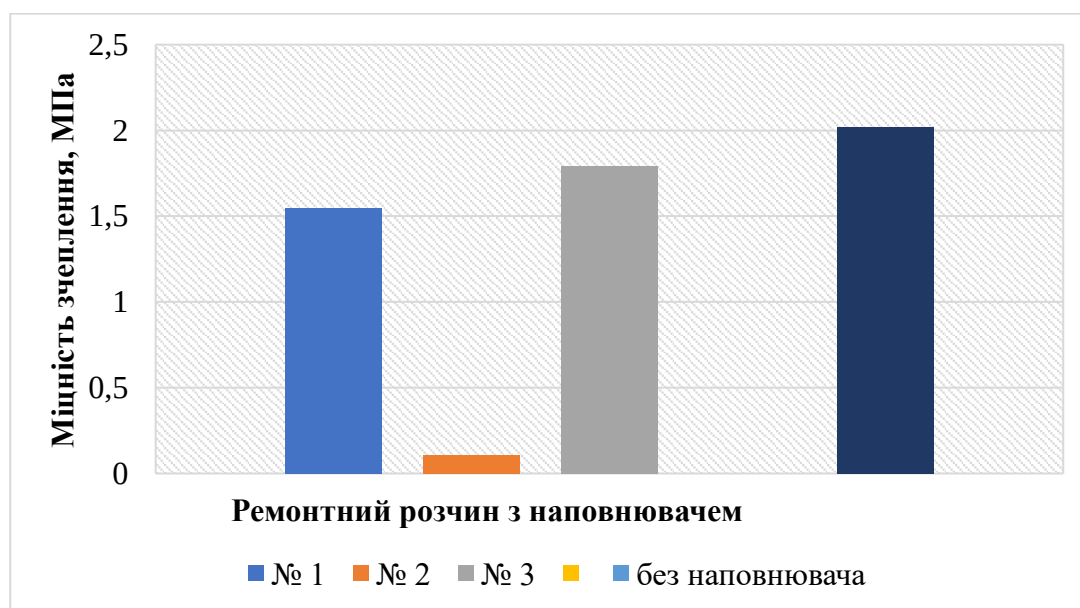


Рис. 3.18. Діаграма величини міцності зчеплення розчину *Epojet* з наповнювачами та основою

Аналіз діаграми та даних, наведених у табл. 3.10 та рис. 3.18 свідчить, що додавання до розчину *Epojet* наповнювача № 2 (карбонат кальцію) не доцільне, адже це призводить до значного зниження міцності зчеплення. Додавання інших наповнювачів також призводить до зменшення зчеплення ремонтного розчину з

основою. Так, при додаванні наповнювача № 1 (тальк) міцність зчеплення зменшується на 23 % порівняно із зразками без наповнювачів, наповнювача № 3 (аеросил) – на 11 %. Також, варто нагадати, що додавання піску в даному дослідженні не розглядалося, оскільки він дуже швидко осідав після закінчення замішування.

Останнім виконували дослідження міцності зчеплення суміші *Microset* з наповнювачами з основою. Відповідні результати представлені у табл. 3.11, на основі якої побудовано діаграму величини міцності зчеплення суміші *Microset* з наповнювачами та основою (див. рис. 3.19).

Таблиця 3.11

Визначення міцності зчеплення суміші *Microset* з наповнювачами з основою

№ підсерії	Номер наповнювача	Середня міцність зчеплення п'ятаків з основою, МПа			Середнє значення міцності зчеплення зразків, МПа	Вид адгезійного з'єднання
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3		
1	2	3	4	5	6	7
1	№ 1	0,4044	0,3863	0,2769	0,36	Адгезійний
2	№ 2	0,4295	0,7194	0,6911	0,61	Адгезійно когезійний
3	№ 3	0,5138	0,418	0,678	0,54	Адгезійний

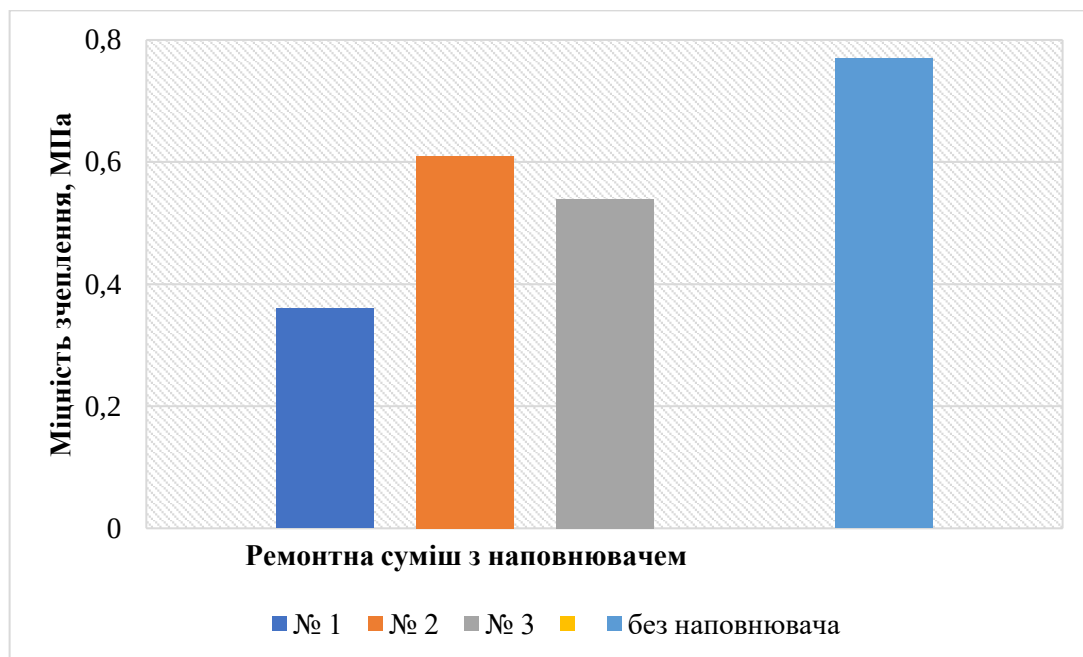


Рис. 3.19. Діаграма величини міцності зчеплення суміші *Microset* з наповнювачами та основою

Відповідно до діаграми (рис. 3.19), додавання наповнювачів до ремонтної суміші *Microcem* призводить до зменшення міцності його зчеплення з основою. Так, при додаванні наповнювача № 1 (тальк) міцність зчеплення з основою зменшується на 53 % порівняно із значеннями отриманими для зразків без додавання наповнювачів, для наповнювача № 2 (карбонат кальцію) – на 20 %, для наповнювача № 3 (аеросил) – на 29 %. Пісок, у якості наповнювача для даного розчину також не розглядався, оскільки при замішуванні відбувалося дуже швидке його осідання. Також, варто зауважити, що наявність наповнювачів вплинула на вид адгезійного зчеплення ремонтного матеріалу та основи (цегли). Відривання п'ятаків відбувалося на межі ремонтного розчину та основи (адгезійне зчеплення), іноді з відриванням незначних за площею фрагментів цегли чи розчину.

3.4 Дослідження розповсюдження ремонтних розчинів по умовній тріщині для визначення параметрів ін'єктування

Дослідження розповсюдження ремонтних матеріалів по умовних тріщинах дадуть можливість сформулювати технологію ін'єктування тріщин базуючись: на виді каменів, з яких зведена стіна; товщині стіни; параметрах тріщини, що потребує ремонту (ширина розкриття, глибина, висота).

При розробці конструктивно-технологічних рішень інженер моделює або уявляє процес виконання робіт та отриманий результат. Проте, ремонт стін з тріщинами шляхом їх ін'єктування кардинально змінює ситуацію, адже тріщина знаходиться у тілі конструкції та прихована від візуального огляду, а отже можливість візуального моніторингу за процесом її заповнення ін'єкційним розчином відсутня. У результаті судити про повне чи часткове заповнення тріщини немає змоги і стверджувати про якісний ремонт можна лише по суб'єктивних ознаках. Виходячи з таких міркувань автором було заплановано та виконано даний етап досліджень, які зможуть дати розуміння про поведінку різних типів ін'єкційних матеріалів у конструкціях виконаних із різних матеріалів (повнотіла чи порожниста цегла, керамічні блоки) при відмінних параметрах тріщин.

Особливо актуальні такі дослідження для стін зведених з порожнистих каменів, що пов'язано з відсутністю будь-якої інформації про ін'єктування таких конструкцій.

Дані експериментальні дослідження вирішено розділити на три частини, а саме:

- дослідження параметрів розповсюдження ремонтного матеріалу у конструкціях зведених із повнотілої цегли;
- дослідження параметрів розповсюдження ремонтного матеріалу у конструкціях зведених із порожнистої цегли та із керамічних блоків;
- дослідження параметрів розповсюдження ремонтного полімерного матеріалу з наповнювачем (піском) у конструкціях зведених із повнотілої цегли.

На початковому етапі виконано ряд пробних досліджень з метою встановлення впливу місця розташування ін'єктора на якість заповнення тріщин ремонтним розчином. Для цього змодельовано три зразки з тріщиною. У дному зразку ін'єкційний пакер влаштовували у нижній частині умовної тріщини. У наступному зразку ін'єкційний пакер влаштовували по середині умовної тріщини. В останньому зразку пакер розташовували у найвищому положенні. Далі виконували ін'єктування ремонтного полімерного розчину однакового обсягу та виконували огляд зразків після його полімеризації. Встановлено, що найбільш повне та рівномірне заповнення тріщин спостерігалось при влаштуванні ін'єкційного пакера у нижній ділянці. У інших випадках помічено ділянки незаповнені ремонтним матеріалом за рахунок наявності там повітря.

Спершу виконаємо дослідження параметрів розповсюдження ремонтного матеріалу у конструкціях зведених із повнотілої цегли.

Для виконання даного експериментального дослідження змуровано зразки (фрагменти стіни) з повнотілої цегли (рис. 3.20) висотою 600 мм (8 рядів цегли), шириною 120 мм і довжиною 510 мм. Для можливості спостерігання за поширенням ремонтного матеріалу по умовній тріщині до стінки прикріплено лист оргскла з розмірами, що відповідали розмірам стінки (510 x 600 мм). При цьому, поверхню скла спочатку було зволожено, а потім огорнуто харчовою плівкою для уникнення приклеювання ремонтного матеріалу до нього. Щілина, що утворюється між оргсклом та стінкою імітує тріщину у кам'яній конструкції. Ширина умовної тріщини

встановлювалася за допомогою щупів відповідної товщини, та становила: для зразків у які ін'єктувалися полімерні композиції (*Едмок ін'єкційний* та *Ероjet*) – 2 мм, цементна суміш (*Stabilcem*) – 4 мм.

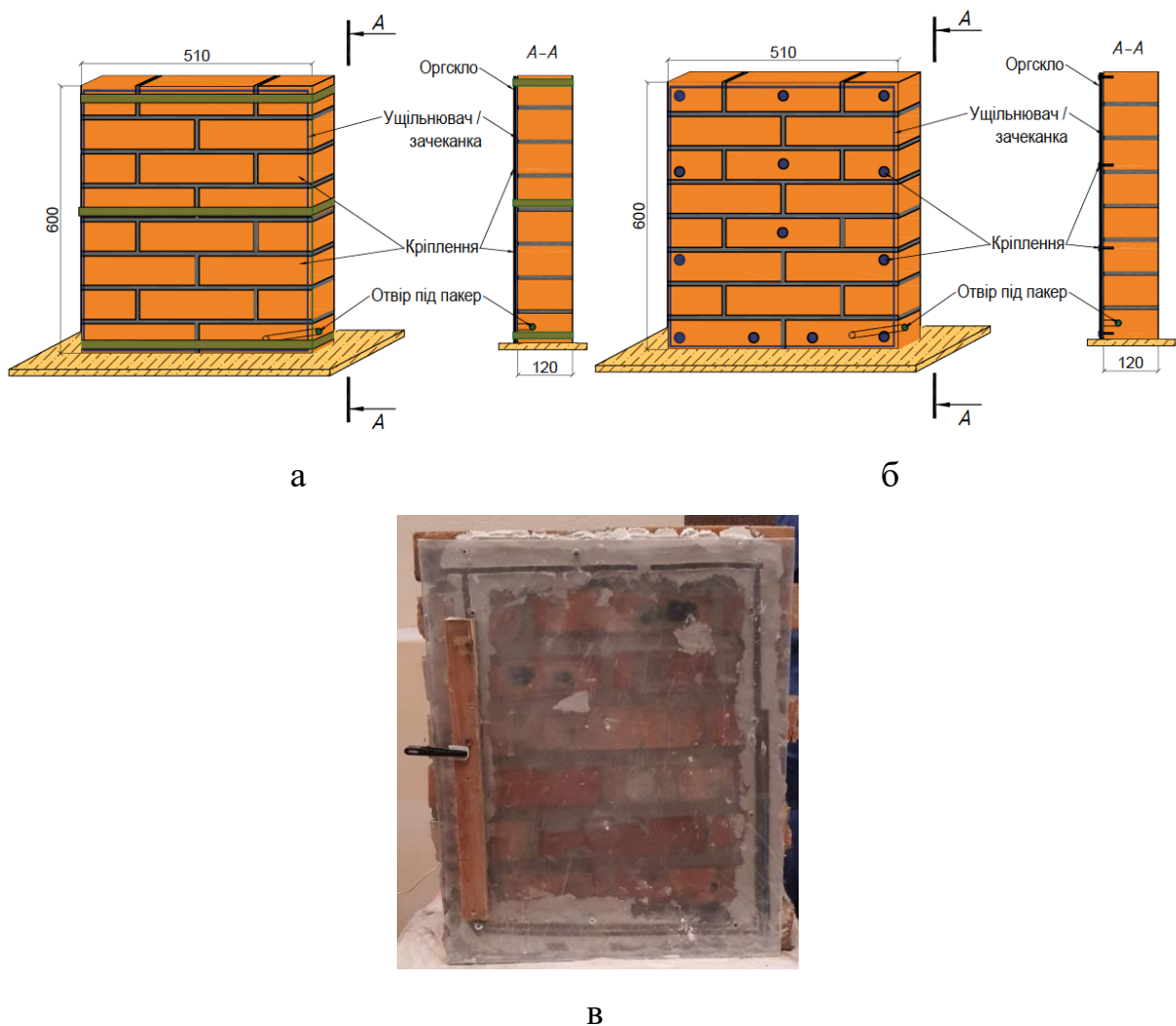


Рис. 3.20. Загальний вигляд зразка до проведення експериментального дослідження.

Схематичне зображення варіантів кріплення оргскла: а – за допомогою системи текстильних стяжок; б – за допомогою системи дюбелів; в – натурний зразок перед проведенням експериментального дослідження

Для уникнення витікання ремонтного матеріалу з умовної тріщини по периметру оргскла вкладали гумовий ущільнювач, а по контуру зразка наносили акриловий чи цементний клейовий розчин. У верхній ділянці передбачено технологічний отвір для випуску повітря із умовної тріщини.

Кріплення оргскла до зразка виконували за допомогою системи текстильних стяжок (рис. 3.20, а) або системи дюбелів (рис. 3.20, б). За умови кріплення дюбелями у визначених проєктних місцях у оргсклі та стінці свердлили отвори, які в подальшому очищували від пилу та виконували фіксацію оргскла дюбелями. За умови фіксації оргскла до зразка системою затяжок під затяжки встановлювали дерев'яні планки для рівномірного передавання навантаження на скло.

У кожному зразку у нижній ділянці свердлили наскрізний отвір у який з тильної сторони в подальшому вклеювали ін'єкційний пакер (металевий – для ін'єктування полімерних розчинів, пластиковий – для ін'єктування цементних сумішей).

Ін'єктування виконувалося за класичною технологією (опис у п.1.2).

Під час даних експериментальних досліджень використовували рекомендації, отримані в результаті експериментів, що описані в підрозділі 3.2. Так, ін'єктування полімерних композицій виконувалося без додаткової підготовки основи, окрім знепилення (продування стисненим повітрям). А перед ін'єктуванням цементних сумішей зразок насичували водою шляхом її попереднього ін'єктування через ін'єкційний пакер.

Загалом виконано три серії досліджень:

1 серія досліджень – ін'єктування полімерної композиції *Едмок ін'єкційний* (ширина умовної тріщини 2 мм) (див. рис. 3.21);

2 серія досліджень – ін'єктування епоксидної смоли *Epojet* (ширина умовної тріщини 2 мм) (див. рис. 3.22);

3 серія досліджень – ін'єктування суміші на цементній основі *Stabilcem* (ширина умовної тріщини 4 мм) (див. рис. 3.23).

Після підготовки зразків до експериментального дослідження виконували під'єднання пристрою для ін'єктування до ін'єкційних пакерів та виконували закачування ремонтних матеріалів в умовні тріщини. При цьому, виконували спостереження за показниками манометра на ін'єкційному насосі для визначення тиску ін'єктування, а також спостерігали за поширенням ремонтного матеріалу по площині умовної тріщини.

Для експериментальних досліджень використано по 1,5 л полімерних розчинів та 2,5 л цементної суміші. Процес ін'єктування ремонтних матеріалів та їх поширення по умовній тріщині наведено на рис. 3.21-3.23.

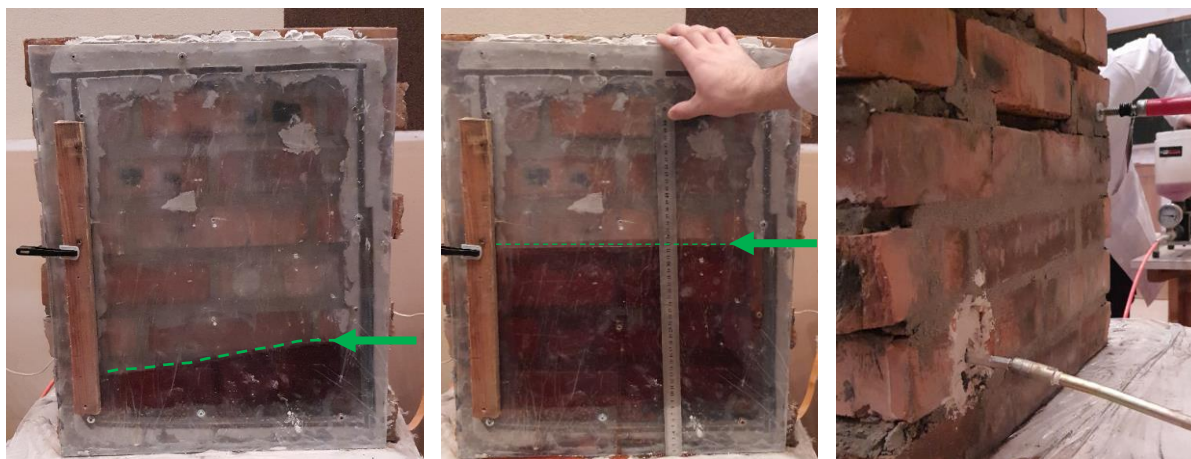


Рис. 3.21. Процес ін'єктування розчину *Едмок ін'єкційний* (глибина умовної тріщини 2 мм)

Відповідно до результатів дослідження встановлено, що при ін'єктуванні розчину *Едмок ін'єкційний* (див. рис. 3.21) висота підйому без зміни тиску ін'єктування (у середньому 2000 кгс/см^2) склала 24 см. Помічено, що розчин після розтікання по площині тріщини піднімався рівномірно однією лінією. Максимальна висота підйому матеріалу склала 27 см. Після того швидкість підйому матеріалу значно зменшилася, а тиск почав збільшуватися. Одночасно з тим почалося активне витікання матеріалу через щілини та примикання. Тому ін'єктування припинили.

Під час ін'єктування розчину *Erojet* (див. рис. 3.22) максимальна висота підйому матеріалу без зміни тиску (1900 кгс/см^2) склала 33 см. Варто зазначити, що різниця у висоті підйому розчину *Erojet* та *Едмок ін'єкційний* зумовлена шириною умовної тріщини. А саме, при дослідженні матеріалу *Erojet* ширина умовної тріщини була на 4 см менше ніж для *Едмок ін'єкційний*, оскільки за рахунок значної текучості матеріалу виникла необхідність у додатковому зачеканенні примикання між оргсклом та стіною. Як і при дослідженні матеріалу *Едмок ін'єкційний* спостерігалось активне просочення матеріалу через усі можливі щілини та примикання. Максимальна висота підйому матеріалу склала 36 см, після чого рівень матеріалу почав зменшуватися за рахунок витікання матеріалу через примикання.



Рис. 3.22. Процес ін'єктування розчину *Epojet* (глибина умовної тріщини 2 мм)

При ін'єктуванні суміші *Stabilcem* (див. рис. 3.23) візуально помічено, що швидкість ін'єктування (швидкість підйому матеріалу по умовній тріщині) дещо менша за значення отримані у попередніх дослідженнях (при дослідженні полімерних матеріалів), що ймовірно зумовлено більшою густиною матеріалу. Загалом суміш піднялася на висоту 32 см без збільшення тиску (2200 кгс/см^2) та до 40 см при максимальному тиску ін'єктування. Після того, у нижній частині зразка почалося витікання ремонтного матеріалу, тому подальше ін'єктування припинили.



Рис. 3.23. Процес ін'єктування суміші *Stabilcem*
(глибина умовної тріщини 4 мм)

У підсумку можна зауважити наступне:

1. Рівномірний підйом матеріалів без збільшення тиску спостерігався до висот: для *Едмок ін'єкційний* – 24 см, для *Ероjet* – 33 см, *Stabilcem* – 32 см. Після того швидкість підйому розчинів дещо сповільнювалася і спостерігалось підвищення тиску ін'єктування. Після початку просочення ремонтних матеріалів через щілини та примикання ін'єктування припиняли. Максимальна висота підйому матеріалів складала: для *Едмок ін'єкційний* – 27 см, для *Ероjet* – 36 см, *Stabilcem* – 40 см.

Відповідно до законів гідравліки відомо, що ширина/ глибина тріщини/ щілини не впливає на висоту підйому ремонтного матеріалу. Визначальним є тиск ін'єктування.

2. Враховуючи пористість цегли та мурувального розчину і наявність мікро щілин/ тріщин після завершення процесу ін'єктування спостерігалось опускання рівня ремонтних матеріалів. Зниження рівня ремонтних матеріалів у всіх трьох випадках коливалось у межах 1-1,5 см.

3. Найбільш імовірно, за умови відсутності точок протікання ін'єкційного ремонтного матеріалу та при збільшенні тиску ін'єктування можна було б досягнути більшої висоти підйому матеріалів по тріщині.

Зважаючи на отримані результати можна стверджувати, що ремонтні матеріали *Едмок ін'єкційний*, *Ероjet* та *Stabilcem* можуть бути використані при ремонті цегляних конструкцій з тріщинами. При цьому, крок ін'єкційних пакерів має складати: для *Едмок ін'єкційний* – 25-30 см, для *Ероjet* – 30-35 см, для *Stabilcem* – до 35-40 см.

Для підтвердження чи спростування отриманих результатів було виконано повторне дослідження, у якому більш ретельно зачеканили усі можливі місця витікання ремонтних матеріалів. Процес ін'єктування відповідав вище наведеному. У результаті дослідження встановлено, що процес підйому матеріалів відповідав описаному – був рівномірним по висоті. При цьому, за рахунок мінімізації місць протікання, вдалося досягнути дещо кращих результатів за умови незмінного тиску, що дає змогу зкоригувати наведений крок пакерів. Так, рекомендовано при використанні цементних матеріалів по типу *Stabilcem* крок пакерів може бути 30-40 см, при використанні полімерних матеріалів по типу *Едмок ін'єкційний* чи *Ероjet* крок пакерів може бути 35-45 см.

Наступним кроком буде дослідження параметрів розповсюдження ремонтного матеріалу у конструкціях зведених із порожнистої цегли та керамічних блоків.

Відповідно до рекомендацій ДСТУ Б В.3.1-2:2016 [47] при ширині розкриття тріщин більше 3 мм використання полімерних розчинів не є доцільним. Враховуючи розміри пустот у порожнистій цеглі та керамічних блоках використання полімерних композицій для їх ремонту на даному етапі досліджень не було передбачено. Тому, для даного експериментального дослідження у якості ін'єкційного ремонтного матеріалу використано суміш *Stabilcem*.

Для проведення дослідження змурували експериментальні зразки із порожнистої цегли (рис. 3.24) та із керамічних блоків (3.25). Для цього порожнисту цеглу та керамічні блоки попередньо розрізали у поздовжньому напрямку навпіл та у подальшому для мурування використовували половинки каменів. Загальний вигляд зразків та їх схематичне зображення наведено на рис. 3.24, 3.25.

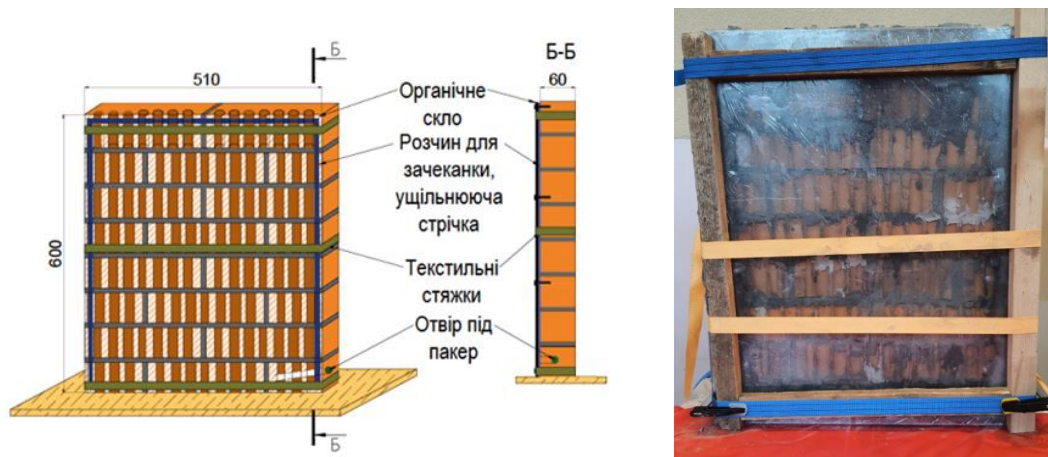


Рис. 3.24. Загальний вигляд дослідного зразка із порожнистої цегли

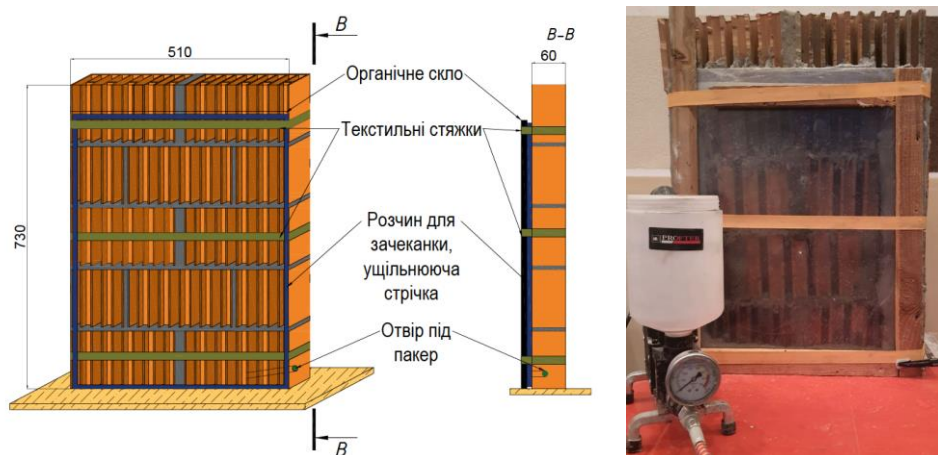


Рис. 3.25. Загальний вигляд дослідного зразка із керамічних блоків

До зразків за допомогою системи хомутів кріпили органічне скло для можливості спостереження за розповсюдженням ремонтного розчину. Параметри умовної тріщини складали: ширина – 45 см, висота – 55 см, відстань від оргскла до стінки орієнтовно 4-6 мм. Перед ін'єктуванням зразки насичували водою, шляхом нагнітання її через ін'єкційний пакер розташований у отворі виконаному у нижній частині зразка. Після насичення тіла конструкцій водою виконували ін'єктування ремонтної суміші за класичною технологією (рис. 3.26, 3.27). В обох випадках, для ін'єктування використано по 5 л ремонтної суміші *Stabilcem*.



Рис. 3.26. Процес ін'єктування суміші в зразок із порожнистої цегли

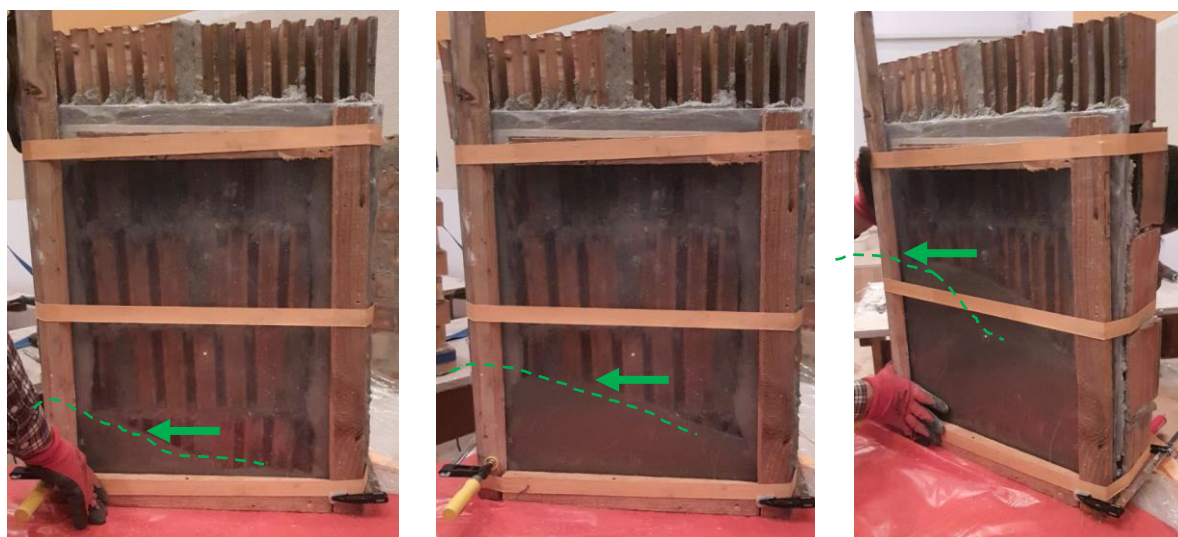


Рис. 3.27. Процес ін'єктування суміші в зразок із керамічних блоків

При ін'єктуванні суміші у зразок із порожнистої цегли підйом матеріалу був рівномірний (однією лінією). Протягом 10 хв уся порожнина (на висоту 60 см) повністю заповнилася розчином. При цьому, швидкість підйому ремонтного розчину на висоту 40 см складала близько 5 см/хв, далі швидкість підйому зменшилася. Тиск нагнітання становив у середньому 2000 кгс/см^2 .

При ін'єктуванні у зразок із керамічних блоків ремонтний матеріал піднімався нерівномірно, а дугоподібно з концентрацією матеріалу навколо ін'єкційного отвору (під час усього підйому). Швидкість підйому розчину на висоту 25 см складала близько 3 см/хв, у подальшому швидкість зменшилася. Загальна висота підйому ремонтного ін'єкційної суміші склала 31 см, що обумовлено більшим об'ємом пустот у конструкції. Тиск нагнітання розчину становив 2100 кгс/см^2 .

Після набору міцності ремонтним матеріалом органічне скло було акуратно демонтовано та виконано візуальний огляд зразків. Встановлено, що цементна суміш *Stabslcem* повністю заповнила усі наявні порожнини.

Додатково перевірено міцність зчеплення ремонтного матеріалу до основи зразків за технологією описаною вище (рис. 3.28). Так, міцність зчеплення ремонтного матеріалу *Stabilcem* для зразків із порожнистої цегли в середньому склала $0,54 \text{ МПа}$, вид з'єднання – адгезійний. Для зразків із керамічних блоків міцність зчеплення матеріалу з основою склала $0,49 \text{ МПа}$, вид з'єднання – когезійний. При порівнянні отриманих значень із міцністю зчеплення матеріалу з основою повнотілої цегли ($0,53 \text{ МПа}$) встановлено, що міцність зчеплення порожнистих кам'яних елементів була близькою до попередньо отриманих значень.



а

б

Рис. 3.28. Встановлення міцності зчеплення ін'єкційного матеріалу з основою:

а – зразок із порожнистої цегли; б – зразок із керамічних блоків

Результат дослідження свідчить про доцільність застосування матеріалу *Stabilcem* для ремонту тріщин конструкцій виконаних із порожнистої цегли або керамічних блоків. При цьому, крок ін'єкційних пакерів може бути таким же, як і для повнотілої цегли та складатиме 35-40 см.

Останнім кроком виконаємо дослідження параметрів розповсюдження ремонтного полімерного матеріалу з наповнювачем (піском) у конструкціях зведених із повнотілої цегли.

За результатами попередніх досліджень встановлено, що міцність зчеплення з основою полімерних композицій вища ніж міцність зчеплення цементних сумішей, що пов'язано із їх кращою здатністю до просочення тіла конструкцій, заповнення пор та порожнин та створення суцільного конгломерату після полімеризації.

Відповідно, можна стверджувати, що з точки зору необхідності склеювання тріщин кам'яних конструкцій, полімерні композиції є кращими матеріалами для їх ремонту. Однак, вартість полімерних матеріалів порівняно із цементними є більшою. Відповідно, за умови ремонту значної кількості тріщин, тріщин із шириною розкриття 3 мм та більше, або ж тріщин у кладці з порожнистих каменів, загальна вартість ремонтно-відновлювальних робіт значно зросте. Тому, дані дослідження покликані встановити можливість застосування наповнювачів при ін'єктуванні тріщин полімерними розчинами, що дасть можливість здешевити технологію.

Для проведення даного дослідження змуровано зразок із повнотілої цегли, до якого кріпили оргскло за допомогою системи стяжок. При цьому, на зразку створено дві порожнини (умовні тріщини) висотою 320 мм, шириною близько 220 мм та глибиною 6 мм шляхом встановлення ущільнюючої стрічки по периметру зразка та у вертикальному положенні по центру зразка (рис. 3.29). Умовні тріщини заповнювали сухим кварцовим піском фракцією 1,1 – 1,8 мм задуваючи його через отвори за допомогою піскоструменевого апарату. У якості ін'єкційного матеріалу використано *Едмок ін'єкційний*.

Далі виконували нагнітання ін'єкційного розчину: в одну частину виконували ін'єктування за класичною технологією через пакер влаштований у нижній ділянці

зразка, в іншу частину виконували заливання ремонтного полімерного матеріалу зверху – капілярне просочення. Процес ін'єктування наведено на рис. 3.29.



Рис. 3.29. Процес ін'єктування зразка із повнотілої цегли з попереднім заповненням тріщини кварцовим піском

Під час ін'єктування ремонтного розчину через пакер спостерігалася суфозія (розшарування) піску у місці ін'єктування та створення порожнини. Однак, під дією гравітації та після просочення ремонтним розчином пісок поступово опускався вниз та заповнював порожнину. При цьому, у верхній ділянці зразка утворювалося поглиблення на поверхні піску. Максимальний тиск нагнітання ремонтного розчину був на рівні $1500-2000 \text{ кгс/см}^2$. Швидкість наповнення порожнини з піском полімерним розчином була менша ніж при заповненні пустої порожнини. Також, варто зауважити, що висота підйому полімерної композиції була нижчою ніж при класичному ін'єктуванні пустої тріщини, та складала максимально до 24 см. Виходячи з отриманих результатів можна стверджувати, що за умови ремонту тріщини кам'яних конструкцій з попереднім заповненням тріщини піском необхідно зменшити крок ін'єкційних пакерів до 20-25 см, або збільшити час ін'єктування.

Під час заливання ремонтного розчину зверху відбувалося досить повільне просочення піску з подальшим його ущільненням та суфозією у верхній ділянці. Для повного просочення порожнини двічі виконувалося додаткове доливання розчину.

Загальний вигляд зразка після полімеризації розчину наведено на рис. 3.30



Рис. 3.30. Загальний вигляд зразка після полімеризації ремонтного розчину (кольором вказано ділянки суфозії)

У кінцевому результаті можна стверджувати, що ін'єкційний розчин у обох випадках просочився крізь пісок, однак при примусовому ін'єктуванні насичення відбувалося значно швидше. Варто також відмітити, що при примусовому ін'єктуванні, за візуальними ознаками, ущільнення піску було менш інтенсивним ніж при гравітаційному просоченні.

Враховуючи результати отриманих досліджень можна стверджувати, що за умови ремонту тріщин з шириною розкриття більше 3 мм, можна виконувати її попереднє заповнення піском та подальше ін'єктування високотекучими полімерними композиціями із забезпеченням просочення піску знизу вгору.

3.5. Дослідження якісних показників відремонтованих стінових конструкцій ін'єктуванням за удосконаленою технологією

У попередніх дослідженнях встановлено, що для ремонту тріщин кам'яних конструкцій найкращі результати міцності зчеплення були забезпечені при використанні полімерних композицій. Однак, за умови ремонту тріщин з шириною розкриття понад 3 мм використання полімерів є дороговартісним. Тому, для ремонту таких тріщин можна використовувати цементні суміші, або ж, відповідно до виконаних експериментальних досліджень, попередньо заповнити їх піском середньої крупності з подальшим ін'єктуванням полімерних розчинів. При цьому у дослідженнях визначено міцність зчеплення ремонтних розчинів і конструкцій та параметри поширення ремонтних матеріалів по умовній тріщині.

Відомо, що стінові кам'яні конструкції працюють на стиск та згин. Тому, у даному підрозділі вирішено дослідити якісні показники відремонтованих конструкцій з тріщинами удосконаленою технологією. Основним завданням було перевірити здатність технології забезпечити склеєні тріщини у конструкціях при створенні згинального зусилля.

Для проведення експериментального дослідження змуровано цегляні стовпи висотою у 5 рядів кладки, шириною у пів цеглини і довжиною у 1 цеглину (рис. 3.31, а).

Після набрання мурувальним розчином проєктних значень, до зразків, за допомогою преса, прикладали руйнівне зусилля для розламування його навпіл (рис. 3.31, б). Для уникнення розсипання зразка на фрагменти під час проведення дослідження передбачено виконувати його попереднє обмотувати текстильними стяжками/ хомутами.

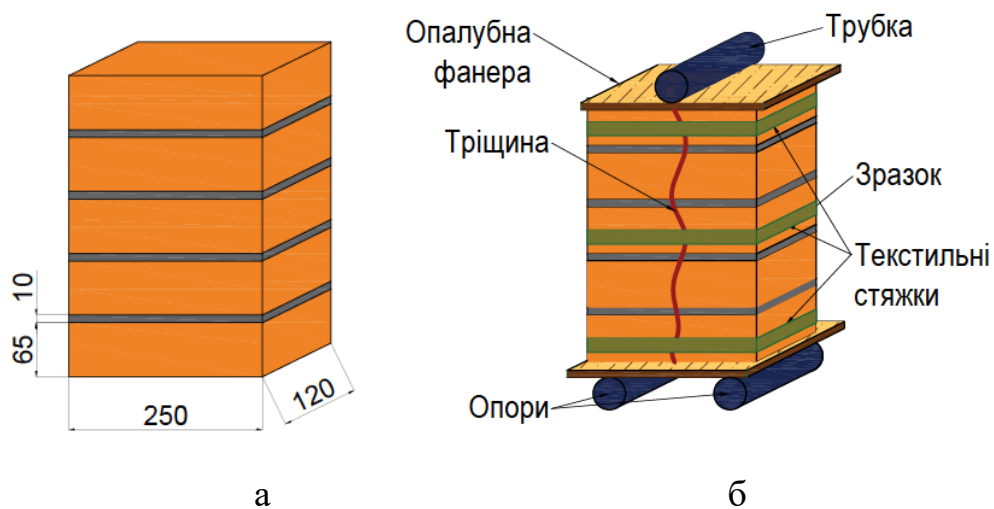


Рис. 3.31. Схема зразка для проведення експериментального дослідження:

а – загальний вигляд зразка; б – схема випробування зразка

Для створення тріщини, зразок встановлювали на дві опори таким чином, щоб відстань від країв зразка до опор складала 60 мм (рис. 3.32). Для уникнення сколювання частин цегли по краях та для уникнення продавлювання зразка по центру його встановлювали на опалубну фанеру (зверху та знизу). На верхню частину по центру встановлювали металевий елемент для передавання зусилля від преса до зразка, прикладали руйнівне зусилля та фіксували його значення.

Загалом для проведення експериментального дослідження змуровано 20 зразків.



Рис. 3.32. Процес створення тріщин у зразках

Під час розламування зразків виконували їх огляд (рис. 3.33) та фіксацію отриманих руйнівних зусиль, які наведено у табл. 3.12. При розламуванні відмічено різний характер руйнування зразків, а саме: нормальне розламування – навпіл під віссю прикладання руйнівного зусилля; діагональне розламування; руйнування на фрагменти. Тому, для спрощення сприйняття таблицю 3.12 сформовано саме за такими ознаками.



а



б

Рис. 3.33. Характер руйнування зразків після прикладання до них руйнівного зусилля:

а – розламування зразка на дві частини;

б – розламування зразка на окремі фрагменти

Значення руйнівних зусиль прикладених до зразків

Вид руйнування зразка	№ зразка	Руйнівне зусилля, МПа	№ зразка	Руйнівне зусилля, МПа	№ зразка	Руйнівне зусилля, МПа
Нормальне	1	39	14	41,3	22	39,7
	4	40,8	15	42,8	23	41,7
	5	42,2	16	40,5	25	38,5
	8	39,7	17	39,2	27	41
	11	40,6	19	40	29	38,9
	12	38,4	20	40,1	30	38,9
Діагональне	2	34	9	26	13	31
	3	27	10	42	21	30
	26	28	-	-	-	-
Руйнування на фрагменти	6	47	7	48	18	48
	24	45	28	43	-	-

Встановлено, що частина зразків під час створення тріщини руйнувалися (№№ 6, 7, 18, 24, 28) або ж зразок розламувався діагонально (№№ 2, 3, 9, 10, 13, 21, 26). Тому, для подальших досліджень було вирішено використати зразки №№ 1, 4, 5, 8, 11, 12, 14-17, 19, 20, 22, 23, 25, 27, 29, 30, які при прикладанні до них руйнівних зусиль, розламувалися навпіл.

Так, зразки №№ 1, 4, 14, 17, 27, 30 використовували для ін'єктування в них суміші *Stabilcem*, зразки №№ 5, 12, 15, 20, 23, 25 використовували для ін'єктування в них розчину *Epojet*, а зразки №№ 8, 11, 16, 19, 22, 29 використовували для ін'єктування в них розчину *Едмок ін'єкційний*. Також вирішено перевірити можливість використання кварцового піску (фракції 1,1-1,8 мм) у якості заповнювача тріщин. Відповідно, тріщини у зразках №№ 4, 14, 27, 5, 15, 23, 8, 22 до ін'єктування у них ремонтних розчинів, були заповнені піском.

Після розламування, частини зразків акуратно очищували від пилу та незв'язних дрібних елементів. Для створення у зразку тріщини необхідної ширини розкриття використовували щупи відповідної товщини. Так, для зразків, що ін'єктувалися полімерними розчинами *Epojet* та *Едмок ін'єкційний* використано щупи

товщиною 2 мм (без заповнення тріщини піском) та 4 мм (заповнення тріщини кварцовим піском), а для зразків, що ін'єктувалися сумішшю *Stabilcem* підбирали щупи товщиною 6 мм (без заповнення тріщини піском) та 10 мм (заповнення кварцовим піском). Щупи влаштовували між двома частинами зразків та виконували зачеканку тріщини ремонтним розчином по периметру зразка, для уникнення витікання ін'єкційного матеріалу.

Після набуття чеканочним матеріалом проектної міцності у зразках виконували буріння отворів під ін'єкційні пакери. При цьому, частину отворів пробурено перпендикулярно до площини зразка безпосередньо у тріщину (для зразків із більшою шириною розкриття тріщин), а частину отворів пробурювали під кутом близько 45° до площини зразка (для зразків із меншою шириною розкриття) (рис. 3.34). Отвори очищували від пилу та незв'язного матеріалу та встановлювали відповідні пакери – металевий для ін'єктування полімерних розчинів, пластиковий для ін'єктування цементних сумішей.

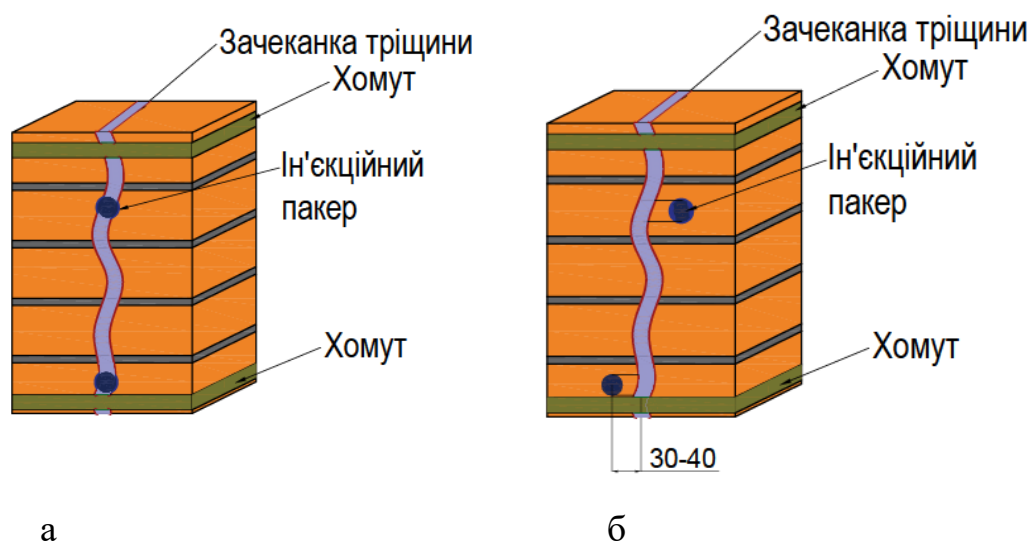


Рис. 3.34. Варіанти розташування ін'єкційного пакера у зразках:

а – у тріщину (при заповненні піском); б – під кутом 45° до площини зразка (пусті тріщини)

У зразках №№ 4, 14, 27, 5, 15, 23, 8, 19, 22 тріщини, перед їх ін'єктуванням, заповнювали піском за допомогою піскоструменевого апарату. Тріщини у інших зразках лишали пустими.

Далі виконували ін'єктування розчинів за класичною технологією, при цьому перед ін'єктуванням цементного матеріалу зразки попередньо насичували водою. Варто зазначити, що при ін'єктуванні пустих тріщин не виникало жодних труднощів, усі матеріали легко проникали у тріщину та заповнювали її. Тиск нагнітання не відрізнявся від значень встановлених у попередній дослідженнях. Під час ін'єктування тріщин заповнених піском тиск та швидкість ін'єктування була менша (у порівнянні з значеннями отриманими у попередніх дослідженнях). При ін'єктуванні цементного матеріалу в тріщину заповнену кварцовим піском не вдалося виконати остаточне її заповнення, оскільки ремонтний матеріал фактично відразу закупорив отвір та не пройшов у порожнину. А створення додаткового тиску нагнітання викликало розламування зразків.

Окремо слід зазначити, що полімерні розчини просочувалися через найменші щілини у зразках, і для їх зупинки виконували додаткову зачеканку місць протікання ремонтним гіпсовим швидкотверднучим матеріалом.

Після полімеризації розчинів *Едмок ін'єкційний* і *Ероjet* та набуття цементною сумішшю *Stabilcem* проєктних значень виконувалося повторне прикладання зусиль до зразків з фіксацією моменту руйнування (рис. 3.35). Результати експериментального дослідження наведено у табл. 3.13.



Рис. 3.35. Загальний вигляд зразків після прикладання повторного руйнівного зусилля (типові руйнування)

Визначення міцності на згин відремонтованих зразків

Наявність піску	№ зразка	Значення руйнівного зусилля після ремонту, МПа	Характер руйнування
Stabilcem			
Заповнення піском відсутнє	1	48,5	Тріщина утворилася у місці розташування старої тріщини
	17	49,7	
	30	48,9	
Заповнення піском	4	30,1	
	14	26,6	
	27	25,8	
Epojet			
Заповнення піском відсутнє	12	127,5	Тріщина утворилася паралельно склеєній
	20	119,5	
	25	121,8	Тріщина утворилася поряд зі склеєною, але діагонально
Заповнення піском	5	67,8	Тріщина утворилася паралельно склеєній
	15	66,7	
	23	69,4	Тріщина утворилася поряд зі склеєною, але діагонально
Едмок ін'єкційний			
Заповнення піском відсутнє	11	72,6	Тріщина утворилася поряд зі склеєною, але діагонально
	16	73,4	Тріщина утворилася поряд зі склеєною
	29	73,1	
Заповнення піском	8	70,3	Тріщина утворилася поряд зі склеєною
	19	69,4	
	22	69,2	Тріщина утворилася поряд зі склеєною, але діагонально

Примітка: варто зауважити, що частково міцність зразків була забезпечена зачеканкою.

Після детального огляду зруйнованих зразків встановлено, що зразки, у які виконували ін'єктування матеріалу *Stabilcem* розламувалися вздовж існуючої тріщини як при її попередньому заповненні піском, так і без нього (рис. 3.36, а). Оглядом встановлено, що у зразках із пустими тріщинами ремонтний матеріал заповнив усі порожнини та пустоти, додаткових тріщин не виявлено. А при

попередньому заповненні тріщини піском встановлено, що ремонтний розчин не зміг просочитися крізь пісок у повній мірі та заповнив незначну частину тріщини і при повторному прикладанні руйнівного зусилля зразки розламувалися та із них висипався сухий пісок. У всіх інших випадках на зразках утворилися нові тріщини, розташовані паралельно чи діагонально поряд із склеєними тріщинами (рис. 3.36, б, в).

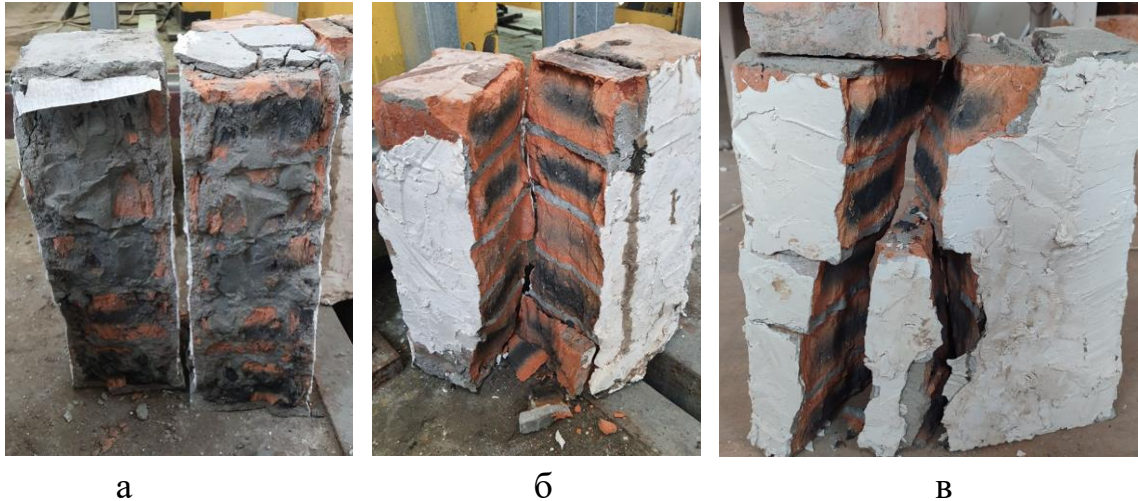


Рис. 3.36. Загальний вигляд зразків після розламування: а – заповнення тріщини цементним матеріалом *Stabilcem* (по існуючій тріщині); б – утворення тріщини паралельно склеєній; в – утворення тріщини діагонально поряд з відремонтованою

Отримані значення руйнівних зусиль порівняно із первинними значеннями наведено у табл. 3.14, а у вигляді діаграми – на рис. 3.37.

Аналіз результатів свідчить, що при використанні матеріалу *Stabilcem* значення повторного прикладеного руйнівного зусилля відрізнялися від значень первинного прикладання сили та складали: для зразків з пустими тріщинами повторне руйнівне зусилля у 1,26 разів більше первинних значень, а для зразків із тріщинами заповненими піском у 0,67 разів менше. Оскільки оглядом встановлено, що у пустій тріщині розчин заповнив усі порожнини, а при заповненні тріщини піском ремонтний розчин не зміг повністю заповнити у тріщину, то можна стверджувати, що попереднє заповнення тріщини піском та подальше її ін'єктування цементним матеріалом *Stabilcem* не дає можливості відновити первісних міцнісних показників кладки. Але такий спосіб цілком може застосовуватися для відновлення структурної цілісності конструкції без попереднього заповнення тріщин наповнювачем.

Порівняння значень руйнівних зусиль при визначенні міцності на згин до та після ремонту тріщин

Наявність піску	Середнє значення руйнівного зусилля після ремонту, МПа	Середнє значення руйнівного зусилля після ремонту, МПа	Зміна зусилля, %
<i>Stabilcem</i>			
Заповнення піском відсутнє	39,0	49,0	+ 25,6
Заповнення піском	41,0	27,5	-33
<i>Epojet</i>			
Заповнення піском відсутнє	39,0	122,9	+ 215
Заповнення піском	42,2	68,0	+ 61
<i>Едомок ін'єкційний</i>			
Заповнення піском відсутнє	40,0	73,0	+ 82,5
Заповнення піском	39,8	69,6	+74,9

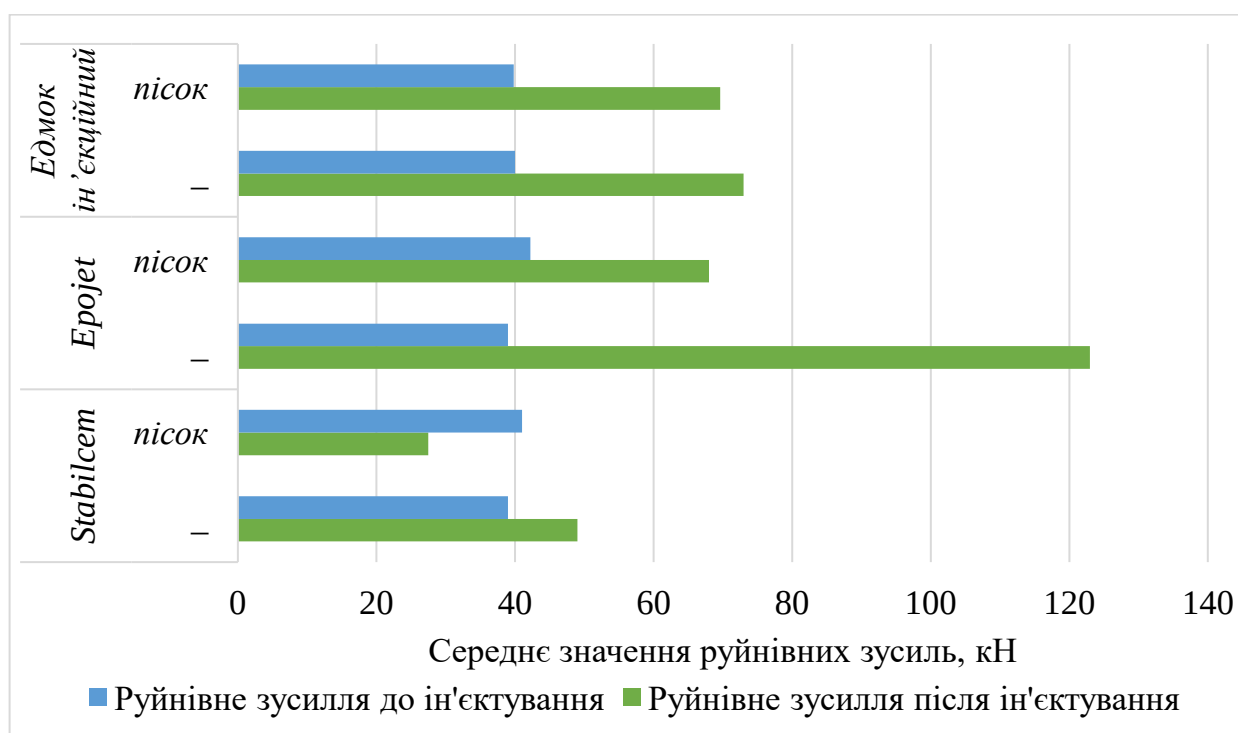


Рис. 3.37. Значення руйнівних зусиль до та після ремонту

При ін'єктуванні тріщин полімерною композицією *Epojet* міцність на згин при повторному прикладанні руйнівного зусилля збільшилася в обох випадках та склала: для зразка із пустою тріщиною у 3,15 рази від попереднього значення, для зразка із тріщиною заповненою піском у 1,61 рази. При цьому, у обох випадках, при повторному прикладанні руйнівного зусилля, тріщина утворилася поряд із склеєною. Огляд зразків засвідчив повне просочення піску та тіла конструкцій розчином. Отримані результати дослідження дають змогу стверджувати про можливість використання ін'єкційного розчину *Epojet* для ремонту тріщин, структурного відновлення кам'яних конструкцій та відновлення міцності кам'яних конструкцій на згин.

При ін'єктуванні полімерної композиції *Едмок ін'єкційний* також спостерігалось збільшення повторно прикладеного руйнівного зусилля в обох випадках. Так, для зразка із пустою тріщиною збільшення зусилля склало 1,825 рази, а для зразка із піском – у 1,75 рази. Нові тріщини у обох варіантах утворилися поряд із відремонтованими. А отже, ремонтна полімерна композиція *Едмок ін'єкційний* може бути рекомендована як для ремонту, так і для структурного відновлення кам'яних конструкцій з тріщинами.

У загальному можна констатувати, що розташування ін'єкційного пакера не мало суттєвого впливу на проникнення ремонтного розчину у тріщину та міцнісні показники відремонтованих зразків. Тому, відповідно до отриманих результатів:

- ін'єкційний пакер може бути влаштований безпосередньо у тріщину або ж, за необхідності, може бути розміщений у отвори виконані під кутом орієнтовно 45° до площини конструкції на глибину, що задовольнить перетин отвором тріщини;
- варто пам'ятати, що зачеканка тріщини забезпечує певний відсоток міцності зразків при дослідженні їх міцності на стиск;
- на думку автора, отримані міцнісні показники є залежними від міцності цегли. Доцільно вважати відмінним результатом ті зразки де при повторному прикладанні руйнівного зусилля тріщина утворилася у новому місці, а первинна (склеєна) тріщина залишилася цілою. Саме це може бути показником надійного склеювання тріщини та структурного відновлення кладки.

Варто зауважити, що при виконанні експериментальних досліджень з використанням полімерних композицій можливе їх витікання навіть через найменші тріщини у конструкціях, тому перед початком ін'єктування важливо зачеканити усі можливі місця витікання.

Висновки до 3-го розділу

1. Розроблено методику експериментальних досліджень, що складалася з 4-х етапів, спрямовану на визначення впливу окремих технологічних чинників на послідовність та якість виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

2. Встановлено залежності міцності зчеплення обраних ремонтних матеріалів (цементних та полімерних) до основи (повнотіла цегла) залежно від способу її підготовки (знепилення, нанесення адгезивних матеріалів, зволоження). Зокрема підтверджено необхідність достатнього зволоження конструкцій за умови використання ремонтних матеріалів на основі цементу для уникнення їх передчасного висушування за рахунок капілярного всмоктування вологи тілом конструкції. Встановлено, що нанесення адгезиву (грунтовки) дозволяє збільшити показники міцності зчеплення цементних матеріалів з основою, однак їх застосування не є обов'язковим та може бути використано за необхідності. Міцність зчеплення полімерних матеріалів з основою навіть без нанесення додаткових адгезивних матеріалів є достатньою. Тому, дослідженнями встановлено, що використання адгезивних матеріалів при використанні полімерних композицій не є обов'язковим.

3. Результати дослідження можливості додавання до матеріалів різних наповнювачів (тальк, карбонат кальцію, аеросил, пісок), що дозволять збільшити об'єм ремонтного матеріалу без втрати їх текучості та зниження показників зчеплення матеріалу з основою з метою здешевлення технології ремонту тріщин свідчать, що для матеріалів *Epojet* та *Microcem* не потрібно додавати наповнювачі, оскільки міцність зчеплення цих матеріалів з основою зменшується в окремих випадках на 94,6 %. А для матеріалу *Stabilcem* міцність зчеплення збільшується на 62 % при додаванні карбонату кальцію, а при додаванні тальку чи піску зменшується до 65 %. У той час при додаванні до матеріалу *Едмок ін'єкційний* піску вдалося досягнути збільшення міцності зчеплення на 286 %, при додаванні інших наповнювачів також спостерігалось збільшення міцності зчеплення з основою.

4. При дослідженні розтічності обраних ремонтних матеріалів встановлено крок ін'єкційних пакерів залежно від виду ін'єкційних матеріалів. Так, рекомендований крок ін'єкційних пакерів може бути: при застосуванні полімерних

матеріалів по типу *Едмок ін'єкційний* чи *Ероjet* – 35-45 см, при застосуванні цементних матеріалів по типу *Stabilcem* до 30-40 см.

5. З метою перевірки можливості склеювання тріщин кам'яних конструкцій з шириною розкриття від 3 до 10 мм полімерними матеріалами виконано дослідження результати якого свідчать наступне. За умови необхідності застосування полімерних матеріалів доречно на початковому етапі заповнити тріщину кварцовим піском, а потім виконати ін'єктування. При цьому варто зважати, що при ін'єктуванні відбуватиметься певне розуцільнення піску у верхній ділянці конструкції з тріщиною. Міцність зчеплення полімерних матеріалів з основою при заповненні тріщини піском майже не зміниться за умови надійної герметизації тріщини та можливих місць витікання ремонтного матеріалу.

Дослідженнями спрямованими на перевірку можливості склеювання тріщин різної ширини розкриття досліджуваними ремонтними матеріалами на міцність на згин за умови наявності/ відсутності у тріщині наповнювача (кварцового піску) та розташування у ній ін'єкційного пакера встановлено: при ін'єктуванні полімерних матеріалів *Едмок ін'єкційний* та *Ероjet* вдалося досягнути значного зміцнення відремонтованих зразків, як при заповненні тріщини піском так і без нього, а нові тріщини утворилися паралельно склеєним; при ін'єктуванні матеріалу *Stabilcem* заповнення вдалося тільки для пустої тріщини, у іншому випадку матеріал не просочився через пісок, а зразки розламувалися вздовж відремонтованої тріщини.

6. У результаті виконання всієї серії досліджень можна констатувати наступне:

- Використання полімерних матеріалів *Едмок ін'єкційний* та *Ероjet* доцільне за необхідності склеювання тріщин у конструкціях із повнотілої цегли з шириною розкриття до 3 мм. За необхідності склеювання тріщин з більшою шириною розкриття або ж у конструкціях виконаних із порожнистої цегли чи керамічних блоків доцільно перед ін'єктуванням виконати їх заповнення кварцовим піском (фракція 1,1 - 1,8 мм). Так, полімерні композиції можна використовувати за необхідності: ремонту тріщин; структурного відновлення кам'яних конструкцій; відновлення міцності на згин пошкоджених тріщинами конструкцій.

- Використання матеріалу *Stabilcem* доцільне при необхідності заповнення тріщин з шириною розкриття від 3 мм. Тобто, застосування цементних матеріалів для ремонту тріщин можливе при необхідності відновлення структурної цілісності конструкцій.

- Способом підготовки основи, за умови використання полімерних композицій може бути знепилення тріщин, а за умови використання цементних матеріалів знепилення та достатнє зволоження тріщин водою чи спеціальним адгезивним розчином.

- Тріщини, а також усі можливі місця витоків ремонтного матеріалу, перед ін'єктуванням повинні бути надійно загерметизовані, оскільки усі ін'єкційні матеріали є високотекучими. Також, встановлено, що після ін'єктування ремонтних матеріалів спостерігається зниження їх рівня за рахунок просочення у тіло конструкції і наявні щілини. Відповідно, у верхніх ділянках тріщин утворюються пустоти. Тому, після завершення основного ін'єктування у верхню ділянку конструкцій необхідно доін'єктовувати ремонтний матеріал.

- Ін'єкційні пакери можуть бути влаштовані як безпосередньо у тріщину, так і під кутом орієнтовно 45° до площини основи конструкції. Вибір способу влаштування ін'єкційних пакерів не впливає на міцнісні показники відремонтованих конструкцій.

7. Найбільш значимі результати першого розділу викладені у роботах [102, 103].

РОЗДІЛ 4.

ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ КАМ'ЯНИХ СТІН ІН'ЄКТУВАННЯМ ТРІЩИН

4.1 Удосконалена технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин

Виконаним аналізом науково-технічної та нормативної літератури встановлено, що для ремонту тріщин у кам'яних конструкціях рекомендовано застосовувати технологію ін'єктування у них ремонтних високотекучих композицій. Однак, не зважаючи на те, що дана технологія є найбільш розповсюдженою, у літературі не достатньо інформації щодо вибору ремонтного матеріалу для конкретних умов, не висвітлено вплив окремих технологічних чинників на технологію ремонту, та відсутня інформація щодо застосування технології для ремонту конструкцій зведених із порожнистої цегли чи керамічних блоків. Тому вирішено удосконалити класичну технологію ін'єктування для конструкцій з повнотілих каменів та розширити її на ремонт тріщин у конструкціях з порожнистих елементів. Для цього раніше (опис у розділі 2 та 3) було виокремлено технологічні чинники та встановлено важливість їх впливу на технологію виконання робіт, а найбільш впливові досліджено та перевірено експериментально. Результати виконаних досліджень дали змогу сформулювати удосконалену технологію ін'єктування тріщин кам'яних конструкцій, опис якої буде наведено у даному розділі.

На основі виконаних експериментальних досліджень спрямованих на вивчення способів ремонту тріщин залежно від їх ширини розкриття, виду каменів з яких зведена стіна, виду ремонтного матеріалу та ін. розроблено блок-схему (рис. 4.1) вибору технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій.

Варто зауважити, що нормативними документами регламентовано, при ширині розкриття тріщини до 3 мм виконувати її ін'єктування полімерними композиціями, від 3 мм до 50 мм – ін'єктування/ зачеканювання цементними матеріалами, а при ширині розкриття 50 мм та більше виконувати перекладання. Проте, виконані дослідження дають змогу розширити спектр ширини розкриття тріщин та виокремити технології виконання ремонтно-відновлювальних робіт залежно від виду матеріалу конструкцій.

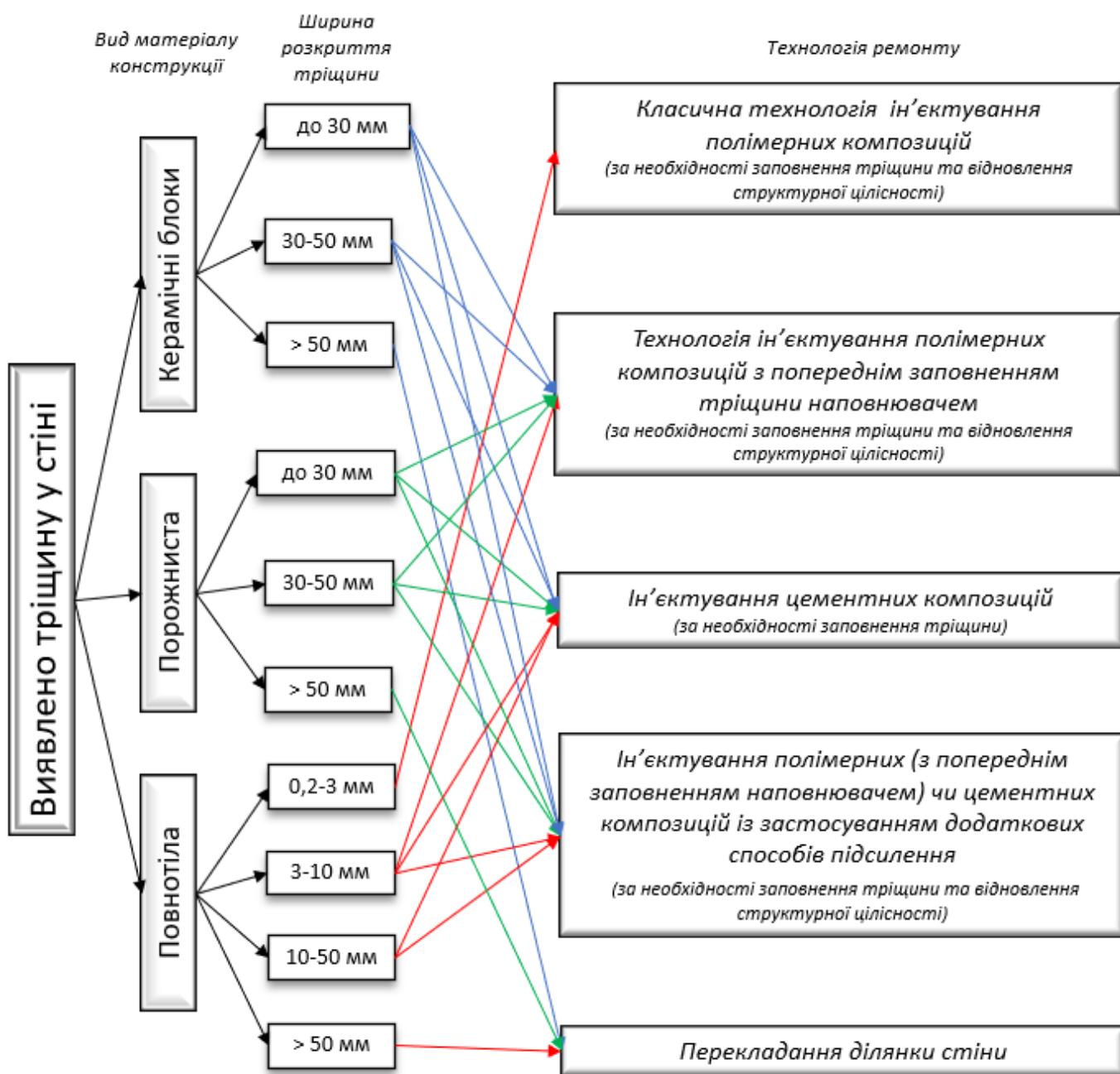


Рис. 4.1. Блок-схема вибору технологій ремонту кам'яних конструкцій залежно від виду тіла конструкції та ширини розкриття тріщини

Відповідно до блок-схеми (див. рис. 4.1), вибір технології ремонту та виду ремонтних матеріалів залежить від матеріалу конструкцій (повнотіла або порожниста цегла чи керамічні блоки) та ширини розкриття тріщин у них. При цьому, вибір технології залежить від очікуваного результату, а саме: відновлення структурної цілісності або відновлення міцнісних показників. Так, виокремлено наступні технології ремонту: ін'єктування епоксидними чи цементними композиціями з/ без

попереднього заповнення тріщини наповнювачем; підсилення із застосуванням додаткових способів (наприклад – наклеювання зовнішнього армування у вигляді ламелей, вуглецевих стрічок, влаштування сталевих елементів підсилення, обойми – цегляні, розчинові, залізобетонні, сталеві тощо; перекладання кладки.

Враховуючи результати аналізу науково-технічної та нормативної літератури щодо ремонту тріщин кам'яних конструкцій, а також враховуючи результати виконаних експериментальних досліджень удосконалено існуючу технологію ремонту тріщин кам'яних конструкцій, що дозволить виконати структурне відновлення пошкодженої тріщинами кладки, відновить її міцнісні показники на згин, при цьому дозволить знизити техніко-економічні показники (ТЕП) порівняно з класичними методами ремонту.

Загалом удосконалена технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин, складається із наступних технологічних процесів:

- підготовчий;
- ремонт тріщин;
- завершальний.

Для виокремлення окремих процесів далі наведено опис удосконаленої технології при застосуванні цементних та полімерних матеріалів.

Наступним кроком даного дослідження є встановлення особливостей ремонту тріщин ін'єктуванням полімерних матеріалів для кожного із вказаних вище технологічних процесів.

До *підготовчих процесів* віднесено: підготовку матеріалів та обладнання для виконання ремонтних робіт; 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.

При підготовці матеріалів та обладнання, що необхідні для виконання ремонтно-відновлювальних робіт, важливо на початковому етапі встановити ділянки виконання робіт, а також ширину розкриття, довжину та глибину тріщини. Дані

параметри необхідні для визначення орієнтовного об'єму ремонтного матеріалу для виконання ін'єктування.

Виконаними експериментальними дослідженнями встановлено наступне – якщо ремонтно-відновлювальними роботами передбачено *заповнення тріщин та відновлення структурної цілісності* то необхідно:

- тріщини у стінах з повнотілої цегли шириною розкриття до 3 мм ін'єктувати за класичною технологією;
- тріщини з розкриттям 3-10 мм у стінах з повнотілої цегли потрібно попередньо заповнити кварцовим піском з подальшим ін'єктуванням за класичною технологією;
- тріщини з шириною розкриття до 30 мм у стінах з порожнистої цегли чи керамічних блоків – попередньо заповнити тріщину та пустоти кварцовим піском та проін'єктувати за класичною технологією;
- тріщини з шириною розкриття від 30 мм до 50 мм у стінах для кладки з будь-яких каменів заповнити кварцовим піском з подальшим ін'єктуванням за класичною технологією та виконати додаткове підсилення (у даній роботі не розглядалося).

У подальшому підбирається обладнання за допомогою якого буде виконано ін'єктування у тріщину. Так, для таких робіт може бути використано одно- чи двокомпонентний насос. Якщо обстеженням встановлено, що тріщина, яка підлягає ін'єктуванню, розташована на висоті, або ж її протяжність по висоті значна, тоді, перед початком робіт, встановлюють риштування або інвентарні засоби підмоцвання.

У подальшому виконують підготовку тріщини до ін'єктування. Для цього вздовж тріщини виконати демонтаж опорядження на ширину 5-7 см з кожної сторони від її осі. Це необхідно для візуалізації тріщини, встановлення можливого розгалудження та уточнення геометричних параметрів. Дані роботи можуть бути виконані як за допомогою ручного інструменту (за умови наявності на стінах гіпсової штукатурки), так і з використанням спеціального обладнання (за умови наявності цементної штукатурки, плитки тощо). Далі тріщину очищують від незв'язних частин, пилу і бруду шляхом її продування повітрям під тиском. Зволоження тріщини водою не бажане, адже за рахунок наявності у порах тіла конструкції води не буде досягнуто

просочення тіла полімерною композицією, а зчеплення матеріалу з основою буде зменшено. Відповідно, за умови вологості конструкції більше 4 % необхідно перед ін'єктуванням тріщини виконати осушення конструкції до вказаних параметрів.

Важливо відмітити – відповідно до технологічних карт на ремонтні матеріали, у більшості виробників вказано, що мінімально допустимою температурою виконання ремонтно-відновлювальних робіт є +5 °С. Тому, якщо у приміщенні, де буде виконуватися ремонт тріщини, або на вулиці (осінь-зима-весна), температура навколишнього середовища буде менше вказаного параметру або менше значення наведеного у технологічній карті на ремонтний матеріал, то необхідно або забезпечити відповідний температурний режим (для приміщень), або відкласти виконання ремонтних робіт до підвищення температури.

Далі, залежно від просторового положення тріщини та її ширини розкриття, виконується розмітка місць буріння отворів під ін'єкційні пакери. Якщо ширина розкриття тріщини більше 10 мм, то буріння отворів не обов'язкове, адже пакери можна влаштувати безпосередньо у тріщину. При ширині розкриття тріщин до 10 мм, отвори під пакери можуть бути розташовані або у шаховому порядку вздовж осі тріщини з кроком 35 см, або з однієї сторони тріщини (за умови відсутності можливості виконання отворів у шаховому порядку). Крок пакерів залежить від виду обраного ремонтного матеріалу. Отвори, що будуть розташовані вздовж осі тріщини мають бути виконані під кутом 45° до поверхні конструкції, глибиною, що забезпечить перетин ними тріщини. Важливо, при розмітці місць буріння звертати особливу увагу на стан тіла конструкції, для того, щоб під час буріння додатково не пошкодити її. Після буріння отворів, необхідно очистити їх від пилу і бруду, і, за необхідності, виконати додаткове очищення тріщини.

На кінцевому етапі підготовки до ін'єктування в просвердлені отвори необхідно влаштувати ін'єкційні пакери. 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 (рис. 4.2, б (розріз 1-1)). Також можливий варіант застосування пакерів, що наклеюються

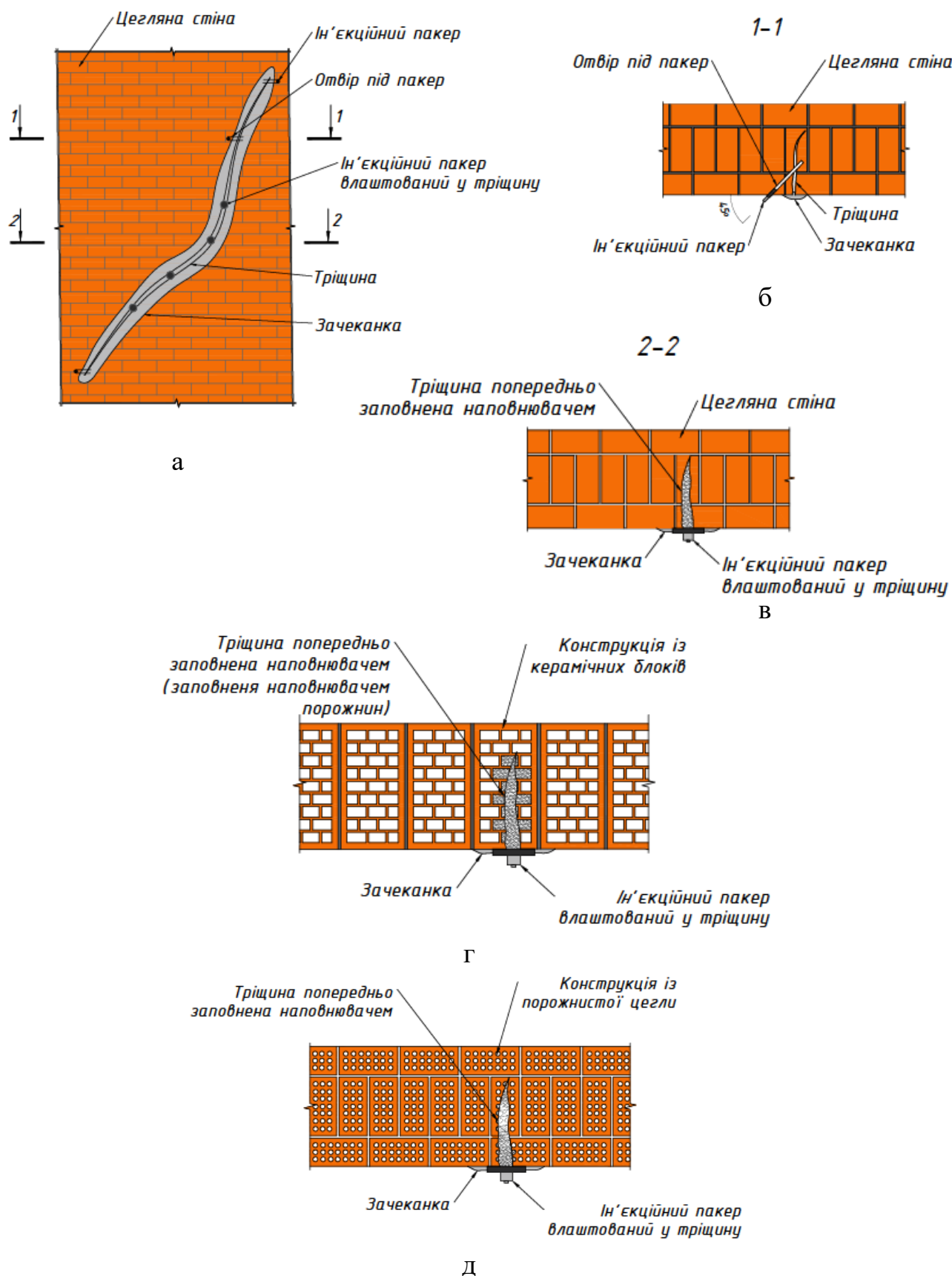


Рис. 4.2. Способи влаштування ін'єкційного пакера у тріщину за умови:
 а-в) ремонту конструкції із повнотілої цегли; г) ремонту конструкції із керамічних блоків; д) ремонту конструкції із порожнистої цегли

(рис. 4.2, в (розріз 2-2)). Такий варіант доцільно застосовувати за необхідності ін'єктування тріщин у конструкціях виконаних із керамічних блоків чи порожнистої цегли (рис. 4.2, г, д). Варто пам'ятати, що влаштування ін'єкційних пакерів безпосередньо у тріщини або використання пакера, що наклеюється, виконується тільки після зачеканки тріщини. Різновиди ін'єкторів представлено на рис. 4.3.



Рис. 4.3. Ін'єкційні пакери (ін'єктори): а) металевий; б) зовнішній; в) пластиковий

Для уникнення витікання ремонтного розчину із тріщини під час ін'єктування необхідно виконати її зачеканку спеціальними ремонтними розчинами. Матеріал для зачеканки готується безпосередньо перед його використанням відповідно до рекомендацій виробників. Якщо, для ін'єктування буде обрано спосіб влаштування пакера у тріщину, то його потрібно влаштувати під час зачеканки тріщини у свіжий матеріал або ж просвердлити отвір у зачеканці після її затвердіння. У якості матеріалу для зачеканки може бути використано цементний, полімер-цементний чи інший матеріал.

Якщо проектом передбачено заповнення тріщин кварцовим піском то таку дію можна виконати за допомогою пікоструменевого (насадка до компресора) апарату задуваючи його, починаючи із нижньої ділянки тріщини (рис. 4.4). При цьому, при виконанні зачеканки тріщини, на початковому етапі потрібно передбачити не зачеканені місця у місцях влаштування пакерів довжиною 3-5 см, через які виконати заповнення тріщини піском, а після того зачеканити/ влаштувати пакер.

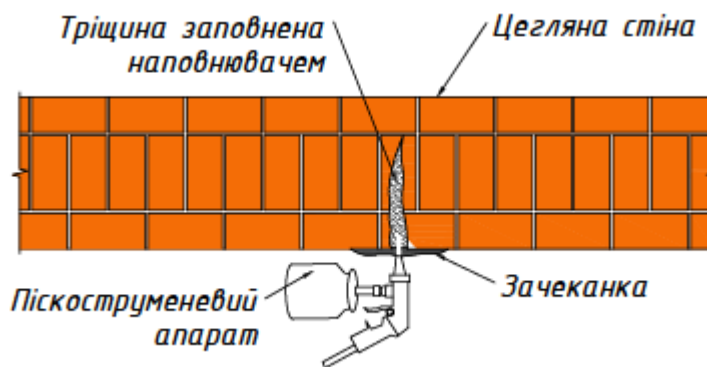


Рис. 4.4. Заповнення тріщини наповнювачем (кварцовим піском)

Ремонт тріщин

На етапі ремонту тріщин необхідно виконати наступний перелік робіт: приготування ремонтного розчину; ін'єктування; додаткове ін'єктування.

Після зачеканки тріщини необхідно витримати технологічну перерву для затвердіння розчину. Далі необхідно приготувати ремонтний розчин відповідно до рекомендацій виробника. При цьому слід зважати на обсяг тріщини, що підлягає ремонту і умови виконання робіт, а саме температурний режим та час твердіння/схоплювання матеріалу. Варто зауважити, що прорахований загальний обсяг ремонтного матеріалу має бути орієнтовно на 10-20 % більше ніж орієнтовний об'єм тріщини. Об'єм приготованого матеріалу має бути таким, щоб за час його життєздатності можливо було виконати його повне ін'єктування.

Варто додати, що експериментально доведено, що при ін'єктуванні полімерного ремонтного розчину в тріщину попередньо заповнену кварцовим піском відбувається певне перерозподілення та розуцільнення наповнювача у зоні ін'єктування. Цей процес супроводжується появою пустот (без наповнювача), які в подальшому під дією гравітації поступово ним заповнюються. Тому потрібно зважати, що за рахунок такої суфозії у верхній ділянці тріщини наповнювач буде частково відсутній.

На кінцевому етапі готовий ремонтний розчин вливають у ємності насоса та під'єднують конектор на кінці шлангу до найнижчого пакера. В подальшому вмикають насос та відкривають краник на конекторі – розпочинається ін'єктування. Дослідженнями встановлено, що для повного заповнення тріщини матеріалом та

уникнення виникнення повітряних пазух тиск ін'єктування має бути мінімальний. Після появи матеріалу у вище розташованому пакері, нижчий перекривають, конектор під'єднують до вищого пакера та виконують подальше ін'єктування. Таким чином ін'єктується вся тріщина по висоті – знизу до гори. Експериментально доведено, що після повного ін'єктування за рахунок просочення матеріалу у тіло конструкції відбувається зниження рівня матеріалу. Тому, для повного заповнення тріщини необхідно виконати доін'єктування ремонтного матеріалу у верхній пакер орієнтовно через 20-30 хв після завершення ін'єктування.

Завершальний етап

Видалення ін'єкційних пакерів та зачеканку виконувати після полімеризації ремонтного розчину. При цьому пакери можуть бути видалені повністю з подальшою зачеканкою отворів ремонтним розчином, або можуть бути зрізані кутовою шліфувальною машинкою.

На кінцевому етапі виконується опорядження поверхні стін. За наявності риштувань/ інвентарних підмостів, виконується їх розбирання.

Особливості ремонту тріщин конструкцій із порожнистих елементів чи керамічних блоків полімерними композиціями

За необхідності ремонту тріщин у кам'яних конструкціях із керамічних блоків чи порожнистої цегли технологія ремонту буде мати певні особливості:

- підготовка тріщини до ін'єктування полягатиме у її очищенні від незв'язних частин продуванням під тиском;
- зачеканку тріщини виконати спеціальними швидкотверднучими матеріалами (у місцях монтажу пакерів залишити по 3-5 см незачеканених ділянок);
- заповнити тріщину кварцовим піском;
- улаштувати ін'єкційні пакери з кроком 25-35 см;
- проін'єктувати тріщину обраними полімерними композиціями починаючи від найнижчого пакера з поступовим підйомом вгору;
- доін'єктувати тріщину через верхній пакер орієнтовно через 20 хв після завершення ін'єктування.

Усі наведені дані структуровано та зведено до табл. 4.1.

Структура процесу ремонту тріщин кам'яних конструкцій із використанням
полімерних матеріалів

Вид матеріалу конструкції	Із повнотілої цегли		Із порожнистої цегли		Із керамічних блоків	
Ширина розкриття тріщин	до 3 мм	від 3 мм до 10 мм	до 3 мм	від 3 мм до 10 мм	до 3 мм	від 3 мм до 10 мм
Підготовчі роботи						
Підготовка основи:						
- знепилення	+	+	+	+	+	+
Монтаж риштувань	±	±	±	±	±	±
Розмітка місць буріння отворів	+	+	+	+	+	+
Буріння отворів	+	±	+	±	+	±
Очищення отворів	+	+	+	+	+	+
Зачеканка тріщини	+	+	+	+	+	+
Технологічна перерва	+	+	+	+	+	+
Заповнення тріщини кварцовим піском	-	+	±	+	±	+
Влаштування ін'єкційних пакерів:						
- у тріщини	-	+	-	+	-	+
- вздовж тріщини	+	+	+	+	+	+
Ремонт тріщин						
Приготування ремонтного розчину	+	+	+	+	+	+
Ін'єктування	+	+	+	+	+	+
Додаткове ін'єктування	-	+	+	+	+	+
Технологічна перерва	+	+	+	+	+	+
Завершальні роботи						
Демонтаж ін'єкційних пакерів	+	+	+	+	+	+
Опорядження поверхні	+	+	+	+	+	+
Демонтаж риштувань	±	±	±	±	±	±

Примітка: + - обов'язкове виконання технологічної операції;

- - технологічна операція не виконується;

± - технологічна операція може бути виконана за необхідності.

Далі більш детально розглянемо особливості здійснення ремонту тріщин ін'єктуванням цементними ін'єкційними матеріалами для кожного із вказаних вище технологічних процесів, а саме: підготовчого, безпосередного ремонту та завершального.

Загалом технологія ін'єктування тріщин при використанні цементних матеріалів суттєво не відрізняється від вище наведеної технології, однак має свої особливості та відмінності. Загальну структуру процесу ремонту тріщин кам'яних конструкцій із використанням цементних матеріалів наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Структура процесу ремонту тріщин кам'яних конструкцій із використанням цементних матеріалів

Вид матеріалу конструкції	Із повнотілої цегли	Із порожнистої цегли	Із керамічних блоків
Підготовчі роботи			
Підготовка основи:			
знепилення	+	+	+
зволоження	+	+	+
Розмітка місць буріння отворів	+	+	+
Буріння отворів	±	±	±
Очищення отворів	+	+	+
Зачеканка тріщини	+	+	+
Влаштування ін'єкційних пакерів:			
у тріщини (від 10 мм) під час чи	+	+	+
після зачеканки тріщини	+	+	+
вздовж тріщини			
Ремонт тріщини			
Технологічна перерва	+	+	+
Приготування ремонтного розчину	+	+	+
Ін'єктування	+	+	+
Технологічна перерва	+	+	+
Завершальні роботи			
Демонтаж ін'єкційних пакерів	+	+	+
Опорядження поверхні	+	+	+
Демонтаж риштувань (за їх наявності)	±	±	±

Примітка: + - обов'язкове виконання технологічної операції;

± - технологічна операція може бути виконана за необхідності.

До *підготовчих процесів* віднесено: підготовку матеріалів та обладнання для виконання ремонтних робіт; встановлення риштувань (за необхідності); демонтаж опорядження вздовж тріщини; очищення тріщини та конструкції від незв'язного матеріалу та пилу; розмітка місць під ін'єктори та буріння отворів; зачеканка тріщини; монтаж ін'єкційних пакерів. Для ін'єктування цементних матеріалів у тріщини кам'яних конструкцій підбирається спеціальне обладнання. Так, залежно від обсягу робіт може бути застосований спеціальний ін'єкційний насос для цементних сумішей – при значних обсягах або ручний ін'єкційний «шприц» – при незначних обсягах. Слід відмітити, що в ході експериментальних досліджень встановлено, що ін'єкційні поршневі насоси не придатні для ін'єктування цементних сумішей, оскільки швидко виходять з ладу, не зважаючи на інформацію у техпаспорті, що вони можуть використовуватися для таких цілей.

Після демонтажу опорядження вздовж тріщини необхідно виконати очищення її від незв'язних частин, пилу і бруду шляхом продування повітрям під тиском або промиванням водою, що дозволить не тільки очистити тріщину, а і зволожити поверхню тіла конструкції перед ін'єктуванням, що є обов'язковою вимогою при застосуванні цементних розчинів.

Зачеканку тріщини виконують відповідно до опису наведеного вище. Перед ін'єктуванням необхідно добре зволожити тріщину для уникнення завчасного пересихання ремонтного цементного матеріалу внаслідок всмоктування води порами тіла конструкції. Для цього, потрібно заповнити тріщину чистою водою проін'єктувавши її через верхні пакери. Після буріння отворів з кроком 30-40 см та їх очищення виконати влаштування ін'єкційних пакерів. При використанні цементного розчину доцільно використовувати забивний пластиковий ін'єкційний пакер (рис. 4.2, в), який можна влаштувати безпосередньо у тріщину (при її ширині розкриття більше 10 мм), або ж у спеціально пробурені отвори.

Ремонт тріщин

На даному етапі необхідно виконати наступний перелік робіт: зволоження; приготування ремонтного розчину; ін'єктування.

Після приготування ремонтного матеріалу відразу виконується його ін'єктування за технологією, опис якої наведено вище. При цьому, з урахуванням

виконаних досліджень, можна стверджувати, що за потреби *заповнення тріщини конструкції з частковим відновленням структурної цілісності*:

- для конструкцій із повнотілих елементів із тріщинами шириною розкриття 3-50 мм, для конструкцій із порожнистої цегли (з шириною розкриття тріщин до 30 мм) чи із керамічних блоків (з шириною розкриття до 30 мм) виконувати ін'єктування цементними матеріалами за класичною технологією;

- для конструкцій із порожнистої цегли (з шириною розкриття тріщин від 30 до 50 мм) чи із керамічних блоків (з шириною розкриття від 30 до 50 мм) застосовувати ін'єктування за класичною технологією з улаштуванням додаткових засобів підсилення (у даній роботі не розглядалося);

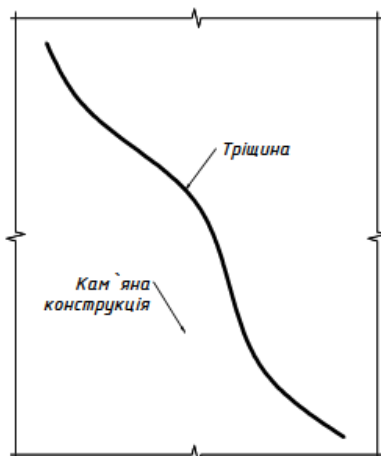
- для конструкцій із повнотілих, порожнистих елементів чи керамічних блоків з шириною розкриття тріщин від 50 мм виконати перекладання ділянки кладки.

Перелік та порядок виконання робіт *завершального етапу* є подібним наведеному вище.

У кінцевому результаті удосконалену технологію ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин можна подати наступними технологічними процесами, наведеними на рис. 4.4.

Технологія ремонту тріщин кам'яних конструкцій ін'єктуванням у них ремонтних розчинів може бути застосована для вирішення широкого спектру завдань, які пов'язані із відновленням експлуатаційної придатності, просторової жорсткості та несучої здатності об'єктів будівництва. Ця технологія є однією із найбільш вживаних при реставрації та консервації пам'яток архітектури, де застосовуються чіткі регламенти щодо мінімізації втручання у автентичну структуру історичного матеріалу. Також, дана технологія може бути застосована у цивільному та промисловому будівництві для усунення наслідків критичних навантажень, сейсмічних чи вібраційних впливів, температурних деформацій, нерівномірних осідань ґрунтової основи тощо. Використання спеціальних ін'єкційних матеріалів (мікроцементних суспензій та епоксидних композицій) дозволяє здійснити відновлення структурної цілісності кам'яної кладки шляхом заповнення мікро- і макротріщин, внутрішніх каверн та зон розшарування, порожнин тощо.

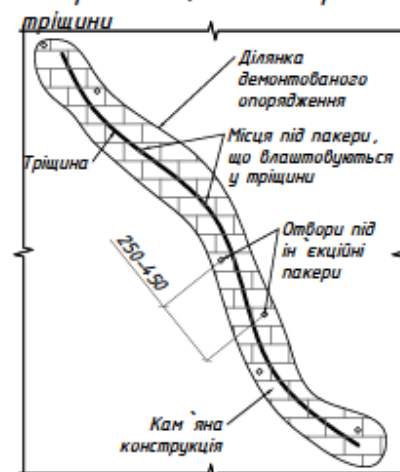
Визначення
розкриття тріщини, підбір
ремонтного матеріалу



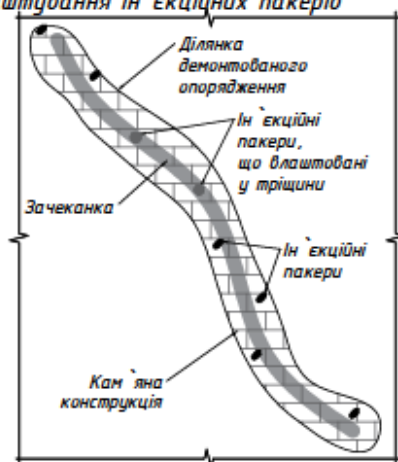
1. Демонтаж опорядження



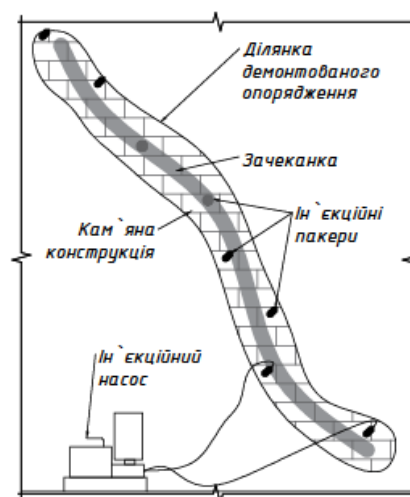
2. Розмітка та буріння
отворів. Очищення отворів та
тріщини



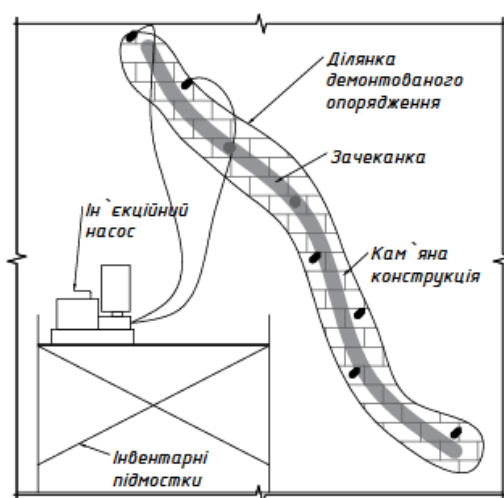
3. Зачеканка тріщини. Заповнення тріщини
наповнювачем (за необхідності) / Зволоження
(при використанні цементних матеріалів).
Влаштування ін'єкційних пакерів



4. Ін'єктування тріщини



1-5. Монтаж/демонтаж риштування
(за необхідності)



5. Демонтаж пакерів,
відновлення опорядження

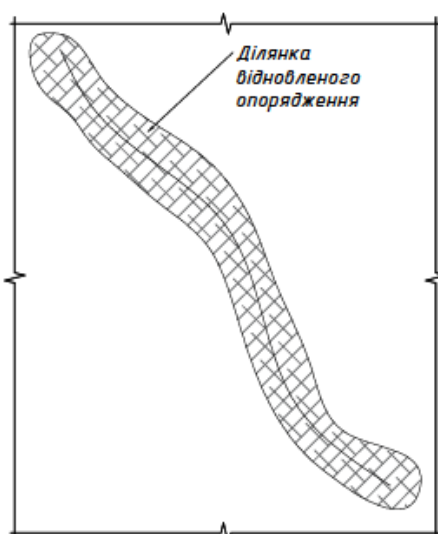


Рис. 4.4. Технологічні схеми на виконання процесів з ремонту тріщини

Дана технологія може бути застосована при виконанні капітального ремонту та реконструкції об'єктів, що зазнали пошкоджень внаслідок дії позапроектних впливів (внаслідок військових дій).

Головним очікуваним результатом при застосуванні технології ін'єктування є відновлення суцільності та монолітності пошкодженого масиву кам'яної конструкції. Це досягається завдяки високим показникам адгезії та проникній здатності ін'єкційних матеріалів. У кінцевому результаті відремонтована конструкція може бути повністю відновлена до початкових фізико-механічних характеристик елемента (зокрема, опору на стиск та зріз), та перерозподілити внутрішні напруження у конструкції.

Однак, варто відмітити, що досягнути вище зазначених результатів можливо лише за умови усунення причин виникнення пошкоджень.

Враховуючи результати виконаного дисертаційного дослідження можна стверджувати, що удосконалену технологію ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами ін'єктуванням у них ремонтних матеріалів може бути застосована для:

- ремонту тріщин з шириною розкриття від 0,2 до 3 мм конструкцій із повнотілої цегли з використанням полімерних композицій для відновлення структурної цілісності;

- ремонту тріщин з шириною розкриття від 3 до 50 мм конструкцій із повнотілої цегли з використанням цементних матеріалів для заповнення тріщин та часткового відновлення структурної цілісності;

- ремонту тріщин з шириною розкриття від 3 до 10 мм конструкцій із повнотілої цегли з попереднім заповненням тріщини кварцовим піском та подальшим ін'єктуванням полімерних композицій для відновлення структурної цілісності;

- ремонту тріщин з шириною розкриття 3-50 мм конструкцій із повнотілої цегли з подальшим ін'єктуванням полімерних композицій (з попереднім заповненням тріщини кварцовим піском) або ж цементними матеріалами із застосуванням додаткових способів підсилення для відновлення структурної цілісності та/або збільшення несучої здатності;

- ремонту тріщин з шириною розкриття до 30 мм у конструкціях із порожнистих елементів чи керамічних блоків з попереднім заповненням тріщини/ порожнин кварцовим піском та подальшим ін'єктуванням полімерних композицій для відновлення структурної цілісності;

- ремонту тріщин з шириною розкриття до 30 мм у конструкціях із порожнистих елементів чи керамічних блоків з ін'єктуванням цементних композицій для заповнення тріщин та відновлення структурної цілісності;

- ремонту тріщин з шириною розкриття від 30 до 50 мм у конструкціях із порожнистих елементів чи керамічних блоків з подальшим ін'єктуванням полімерних композицій (з попереднім заповненням тріщини/порожнин кварцовим піском) або цементних композицій із застосуванням додаткових способів підсилення для відновлення структурної цілісності та/або збільшення несучої здатності

4.2 Техніко-економічне обґрунтування удосконаленої технології ремонту тріщин

Для встановлення техніко-економічної обґрунтованості удосконаленої технології ремонту тріщин у кам'яних конструкціях виконано її техніко-економічне порівняння (ТЕП) з класичною технологією. А саме порівняно наступні ТЕП: вартість, трудомісткість та тривалість робіт, а також вартість матеріалів необхідних для виконання ремонтно-відновлювальних робіт. Дані дослідження виконано для обсягу робіт на ремонт умовної тріщини довжиною 100 м, шириною розкриття 10 мм та глибиною 200 мм для кладки з повнотілої цегли та керамічних блоків.

Розглянуті наступні технології:

- ремонт тріщини ін'єктуванням у неї цементного матеріалу (на прикладі матеріалу Stabilcem);

- ремонт тріщини ін'єктуванням у неї полімерного матеріалу (на прикладі матеріалу Едмок ін'єкційний);

- ремонт тріщини з попереднім її заповненням кварцовим піском та подальшим ін'єктуванням матеріалу Едмок ін'єкційний.

Враховуючи вище наведені дані, об'єм умовної тріщини складатиме:

- для конструкції із повнотілих елементів – 0,2 м³;

- для конструкції із керамічних блоків– $0,31 \text{ м}^3$ (враховуючи об'єм пустот).

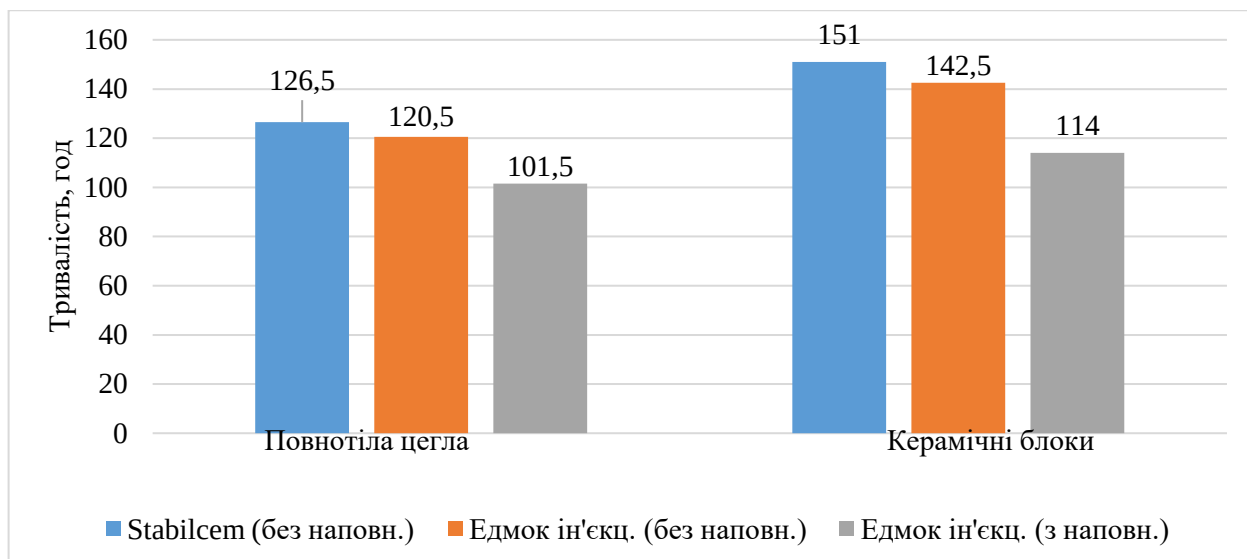
У процесі ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами їх ін'єктуванням необхідно: встановити підмості/риштування (за потреби); очистити тріщину; зробити розмітку місць для свердління та просвердлити їх; зачеканити тріщину; заповнити тріщину піском (за необхідності); влаштувати пакери в отвори; приготувати ремонтний розчин; проін'єктувати його; виконати демонтаж пакерів; виконати відновлення опорядження; під час роботи пересувати підмості/риштування та демонтувати їх (за потреби).

Виконувати монтаж, демонтаж та переміщення рухомого риштування, зрізати пакери повинен [104] слюсар 4-го розряду; виконувати розмітку місць та свердлити отвори, готувати ремонтний матеріал, зачеканювати тріщини має муляр 3-го розряду (або ж свердлити отвори має слюсар 4-го розряду); виконувати вклеювання ін'єкційних пакерів та ін'єктувати має машиніст компресорної установки 3-го розряду та ізолювальник 4-го розряду; заповнення тріщини кварцовим піском виконують робітники-будівельники 5-го розряду або ж піскоструйник 4-го розряду.

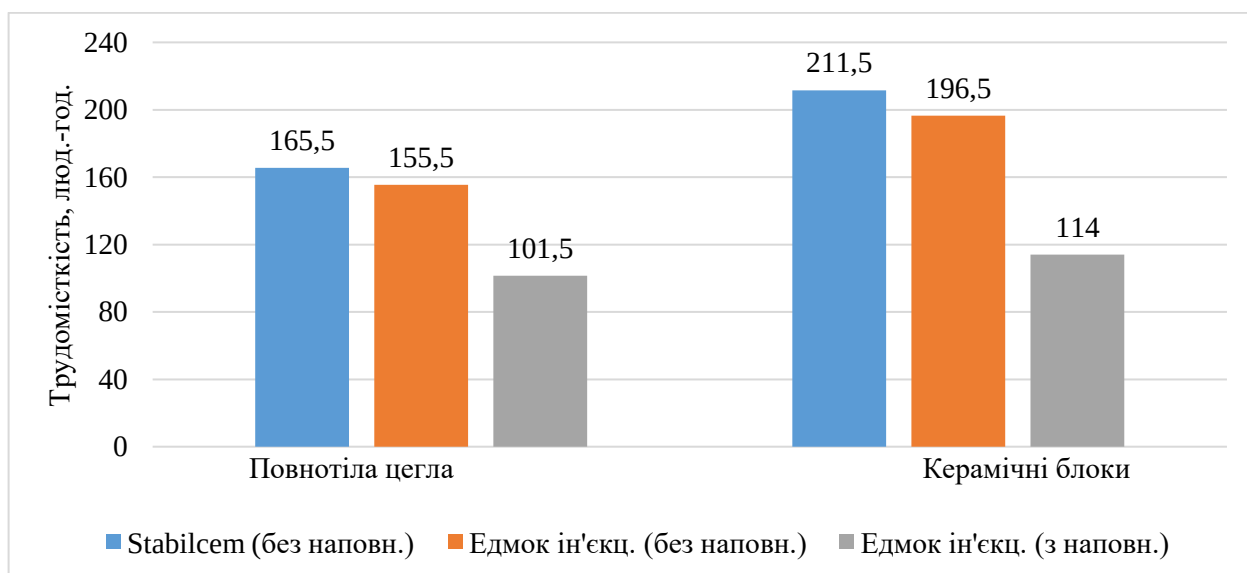
Для виконання ремонтних робіт підібрано оптимальний склад ланки робітників: 1 – слюсар 4-го розряду; 1 – муляр 3-го розряду; 1 – ізолювальник 4-го розряду; 1 – машиніст компресорної установки 3-го розряду .

Для визначення тривалості та трудомісткості обсягу робіт на виконання ін'єктування 100 м.п. тріщини, що підлягає ремонту за обраними технологіями виконано технологічні розрахунки (дод. Б). Для виконання розрахунків трудомісткості робочих процесів визначали за встановленими і запозиченими нормами часу із ГН, ДСТУ тощо [105, 106]. У разі, коли відсутні норми часу на проведення окремих робочих операцій, то їх значення встановлено за результатами натурного експерименту з виконанням власного хронометражу.

Розрахунки виконано для порівняння однакових технологій при ремонті тріщини у конструкції виконаної із повнотілої цегли та керамічних блоків. Відповідно до даних розрахунків побудовано графіки відносної тривалості ремонтних робіт та трудомісткості їх виконання (рис. 4.5).



а



б

Рис. 4.5. Відносна тривалість (а) та трудомісткість (б) ремонту тріщини ін'єкуванням

Розрахунком встановлено, що незважаючи на більшу кількість робочих операцій необхідних для виконання робіт із ін'єкування тріщини полімерними композиціями як без, так і з попереднім їх заповненням кварцовим піском, і відносна тривалість, і трудомісткість їх виконання буде меншою ніж при ін'єкуванні тріщини цементним матеріалом не залежно від виду матеріалу конструкції.

Так, тривалість ін'єкування тріщини у конструкції із повнотілих елементів полімерною композицією без попереднього заповнення її кварцовим піском складає

120,5 год (без урахування технологічних перерв), що на 6 год менше ніж для технології ін'єктування цементного матеріалу та на 19 год більше за удосконалену технологію ін'єктування (рис. 4.5, а). При цьому, трудомісткість виконання ін'єктування тріщини у конструкції із повнотілих елементів полімерною композицією без попереднього заповнення тріщини кварцовим піском складає 155,5 люд.-год., що на 10 люд.-год. менше за технологію ін'єктування цементних композицій та на 54 люд.-год. більше за удосконалену технологію ін'єктування тріщини полімерними композиціями з попереднім заповненням тріщини піском (рис. 4.5, б).

Тривалість ін'єктування тріщини у конструкції із керамічних блоків полімерною композицією з попереднім заповненням її кварцовим піском складає 114 год (без урахування технологічних перерв), що на 28,5 год менше ніж для технології ін'єктування чистого полімерного матеріалу та на 37 год менше ніж при ін'єктуванні цементного матеріалу (рис. 4.5, а). Аналогічно, трудомісткість виконання ін'єктування тріщини у конструкції із керамічних блоків полімерною композицією з попереднім заповненням тріщини кварцовим піском складає 114 люд.-год., що на 82,5 люд.-год. менше за технологію ін'єктування полімерної композиції та на 97,5 люд. - год. менше ніж при ін'єктуванні цементних композицій (рис. 4.5, б).

Ринкова ціна матеріалів (без урахування доставки) на серпень 2026 р. складає: *Stabilcem* – 133,6 грн/кг; *Едмок ін'єкційний* – 144 грн/л; кварцовий пісок фракцією 1,1 - 1,8 мм – 19,92 грн/кг; пакери/ ін'єктори сталеві (для ін'єктування полімерних композицій) – 60 грн/шт.; пакери/ ін'єктори пластикові ін'єкційні (для цементних матеріалів) – 45 грн/шт.

Відповідно до рекомендацій щодо розташування ін'єкційних пакерів (див. розділ 3) встановлено, що при застосуванні полімерних композицій середній крок ін'єкційних пакерів має складати 35 см, при використанні цементних композицій – 30 см. Тоді, кількість пакерів, необхідних для виконання робіт із ін'єктування умовної тріщини довжиною 100 м складає: 334 шт. – при застосуванні цементних композицій та 287 шт. – при застосуванні полімерних композицій.

Розрахунок вартості матеріалів наведено у табл. 4.6.

Розрахунок вартості матеріалів для виконання обсягу робіт по ремонту умовної тріщини довжиною 100 м.п.

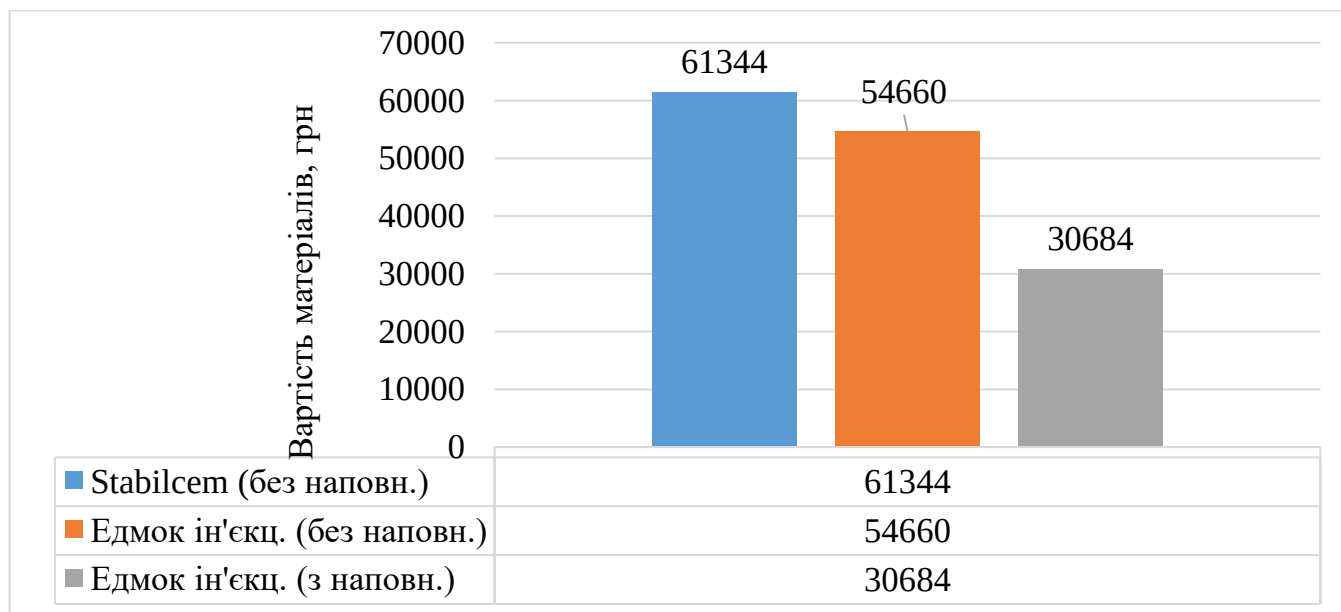
Матеріал	Вид матеріалу конструкції	Наявність заповнення	Необхідний об'єм матеріалу, м ³	Вартість матеріалу, грн	К-ть пакерів, шт.	Загальна вартість, грн
Stabilcem	Повнотіла цегла	Відсутнє	0,26*	46314,367	334	61344,37
	Керамічні блоки	Відсутнє	0,403*	71787,73		86817,73
Едмок	Повнотіла цегла	Відсутнє	0,26*	37440	287	54660
		Наявне	0,052 /0,208**	13464		30684
	Керамічні блоки	Відсутнє	0,403*	58032		75252
		Наявне	0,081/0,322**	20869,2		38089,2

Примітка: *об'єм матеріалу пороховано з коефіцієнтом запасу 1,3;

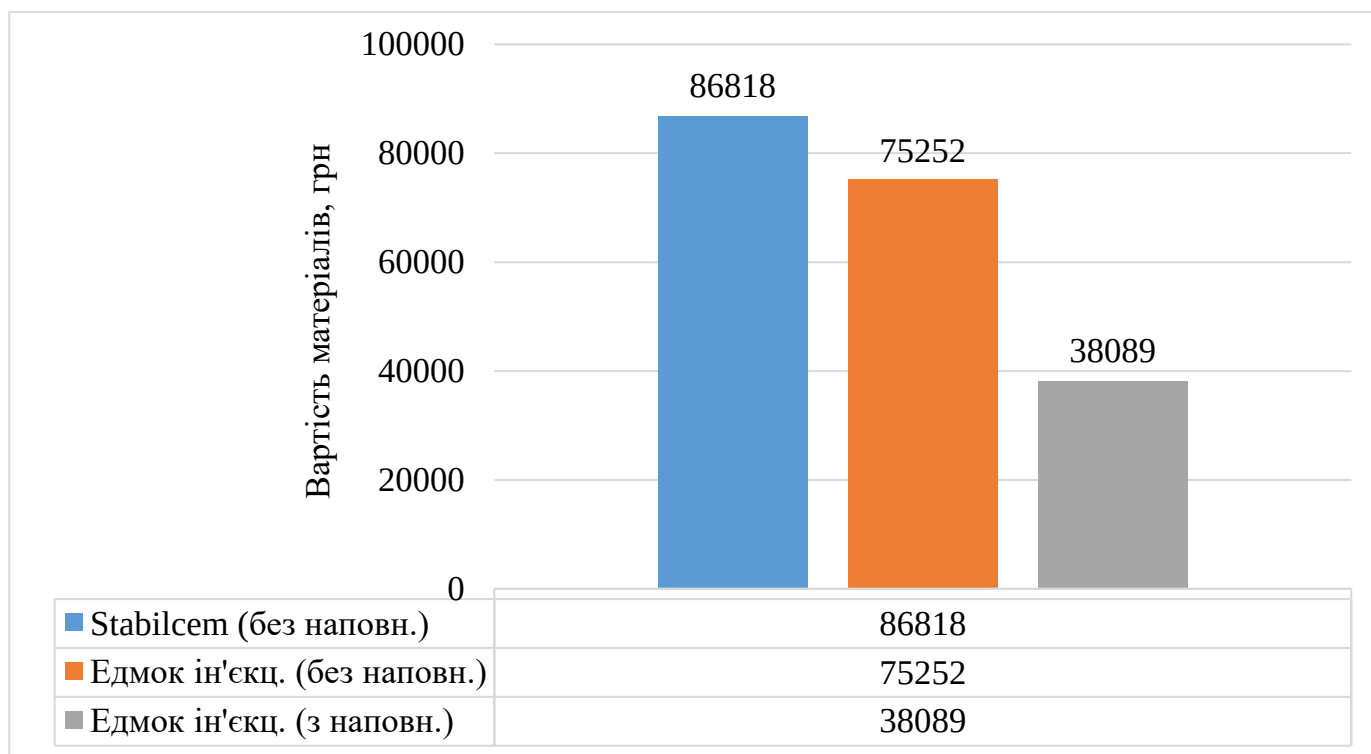
** об'єм матеріалу складає орієнтовно 20 % від об'єму тріщини, а 80 % займає пісок кварцовий

Для порівняння отриманих значень вартості матеріалів для виконання ремонтно-відновлювальних робіт побудовано діаграми (рис. 4.6) окремо для конструкцій виконаних із повнотілих елементів (рис. 4.6, а) та із керамічних блоків (рис. 4.6, б).

Встановлено, що найбільш витратною (по вартості ремонтних матеріалів), незалежно від виду матеріалу конструкцій, є технологія ін'єктування в умовну тріщину цементної композиції *Stabilcem*, що складає 61 344 грн (для конструкції із повнотілих елементів) та 86 818 грн (для конструкції із керамічних блоків). В той же час, за умови використання матеріалу *Едмок ін'єкційний* вартість матеріалів складатиме 54 660 та 75 252 грн, що у 1,12 рази менше для повнотілих елементів та у 1,15 рази менше для керамічних блоків. При заповненні умовної тріщини кварцовим піском та подальшим ін'єктуванням полімерної композиції вартість матеріалів значно зменшиться порівняно із обома варіантами та складатиме 30 684 грн та 38 089 грн, що, відповідно у 2 рази менше для повнотілих елементів (при застосуванні матеріалу *Stabilcem*) і у 1,78 рази менше ніж при використанні матеріалу *Едмок ін'єкційний*, а також у 2,28 рази менше для керамічних блоків ніж при використанні матеріалу *Stabilcem* і у 1,98 рази менше ніж при використанні *Едмок ін'єкційний*.



а



б

Рис. 4.6. Порівняльні діаграми вартості матеріалів необхідних для виконання ремонтно-відновлювальних робіт: а – конструкції із повнотілих елементів;
б – конструкції із керамічних блоків

Варто пам'ятати, що дослідженнями встановлено, що використання полімерних композицій за рахунок високої текучості здатні проникнути у найменші пори та

тріщинки конструкції, заповнити їх, просочитися у тіло конструкції та склеїти тріщину, збільшивши при цьому міцність на стиск ремонтованої конструкції порівняно із застосуванням цементних матеріалів.

Додатково пораховано вартість виконання робіт. Для цього, відповідно до даних збірника «Ціноутворення в будівництві» [107] визначено значення усереднених показників вартості людино-години. Так, середньогодинна ставка для слюсара 4 р. та ізолювальника 4 р. – 145 грн/год; муляра 3 р. та машиніста 3 р. по 130 грн/год.

Тоді, враховуючи раніше отримані трудомісткості виконання ремонтно-відновлювальних робіт пораховано вартість виконання робіт (без урахування вартості матеріалів) (табл. 4.7) та на рис. 4.7.

Таблиця 4.7

Розрахунок вартості виконання обсягу робіт по ремонту тріщини довжиною 100 м.п. за різними технологіями

Технологія	Ін'єктування Stabilcem		Ін'єктування Едмок ін'єкційний (без наповнювача)		Ін'єктування Едмок ін'єкційний (з наповнювачем)	
	Повнотіла цегла	Керамічні блоки	Повнотіла цегла	Керамічні блоки	Повнотіла цегла	Керамічні блоки
Слюсар 4 р.	1377,5	1377,5	1377,5	1377,5	1377,5	1377,5
Муляр 3 р	7150	7540	6565	6955	6695	7205
Ізолювальник 4 р.	8990	12107,5	8772,5	11527,5	5872,5	7105
Машиніст 3 р.	5070	7865	4550	7020	1950	3055
Загальна вартість виконання робіт, грн	22587,5	28890	21265	26880	15895	18752,5

Відповідно до виконаних розрахунків встановлено, що найменш вартісною є удосконалена технологія ремонту тріщин кам'яних конструкцій з попереднім заповненням тріщини кварцовим піском та подальшим ін'єктуванням у неї полімерних композицій не залежно від виду матеріалу конструкції. Так, вартість виконання робіт для конструкцій із повнотілих елементів складає 15 895 грн, що у 1,33 рази менше ніж вартість робіт із ін'єктування чистої полімерної композиції (на прикладі *Едмок ін'єкційний*), та у 1,41 рази менше ніж при технології ін'єктування

цементного матеріалу *Stabilcem*. Вартість виконання ремонту тріщин конструкцій із керамічних блоків за удосконаленою технологією складає 18 752,5 грн, що у 1,43 рази менше ніж технологія ін'єктування чистого полімерного матеріалу та у 1,54 рази менше ніж при ін'єктуванні цементного матеріалу.

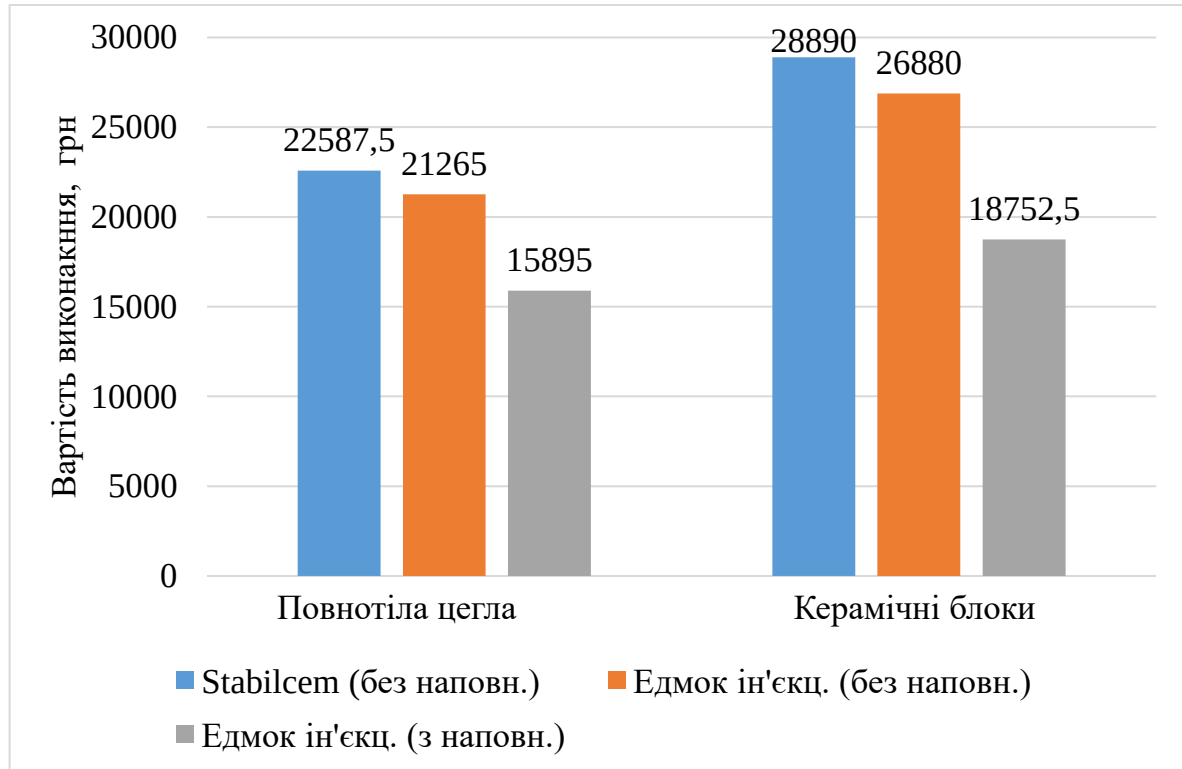


Рис. 4.7. Вартість виконання обсягу робіт по ремонту тріщини довжиною 100 м.п. за різними технологіями

4.3 Впровадження удосконаленої технології ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин

Внаслідок військової агресії росії щодо України з початку повномасштабного вторгнення було пошкоджено значну кількість освітніх закладів у різних регіонах країни. Для безпечного перебування людей (учнів, учителів та ін.) у закладах освіти, першочергово виконано їх обстеження для встановлення технічного стану, як окремих конструктивних елементів так і будівель в цілому [2].

У результаті обстежень виявлено, що внаслідок вибухів поряд із будівлями освітніх закладів, на стінових конструкціях (зовнішніх та внутрішніх), з'явилися нові тріщини: вертикальні та похилі, що перетинають більше 4-х рядів кладки; тріщини у кутах прорізів (віконних, дверних); тріщини у примиканнях конструкцій та інші; а в

окремих випадках розвивалися існуючі тріщини. Встановлено, що ширина розкриття нових тріщин варіювалася від 0,2 до 10 мм, а розкривання існуючих тріщини в окремих випадках складало 30 мм та більше. Відповідно, прийнято рішення про проведення комплексу ремонтно-відновлювальних робіт з метою відновлення експлуатаційної придатності освітніх закладів, що включали в тому числі, і ремонт тріщин стінових конструкцій.

Для кожного об'єкту враховано результати виконаних обстежень і результати досліджень даної наукової роботи та виокремлено наступні способи ремонту тріщин:

- при ширині розкриття від 0,3 до 3 мм у конструкціях із повнотілих елементів – ін'єктування полімерними розчинами;
- при ширині розкриття від 3 до 50 мм у конструкціях із повнотілих елементів – ін'єктування цементними розчинами;
- при ширині розкриття від 30 мм у конструкціях із повнотілих елементів – ін'єктування цементними розчинами з улаштуванням елементів підсилення (сталевих стержнів);
- при ширині розкриття до 10 мм у конструкціях із керамічних блоків – заповнення тріщин піском та подальше ін'єктування полімерних композицій.

Так, на окремих об'єктах, а саме: Загальноосвітня школа I-III ступенів № 26 (пр - т Миру, 59, м. Житомир), Загальноосвітня школа I-III ступенів № 10 (Київське шосе, 37, м. Житомир), Ізмаїльський ліцей № 6 (вул. Шкільна, 74, м. Ізмаїл, Одеської обл.), Ізмаїльський ліцей № 1 (вул. Шкільна, 57, м. Ізмаїл, Одеської обл.), Ізмаїльська гімназія № 9 (вул. Івана Франка 8, м. Ізмаїл, Одеської обл.) виконано апробацію розробленої автором технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій (додаток В).

Варто зауважити, що стінові конструкції, які підлягали ремонту, були виконані із повнотілої цегли. При цьому, зовнішні стіни мали опорядження у вигляді фарбування (в окремих місцях штукатурка), а внутрішні стіни були опорядженні штукатуркою (рис. 4.8, 4.9).

На першому етапі, після встановлення ширини розкриття тріщин, їх протяжності та розташування на конструкції, монтували інвентарні риштування та розшивали тріщини з подальшим очищенням їх від пилу, бруду та незв'язних частин

кладки. На внутрішніх стінах з обох сторін від тріщин виконували демонтаж опорядження з подальшим очищенням тріщини від бруду та пилу.

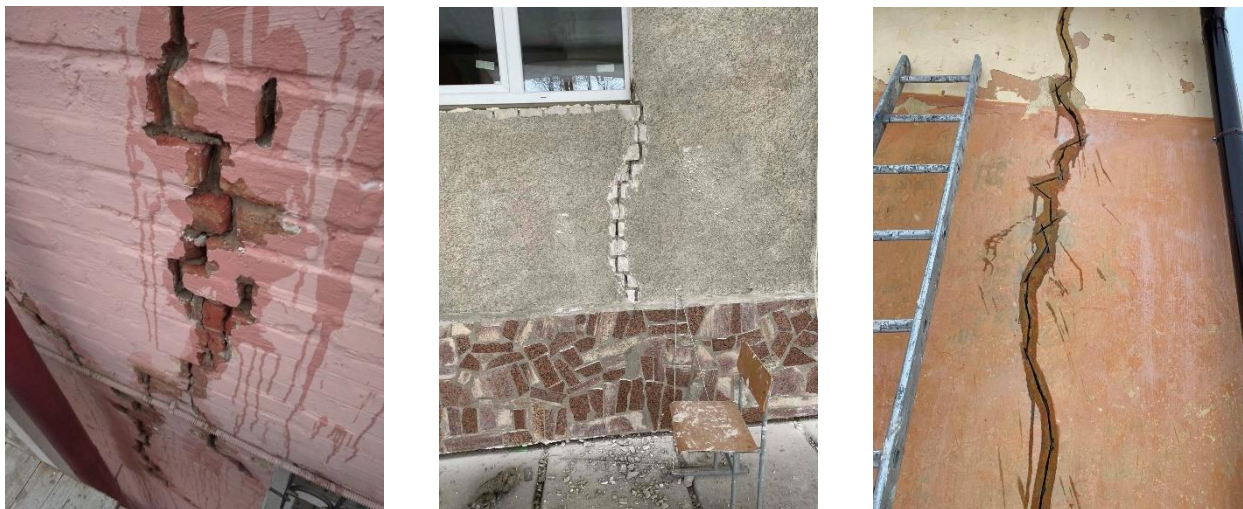


Рис. 4.8. Загальний вигляд типових тріщин (розщитих, підготовлених та промитих) зовнішніх стін, що підлягають ремонту



Рис. 4.9. Загальний вигляд типових тріщин (розщитих) внутрішніх стін, що підлягають ремонту

Варто зауважити, що впровадження виконували на конструкціях, при відновленні яких необхідно було забезпечити їх структурну цілісність.

Вздовж тріщин з шириною розкриття до 10 мм виконували буріння отворів під ін'єкційні пакери у шаховому порядку з кроком – 30-35 см для полімерних композицій та 35-40 см для цементних матеріалів. Для тріщин із шириною розкриття від 10 мм пакери влаштовували безпосередньо у тріщину (рис. 4.10).

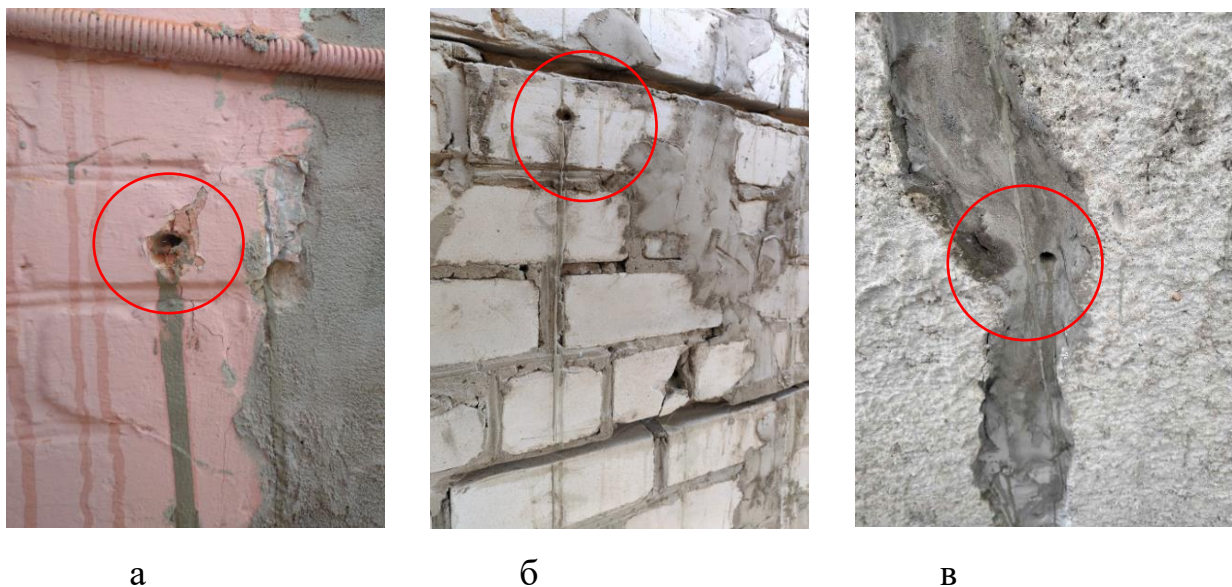


Рис. 4.10. Буріння отворів під ін'єкційні пакери у стінах: а) під кутом у кладці із цегли; б) під кутом у кладці із силікатної цегли; в) у тріщину

Також, на об'єкті були наявні стінові конструкції виконані із кермічних блоків на яких внаслідок позапроектних впливів виникли тріщини (рис. 4.11, а). Було вирішено виконати апробацію удосконаленої технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій, а саме: зачеканити тріщину; заповнити тріщину кварцовим піском (рис. 4.11, в); влаштувати ін'єкційні пакери у тріщину (рис. 4.11, б); проін'єктувати тріщину полімерною композицією; відновити опорядження.

Для зачеканки тріщин використано швидкотверднучий цементний розчин, який наносили вручну по всій довжині тріщини. Тріщини, що підлягали ремонту цементними розчинами попередньо зволожували водою до насичення тіла конструкцій. Далі, виконували ін'єктування ремонтних матеріалів. Для ін'єктування полімерних матеріалів застосовано однокомпонентний насос (рис. 4.12, а), а при необхідності ін'єктування незначних по протяжності тріщин цементними матеріалами використовували ручний насос (рис. 4.12, б).

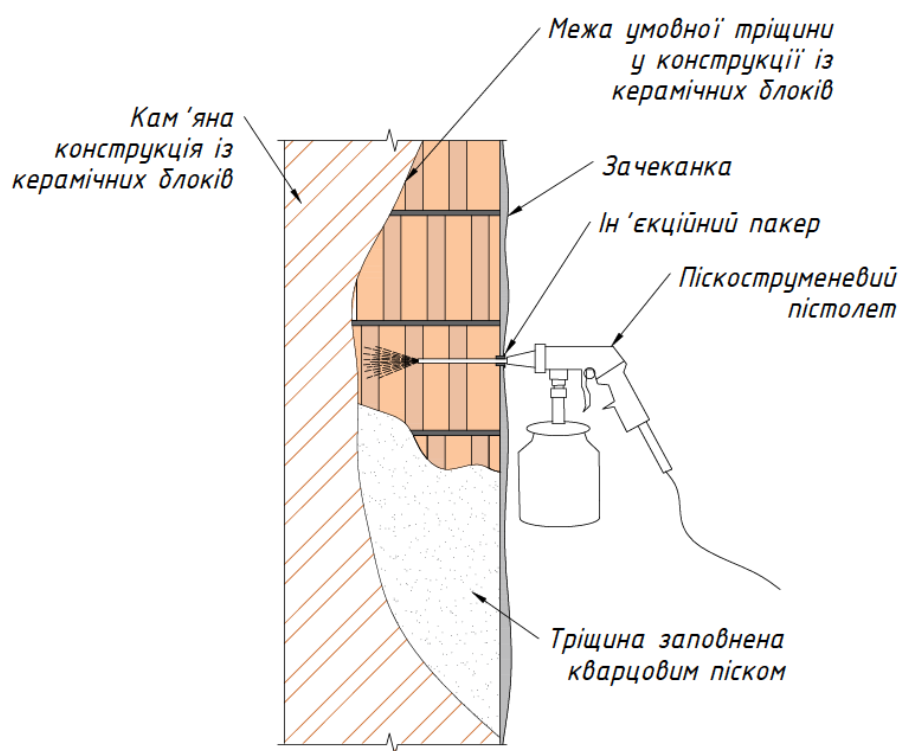
Ін'єктування починали виконувати із найнижчих точок з поступовим підйомом до вищих. При цьому, як тільки матеріал починав витікати із вище розташованого пакера (ін'єкційної трубки) ін'єктування припиняли, нижчий пакер перекривали, та продовжували ін'єктування у вище розміщений пакер (рис. 4.13).



а



б



в

Рис. 4.11. Технологія ремонту тріщин конструкцій із керамічних блоків:

а – загальний вигляд пошкодженої конструкції; б – влаштування ін'єкційних пакерів у зачеканку; в – схема заповнення тріщини кварцовим піском



а



б

Рис. 4.12. Ін'єктування ремонтних матеріалів у тріщини: а – за допомогою однокомпонентного насоса (полімерні матеріали); б – за допомогою ручного насоса (цементні матеріали)



а



б

Рис. 4.13. Процес ін'єктування цементного матеріалу у тріщину: а – ін'єктування цементного матеріалу; б – перекривання ін'єкційних трубок

Через 24 год після ін'єктування полімерних композицій та через 72 год після ін'єктування цементних матеріалів виконували демонтаж ін'єкційних пакерів.

Загальний вигляд відремонтованих тріщин наведено на рис. 4.14. У подальшому, після виконання ремонтно-відновлювальних робіт, виконано опорядження поверхні відремонтованих конструкцій.

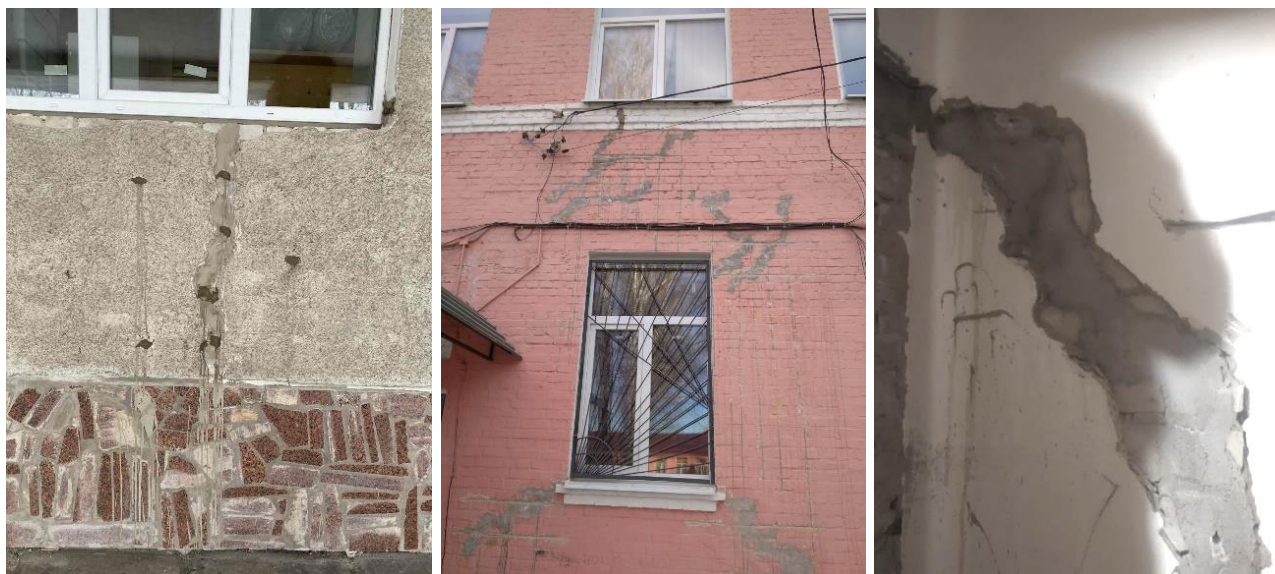


Рис. 4.14. Загальний вигляд відремонтованих тріщин на стінових конструкціях (до відновлення опорядження)

Оскільки на кам'яних стінах також виявлено тріщини з шириною розкриття більше 30 мм, то такі конструкції підсилено введенням додаткових сталевих стержнів у тіло конструкції з подальшим ін'єктуванням тріщин ремонтними розчинами (рис. 4.15).



Рис. 4.15. Підсилення стінових конструкцій з тріщинами шляхом введення в них високоміцних елементів

Ремонтно-відновлювальні роботи на об'єктах Житомирщини виконували у період початку 2023 р., а на об'єктах Одещини – у другій половині 2024 р.. На даний час об'єкти експлуатуються за своїм прямим функціональним призначенням. Поява нових тріщин у місцях ремонту та поруч на даний час не спостерігається. Відповідно можна констатувати, що за рахунок застосування удосконаленої технології ін'єктування вдалося відновити експлуатаційну придатність пошкоджених кам'яних стін, при низьких техніко-економічних показниках, що підтверджено довідками про впровадження (дод. Б).

Висновки до 4-го розділу

1. На основі результатів експериментальних досліджень розроблено удосконалену технологію ремонту тріщин кам'яних конструкцій залежно від виду матеріалу конструкцій (повнотіла цегла, порожниста цегла чи керамічні блоки) та ширини розкриття тріщин з використанням відповідних ремонтних матеріалів. Удосконалена технологія містить рекомендації щодо вибору ремонтних матеріалів, можливості застосування наповнювача тріщин (кварцового піску) для здешевлення виконання ремонтно-відновлювальних робіт із забезпеченням якості їх виконання та складається із таких 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).

2. Виконано розрахунки тривалості, тудомісткості, вартості ремонтних матеріалів та вартості виконання обсягу робіт із ін'єктування тріщин кам'яних конструкцій (з повнотілих елементів та керамічних блоків) за досліджуваними технологіями. Встановлено, що застосування удосконаленої технології з попереднім

заповненням тріщини кварцовим піском та подальшим ін'єктуванням полімерної композиції у тріщини конструкції як із повнотілих елементів, так і з керамічних блоків дозволяє зменшити усі розрахункові показники, а саме: тривалість до 1,25 рази (для повнотілих елементів) і до 1,32 рази (для керамічних блоків); трудомісткість виконання ремонтних робіт по удосконаленій технології менша у 1,63 рази (для повнотілих елементів) та у 1,86 рази (для керамічних блоків).

3. Встановлено, що за умови застосування удосконаленої технології ремонту тріщин загальна вартість ремонтних матеріалів у 2 рази менше для повнотілих елементів та 2,28 рази менше для керамічних блоків ніж при використанні матеріалу *Stabilcem*, або у 1,78 рази менше ніж при застосуванні чистого полімерного матеріалу (*Едмок ін'єкційний*) для конструкцій із повнотілих елементів та у 1,98 рази менше для конструкцій із керамічних блоків.

4. Загальна вартість робіт (при ремонті конструкцій із повнотілої цегли) складає 15 970 грн (за удосконаленою технологією), що у 1,33 рази менше ніж вартість робіт із ін'єктування чистої полімерної композиції (на прикладі *Едмок ін'єкційний*), та у 1,41 рази менше ніж при технології ін'єктування цементного матеріалу *Stabilcem*.

Вартість виконання ремонту тріщин конструкцій із керамічних блоків за удосконаленою технологією складає 18 752,5 грн, що у 1,43 рази менше ніж технологія ін'єктування чистого полімерного матеріалу та у 1,54 рази менше ніж при ін'єктуванні цементного матеріалу.

5. Розроблена удосконалена технологія ремонту тріщин була апробована на 5 - ти об'єктах будівництва (заклади освіти Житомирської та Одеської областей), що зазнали пошкоджень внаслідок військових дій. Застосування розробленої удосконаленої технології дозволило знизити тривалість виконання ремонтно-відновлювальних робіт та зменшити їх загальну коштористу вартість, що підтверджено двома актами на апробацію.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу науково-технічних звітів із обстеження будівель та споруд встановлено, що близько 60 % від їх загальної кількості – будівлі з несучими стіновими кам'яними конструкціями, з яких майже 68 % виконані із повнотілої цегли, близько 7 % – із порожнистої цегли, близько 11 % – із керамічних блоків та майже 14 % – із блоків ніздрюватого бетону та ін. Найбільш поширеними пошкодженнями кам'яних конструкцій є тріщини, поява яких може бути спричинена низкою чинників, серед яких найчастішими є: нерівномірне осідання основи/ фундаменту; динамічні навантаження в тому числі і військові дії; замокання конструкцій; надмірні навантаження; біологічна та хімічна корозія.

Встановлено, що для ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами найчастіше використовують технологію ін'єктування, як окремий спосіб ремонту так і сукупно з іншими технологіями. Залежно від очікуваного результату може бути досягнуто: просте заповнення тріщини (зачеканювання); заповнення тріщин для відновлення структурної цілісності конструкцій; підсилення конструкції (збільшення несучої здатності).

2. Аналізом науково-технічної літератури виявлено чинники що можуть мати вплив на технологію ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами ін'єктуванням. Для встановлення найбільш вагомих з них виконано їх ранжування на основі методу експертних оцінок та перевірено методом попарних порівнянь. У результаті дослідження встановлено перелік технологічних чинників, вплив яких у подальшому досліджено у дисертаційній роботі, а саме: стан основи та її підготовка; вид/ тип ремонтного розчину (цементний, полімерний); геометричні параметри тріщини (ширина розкриття); напрямок ін'єктування; спосіб влаштування пакера; вид матеріалу конструкції (повнотіла цегла, порожниста цегла, керамічні блоки).

3. Розроблено загальну методика дисертаційного дослідження, що включала в себе: аналіз науково-технічної та нормативної літератури; розробку методики експериментальних досліджень; розробку удосконаленої технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій, що базується на результатах виконаних досліджень.

4. Відповідно до розробленої методики виконано серії експериментальних досліджень та встановлено наступне:

- за умови використання ремонтних матеріалів на основі цементу необхідно достатнього зволожувати конструкцію, що забезпечить достатні значення міцності зчеплення ремонтних матеріалів з основою. Середнє значення міцності зчеплення для матеріалу *Stabilcem* складає 0,53 МПа, для *Microcem* – 0,68 МПа. При насиченні основи ґрунтовою міцність зчеплення матеріалу *Stabilcem* з основою може бути збільшена. При застосуванні полімерних композицій основу достатньо знепилити (за необхідності можна використати адгезивні матеріали). Середнє значення міцності зчеплення для матеріалу *Едмок ін'єкційний* (при знепиленні) складає – 0,585 МПа, при попередньому нанесенні полімерної композиції *Консолід І* – 1,53 МПа; для матеріалу *Epojet* (при знепиленні) – 2,02 МПа, при нанесенні *Консолід І* – 2,06 МПа;

- в результаті дослідження розтічності ремонтних матеріалів встановлено рекомендований крок ін'єкційних пакерів: при застосуванні полімерних матеріалів по типу *Едмок ін'єкційний* чи *Epojet* – 35-45 см, при застосуванні цементних матеріалів по типу *Stabilcem* до 30-40 см;

- за необхідності ремонту тріщини з шириною розкриття від 3 до 10 мм, як в конструкціях з повнотілих, так і порожнистих елементів, можна попередньо заповнити тріщини кварцовим піском з подальшим ін'єктуванням полімерних композицій;

- при визначенні міцності на згин за умови наявності/ відсутності у тріщині наповнювача та залежно від розташування у ній ін'єкційного пакера встановлено: при ін'єктуванні полімерних матеріалів *Едмок ін'єкційний* та *Epojet* вдалося досягнути зростання міцності відремонтованих зразків: до 82,5 % для матеріалу *Едмок ін'єкційний* при ін'єктуванні у порожню тріщину та 74,9 % при ін'єктуванні тріщини з наповнбвачем; та до 215 % для матеріалу *Epojet* при ін'єктуванні у порожню тріщину та 61 % при ін'єктуванні заповненої тріщини. При цьому нові тріщини утворювалися паралельно склеєним. При ін'єктуванні матеріалу *Stabilcem* вдалося досягнути збільшення міцності на згин на 25,6 % тільки при заповненні пустої тріщини, а зразки розламувалися вздовж відремонтованої тріщини.

5. За результатом виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розроблено удосконалену технологію ремонту тріщин кам'яних конструкцій залежно від виду матеріалу конструкцій (повнотіла цегла, порожниста цегла чи керамічні блоки), ширини розкриття тріщин з використанням відповідних ремонтних матеріалів, що дозволить виконати структурне відновлення кам'яної кладки з пошкодженнями у вигляді тріщин, знизити ТЕР порівняно із класичними технологіями ремонту без втрати якості виконання робіт.

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).

6. Виконані техніко-економічні розрахунки (тривалість, трудомісткість, вартість матеріалів та вартість виконання робіт) свідчать про доцільність застосування удосконаленої технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій з попереднім заповненням тріщини наповнювачем та подальшим ін'єктуванням полімерних композицій. Виявлено скорочення тривалості виконання робіт порівняно із класичною технологією в середньому у 1,25 рази; зменшення трудомісткості у 1,63 рази; загальна вартість матеріалів для ремонту в 2 рази менше для повнотілих елементів та 2,28 рази менше для керамічних блоків; вартість виконання робіт у 1,41 рази менше за класичну технологію.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Обстеження будівель та споруд пошкоджених внаслідок військових дій на прикладі смт Бородянка / О. Молодід та ін. *Onir матеріалів і теорія споруд / Strength of Materials and Theory of Structures*. 2023. № 110. С. 328–343. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.328-343>
2. Modern restoration methods for damaged historical buildings as a result of military aggression. Case of educational institutions / O. Molodid et al. *International Journal of Conservation Science*. 2024. Vol. 15, Special Issue 1. P. 205–220. DOI: <https://doi.org/10.36868/IJCS.2024.SI.17>
3. Особливості обстеження будівель та споруд, що зазнали пошкоджень внаслідок воєнних дій / О. С. Молодід та ін. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2022* : матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 2022 р.). Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2022. С. 94–96.
4. Молодід О. С. Система формування конструктивно-технологічних рішень відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08. Київ, 2021. 453 с.
5. Пшінько О. М., Савицький М. В., Зінкевич А. М. Відновлення експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій : навч. посіб. Дніпро : Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 2018. 220 с.
6. Руссий В. В. Оптимізація організаційно-технологічних рішень відновлення пошкоджених цегляних будівель : дис. ... д-ра філософії : 192 / Одеська державна академія будівництва та архітектури. Одеса, 2023. 938 с.
7. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. *Kyiv School of Economics*. 2024. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf (дата звернення: 11.05.2025).
8. Residential buildings destroyed. *Ukraine War Analytics*. URL: <https://ukraine-war-analytics.com/humanitarian/residential-buildings-destroyed.html#overview> (дата звернення: 11.05.2025).

9. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість : ДСТУ 9273-2024. [Чинний від 2024-01-09]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024. (Національний стандарт України).

10. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів : Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 06.08.2022 р. № 144. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0937-22#Text> (дата звернення: 11.05.2025).

11. Григоровський П. Є., Чуканова Н. П., Мурасьова О. В. Аналіз факторів, що впливають на термін життя будівлі в процесі експлуатації. *Web of Scholar*. 2018. Vol. 1, № 2(20). С. 75–82.

12. Бабич Є. М., Караван В. В., Бабич В. Є. Діагностика, паспортизація та відновлення будівель і інженерних споруд : підручник. Рівне : Волинські обереги, 2018. 176 с.

13. Бондар О. М. Спосіб локального підсилення кам'яних конструкцій : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Харків, 2006. 129 с.

14. Гриньова І. І. Напружено-деформований стан та залишкова несуча здатність кам'яних стовпів : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Одеська державна академія будівництва та архітектури. Одеса, 2019. 168 с.

15. Гриньова І. І., Клименко Є. В., Русев Д. І. Методика проведення експериментального дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених кам'яних стовпів. *Збірка студентських наукових праць*. Одеса, 2017. С. 151–155.

16. Клименко Є. В., Дяченко Є. В., Білоус І. О. Особливості підсилення кам'яних конструкцій цегляною обоймою. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. Вип. 58. С. 171–175.

17. Клименко Є. В., Білоус І. О. Методи підсилення кам'яних конструкцій. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2014. Вип. 54. С. 153–158.

18. Спосіб підсилення цегляного стовпа цегляною обоймою з використанням з'єднувальної арматури : пат. 94711 Україна : МПК E04G 23/02. № u201405102 ; заявл. 10.11.2014 ; опубл. 26.01.2015, Бюл. № 2.

19. Клименко Є. В., Білоус І. О. Експериментальні дослідження кам'яних конструкцій, підсилених шляхом включення в цегляну обойму. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне : УДУВГП, 2003. Вип. 9. С. 446–452.
20. Савйовський В. В. Реконструкція будівель і споруд. Київ : Видавництво Ліра-К, 2018. 320 с.
21. Савйовский В. В., Болотских О. Н. Ремонт и реконструкция гражданских зданий. Харьков : Ватерпас, 1999. 266 с.
22. Технологія відновлення кам'яної кладки / Г. М. Тонкачєєв та ін. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2020. Вип. 43. С. 124–133.
23. Хохлін Д. О., Попок К. В. Міцність цегляної кладки за наявності горизонтальних тріщин. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне, 2016. Вип. 33. С. 219–226.
24. Nurul N., Md Azree General Building Defects: Causes, Symptoms and Remedial Work. *European Journal of Technology and Design*. 2014. Vol. 3, № 1. P. 32–42.
25. Thomaz E., Sousa B. H. Defects in Masonry Walls. Guidance on Cracking: Identification, Prevention and Repair. *CIB W023 – Wall Structures*. URL: https://www.researchgate.net/publication/277301043_Defects_in_Masonry_Walls_Guidance_on_Cracking_Identification_Prevention_and_Repair (date of access: 19.09.2026).
26. Simulating defects in brick masonry panels subjected to compressive loads / A. Gregori et al. *Engineering Structures*. 2022. Vol. 263. Art. 114333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114333>
27. Розрахунок і конструювання кам'яних та армокам'яних конструкцій будівель та споруд : ДСТУ Б В.2.6-207:2015. [Чинний від 2016-04-01]. Київ : Мінрегіон України, 2015. (Національний стандарт України).
28. Repairing of severe masonry cracks (cracks width > 1 cm) – Disorganised masonry. URL: https://www.researchgate.net/publication/371466875_A_Short_Note_on_the_Degradation_and_Consolidation_of_Masonry_Structures (date of access: 11.05.2025).

29. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення : ДБН В.1.1-45:2017. [Чинний від 2017-09-01]. Київ : Мінрегіон України, 2017. (Державні будівельні норми України).

30. Daware A., Naser M. Z. Fire Performance of Masonry under Various Testing Methods. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 293. Art. 123183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123183>

31. Sathiparan N., Rumeskumar U. Effect of moisture condition on mechanical behavior of low strength brick masonry. *Journal of Building Engineering*. 2018. Vol. 17. P. 23–31. URI: <http://repo.lib.jfn.ac.lk/ujrr/handle/123456789/1784>

32. Experimental assessment of freezing-thawing resistance of rammed earth buildings / L. B. Traoré et al. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 274. Art. 121917. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121917>

33. Garbalińska H., Strzałkowski J., Stolarska A. Moisture Influence on Compressive Strength of Calcium Silicate Masonry Units—Experimental Assessment and Normative Calculations. *Materials*. 2020. Vol. 13, № 17. Art. 3817. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13173817>

34. Семенів Р. М. Модифікування керамічної цегли та будівельного розчину зовнішніх стін будівель та споруд для підвищення їх експлуатаційної надійності : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Львів, 2019. 186 с.

35. The influence of different types of mortar on the compressive strength of masonry / B. Liang et al. *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 65. Art. 105635. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105635>

36. Singh S. B., Munjal P. Bond strength and compressive stress-strain characteristics of brick masonry. *Journal of Building Engineering*. 2017. Vol. 9. P. 10–16.

37. Yadav A., Pal S. The impact of mortar thickness and strength on the brick masonry prism: An investigation. *Materials Today: Proceedings*. 2023. Vol. 93, Pt. 3. P. 552–559.

38. Building damage caused by tree roots: laboratory experiments of GPR and ERT surveys / A. Satriani et al. *Advances in Geosciences*. 2010. Vol. 24. P. 133–138. DOI: <https://doi.org/10.5194/adgeo-24-133-2010>

39. Niedostatkiewicz M., Majewski T. Causes of Defects and Damage to Brick Masonry Elements in Historic Buildings. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2024. Vol. 34, № 4. P. 423–448. DOI: <https://doi.org/10.59440/ceer/194876>
40. Stryzewska T., Kańka S. Characterization of factors determining the durability of brick masonry. *Proceedings of the 17th International Brick/Block Masonry Conference (17thIB2MaC 2020)* (Kraków, Poland, July 5–8, 2020). Kraków, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003098508>
41. Molnár M., Larsson Ivanov O. Clay brick masonry facades with cracks caused by corroding bed joint reinforcement – Findings from field survey and laboratory study. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 125. P. 775–783.
42. Assessment, repair, and retrofitting of masonry structures: A comprehensive review / A. Keshmiry et al. *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 442. Art. 137380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137380>
43. Дунін В. А. Вплив промислових вибухів на довговічність конструкцій будівель в умовах м. Кривий Ріг : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Київ, 2021.
44. Blast loading and blast effects on structures - An overview / T. D. Ngo et al. *Electronic Journal of Structural Engineering*. 2007. Vol. 7. P. 76–91.
45. Armed conflict in the East of Ukraine: the damage caused to the housing of the civilian population / compiler N. Melnyk. Kharkiv : LLB "Human Rights Publisher", 2019. 82 p.
46. A comprehensive review on fire damage assessment of reinforced concrete structures / D. Qin et al. *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol. 16. Art. e00843. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00843>
47. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд : ДСТУ Б В.3.1-2:2016. [Чинний від 2017-04-01]. Київ : Мінрегіон України, 2016. (Національний стандарт України).
48. Молодід О. Дослідження впливу технології підготовки основи цегли на міцність приклеювання до неї елементів підсилення. *Будівельне виробництво*. 2017. № 62. С. 89–92.

49. Спосіб влаштування хімічного анкера в будівельній конструкції з попереднім закріпленням тіла конструкції : пат. 146156 Україна : МПК E04G 23/02. № u202005881 ; заявл. 15.09.2020 ; опубл. 20.01.2021, Бюл. № 3.

50. Спосіб підсилення залізобетонних та кам'яних колон (пілон) : пат. 124228 Україна : МПК E04G 23/02. № u201710921 ; заявл. 09.11.2017 ; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6.

51. Спосіб підсилення цегляних стін вуглецевими стрічками : пат. 146155 Україна : МПК E04G 23/02. № u202005880 ; заявл. 15.09.2020 ; опубл. 20.01.2021, Бюл. № 3.

52. Мусіяка І. В. Технологія відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит : дис. ... д-ра філософії : 192 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2026. 170 с.

53. Strengthening of reinforced concrete and stone members in damaged and reconstructed buildings and structures : Visual Aids Manual / A. Y. Barashikov et al. Kyiv : NAU, 2016. 128 p.

54. Типова технологічна карта на відновлення кам'яних конструкцій / О. С. Молодід та ін. Київ : КНУБА, 2023. 81 с.

55. Матеріалознавчі рішення при зведенні і реконструкції будівель та споруд : навч. посіб. / О. В. Кондращенко та ін. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 203 с.

56. Назаревич Б. Л., Лучко Й. Й. Технологія влаштування горизонтальної гідроізоляції в будівлях старої забудови. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2018. С. 77–89.

57. Меньлюк А. И., Дубельт Т. М., Меньлюк И. А. Инновации в строительстве и реконструкции. Киев : ТОВ НВП «Інтерсервіс», 2018. 650 с.

58. Меньлюк А. И., Петровский А. Ф., Борисов А. А. Результаты исследований инъекционной технологии защиты подземного пространства : монография. Одесса : ОГАСА, 2017.

59. Консервація і реставрація об'єктів культурної спадщини / за ред. І. Прокопенко. Київ : Саміт-книга, 2022. 434 с.

60. Плохута Р. О. Технологія ремонту тріщин залізобетонних конструкцій полімерними композиціями методом поверхневого просочення : дис. ... д-ра філософії : 192 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2021. 269 с.

61. Schuller M. P., Atkinson R. H., Borgsmiller J. T. Injection grouting for repair and retrofit of unreinforced masonry. URL: https://www.academia.edu/45004071/INJECTION_GROUTING_FOR_REPAIR_AND_RETROFIT_OF_UNREINFORCED_MASONRY (date of access: 11.05.2025).

62. Основи реконструкції будівель та споруд / І. Г. Іваник та ін. ; за ред. І. Г. Іваника. Львів : Львівська політехніка, 2013. 272 с.

63. Churilov S., Dumova-Jovanoska E. Analysis of masonry walls strengthened with RC jackets. *Engineering, Environmental Science*. 2012.

64. Strength Enhancement of Interlocking Hollow Brick Masonry Walls with Low-Cost Mortar and Wire Mesh / P. Joyklad et al. *Infrastructures*. 2021. Vol. 6, № 12. Art. 166. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6120166>

65. Технічна карта матеріалу Mapei Steel DRY 316. Mapei, 2020.

66. Technical Data Sheet: Helical Wall Ties for Cavity Tie Replacement.

67. Technical Data Sheet: Long Helical Ties for Tying Solid Wall Junctions.

68. Technical Data Sheet: BrickFix Masonry Crack Stitching Kit. Safeguard Europe. URL: <https://static.safeguardeurope.com/downloads/datasheets/brickfix/brickfix-masonry-crack-stitching-kit-datasheet.pdf> (date of access: 11.05.2025).

69. Technical Data Sheet: Mapei Steel Bar 304. Mapei.

70. Wykamol Thor Helical Brochure. Wykamol Group, 2015.

71. Shear performance of brick masonry walls reinforced with twisted steel bars / A. Demaj et al. *Structures*. 2023. Vol. 58. Art. 105579. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105579>

72. Kalali A., Kabir M. Z. Cyclic behavior of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers. *Scientia Iranica*. 2012. Vol. 19, Issue 2. P. 151–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scient.2012.02.008>

73. Довженко О. О., Погрібний В. В., Усенко Д. В. Міцність цегляної кладки при діагональному розколюванні : монографія. Riga : Baltija Publishing, 2022. 554 p. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-207-4-3>

74. Repair of Block Masonry Panels with CFRP Sheets / M. Corradi et al. *Materials*. 2019. Vol. 12, № 15. Art. 2363. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12152363>

75. Kouris L. A. S., Triantafillou T. C. State-of-the-art on strengthening of masonry structures with textile reinforced mortar (TRM). *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 188. P. 1221–1233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.119>

76. Test methods for Textile Reinforced Mortar systems / S. De Santis et al. *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 127. P. 121–132.

77. Ismail N., Ingham J. M. In-plane and out-of-plane testing of unreinforced masonry walls strengthened using polymer textile reinforced mortar. *Engineering Structures*. 2016. Vol. 118. P. 167–177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.03.041>

78. Carozzi F. G., D'Antino T., Poggi C. In-situ experimental tests on masonry panels strengthened with Textile Reinforced Mortar composites. *Procedia Structural Integrity*. 2018. Vol. 11. P. 355–362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.046>

79. Bischof P., Suter R. Retrofitting Masonry Walls with Carbon Mesh. *Polymers*. 2014. Vol. 6, № 2. P. 280–299. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym6020280>

80. Настанова з виконання робіт із застосуванням сухих будівельних сумішей : ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016. Київ : Мінрегіон України, 2016. (Національний стандарт України).

81. Конструкції будинків і споруд. Фасадні системи скріпленої теплоізоляції з опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови : ДСТУ Б В.2.6-36:2008. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. (Національний стандарт України).

82. The Effect of Ceramic Substrate Moisture on the Adhesion of Waterproofing Coatings. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2025. Vol. 35, № 4. P. 164–179. DOI: <https://doi.org/10.59440/ceer/214056>

83. Maheri M. R., Sherafati M. A. The effects of humidity and other environmental parameters on the shear strength of brick walls: evaluation of field test data. *Materials and Structures*. 2012. Vol. 45. P. 941–956. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-011-9809-7>

84. Bompa D. V., Elghazouli A. Y. Compressive behaviour of fired-clay brick and lime mortar masonry components in dry and wet conditions. *Materials and Structures*. 2020. Vol. 53. Art. 60. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-020-01493-w>

85. Cejka T., Zigier R. The Effect of Moisture on Significant Mechanical Characteristics of Masonry. *Statybinės konstrukcijos ir technologijos*. 2013. DOI: <https://doi.org/10.3846/skt.2010.11>

86. The bond strength of a calcium sulfoaluminate cement-based repair mortar. *Ceramics-Silikáty*. 2020. Vol. 64, № 1. P. 100–106. DOI: <https://doi.org/10.13168/cs.2019.0054>

87. Combination of Polymeric Superplasticizers, Water Repellents and Pozzolanic Agents to Improve Air Lime-Based Grouts for Historic Masonry Repair / J. F. González-Sánchez et al. *Polymers*. 2020. Vol. 12, № 4. Art. 887. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12040887>

88. Condition Survey and Recommendations Regarding the Repair of the Facades of the Historical Building in the Besarabskyi Quarter in Kyiv / O. Molodid et al. *International Journal of Conservation Science*. 2023. Vol. 14, Issue 3. P. 955–968. DOI: <https://doi.org/10.36868/IJCS.2023.03.11>

89. Аналіз технологій ремонту тріщин кам'яних конструкцій / О. С. Молодід та ін. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. Вип. 1(54). С. 70–81. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).70-81](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).70-81)

90. Махиня О. М., Шабалтун А. М. Сучасний стан технології влаштування ін'єкційної відсічної гідроізоляції. *Екологічні науки*. 2018. № 4 (23). С. 67–72. URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/4/17.pdf> (дата звернення: 15.03.2026).

91. Injection systems waterproofing in restoration. *Drytech. Waterproofing system engineering*. URL: https://drytech.ch/wp-content/uploads/2026/05/drytech_risana_en.pdf (date of access: 15.03.2026).

92. Молодід О., Бендерський С. Оцінка важливості технологічних чинників при відновленні кам'яних конструкцій з тріщинами. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. Вип. 56(1). С. 208–218.

93. Купалова Г. І. Теорія економічного аналізу : навч. посіб. Київ : Знання, 2008. 539 с.

94. Горбенко І. Д., Єсіна М. В. Методи, методика та результати порівняльного аналізу електронних підписів згідно з ДСУ ISO/IEC 14888-3:2014. *Автоматика, вимірювання та керування*. 2016. № 852. С. 9–22. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/36475> (дата звернення: 19.04.2025).
95. Primer 3296 : технічний опис матеріалу. Mapei. URL: <https://www.mapei.com/ua/uk/materialy-i-tekhnichni-rishennia/spysok-materialiv/detalno-pro-material/primer-3296> (дата звернення: 19.04.2025).
96. Пропитка композиційна «Консолід» : ТУ У 30553286.001-2000. URL: <https://kompozit.com.ua/konsolid.html> (дата звернення: 19.04.2025).
97. Клей епоксидний «Едмок» : ТУ У 30553286.003-2001. URL: <https://kompozit.com.ua/edmok.html> (дата звернення: 19.04.2025).
98. Epojet : технічний опис матеріалу. Mapei. URL: <https://www.mapei.com/ua/uk/materialy-i-tekhnichni-rishennia/spysok-materialiv/detalno-pro-material/epojet> (дата звернення: 19.04.2025).
99. Stabilcem : технічний опис матеріалу. Mapei. URL: <https://www.mapei.com/ua/uk/materialy-i-tekhnichni-rishennia/spysok-materialiv/detalno-pro-material/stabilcem> (дата звернення: 19.04.2025).
100. Технический паспорт продукта Stabilcem. Mapei. URL: https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider2/products-documents/2_9016112_ru_992066e61f2c4571a0f7485b6cb0a696.pdf (дата звернення: 19.04.2025).
101. Методи випробувань розчину для мурування. Частина 12. Визначення міцності зчеплення штукатурних розчинів з основами : ДСТУ Б EN 1015-12:2012 (EN 1015-12:2000, IDT). [Чинний від 2013-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. (Національний стандарт України).
102. A research on repair technologies for cracked brick structures using injection / O. Molodid et al. *Transfer of Innovative Technologies*. 2026. Vol. 10, № 1. DOI: <https://doi.org/10.32347/tit.2026.10.01.04>

103. Assessment of crack injection methods in the restoration of historic brick buildings / O. Molodid et al. *International Journal of Conservation Science*. 2026. Vol. 17, Issue 3. P. 853–866. DOI: <https://doi.org/10.36868/IJCS.2026.03.02>
104. Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. Випуск 64. Будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи. Розділ 2. Робітники. Будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи : ДКХП 64. Київ : Мінрегіон України, 2018.
105. Галузеві норми часу на будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи. Збірник ГН 3. Кам'яні роботи. Київ : УкрНДЦ «Екобуд», 2026. 68 с.
106. Галузеві норми часу на будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи. Збірник ГН 20. Ремонтно-будівельні роботи. Київ : УкрНДЦ «Екобуд», 2026.
107. Ціноутворення у будівництві : офіц. бюл. Київ : Інпроект, 2026. Серпень.

АНКЕТА-ОПИТУВАЛЬНИК

Експерт _____
(за бажанням вкажіть Ваше прізвище, ім'я, місце роботи та посаду)

Шановний експерте, виконайте ранжування (проставте у таблицях цифри) наведених нижче факторів, які на Вашу думку будуть відображати їх важливість (першочерговість), де: 1- найбільш важливий, n – найменш важливий.

Кожен ранг у межах одного питання повинен бути унікальним (без повторів).

1. На Вашу думку, які чинники можуть мати вплив на технологію виконання ремонту (ін'єктування) тріщин кам'яних конструкцій та їх фізико-механічні показники після ремонту.

Виконайте ранжування чинників від 1 (найважливіший) до 10 (найменш важливий)

Чинник	Ранг
Адгезія ремонтного матеріалу до тіла конструкції	
Ширина розкриття тріщин	
Сумісність матеріалів (ремонтного та конструкції)	
Вологість основи конструкції	
Температура конструкції на момент виконання ремонтно-відновлювальних робіт	
Якість підготовки основи	
Вид матеріалу конструкцій (повнотіла цегла, порожниста цегла, керамічні блоки)	
Подача ремонтного матеріалу (зверху вниз чи знизу вгору)	
Тиск ін'єктування	
Ваш варіант	

2. На Вашу думку, на які основні параметри відремонтованих конструкцій необхідно орієнтуватися при розробці нової чи удосконаленні існуючої технології ремонту (ін'єктування) тріщин кам'яних конструкцій?

Виконайте ранжування критеріїв від 1 (найважливіший) до 12 (найменш важливий)

Параметр	Ранг
Міцність на стиск	
Міцність на розтяг	
Міцність на зсув	
Вид міцності адгезійного з'єднання ремонтного матеріалу до тіла конструкції	
Значення міцності адгезійного з'єднання ремонтного матеріалу до тіла конструкції	
Усадка ремонтного матеріалу	
Проникність ремонтного матеріалу (у тіло конструкції, у тріщини, щілини, порожнини тощо)	
Заповнення тріщини/порожнини тощо	
Трудомісткість виконання ремонтних робіт	
Тривалість виконання ремонтних робіт	
Вартість виконання ремонтних робіт (враховуючи вартість матеріалу, обладнання тощо)	
Ваш варіант	

3. Що на Вашу думку, є найбільш впливовим при виборі ін'єкційного матеріалу для виконання ремонтно-відновлювальних робіт із ремонту тріщин кам'яних конструкцій.

Виконайте ранжування критеріїв від 1 (найважливіший) до 10 (найменш важливий)

Критерій впливу	Ранг
Ширина розкриття тріщини (волосяна, наскрізна тощо)	
Динаміка розвитку тріщини (активна, стабілізовано тощо)	
Вологісний стан кладки (суха, волога, протікання тощо)	
Сумісність матеріалів (ремонтного та основи) – модуль пружності, міцність на стиск)	
Міцність зчеплення матеріалу до основи	
В'язкість ремонтного матеріалу	
Проникна здатність ремонтного матеріалу	
Стійкість до агресивного середовища, довговічність	
Паропроникність ремонтного матеріалу	
Ваш варіант	

4. Що на Вашу думку має найбільший вплив на якість заповнення тріщини у кам'яній конструкції при її ремонті?

Виконайте ранжування критеріїв від 1 (найважливіший) до 10 (найменш важливий)

Критерій впливу	Ранг
Якість очищення тріщини від незв'язних частин	
Крок та схема розташування ін'єкційних пакерів відносно осі тріщини	
Глибина буріння отворів для ін'єкційних пакерів, кут нахилу до площини конструкції	
Тиск нагнітання ремонтного ін'єкційного матеріалу	
Тривалість нагнітання ремонтного ін'єкційного матеріалу	
Час життєздатності ремонтного матеріалу	
Температура навколишнього середовища	
Надійна зачеканка/герметизація тріщини	
Контроль заповнення тріщини ремонтним матеріалом шляхом його виходу через прилеглі пакери/отвори	
Ваш варіант	

5. Які ремонтні матеріали, на Вашу думку, є найбільш універсальними та ефективними для відновлення структурної цілісності та експлуатаційних властивостей пошкодженої кам'яної кладки?

Виконайте ранжування критеріїв від 1 (найбільш ефективний) до 6 (найменш ефективний)

Критерій впливу	Ранг
Поліуретанові смоли розширювальної дії	
Поліуретанові смоли еластичні	
Мікроцементні суспензії	
Епоксидні смоли низької в'язкості	
Акрилатні гелі	
Ваш варіант	

Технологічний розрахунок на ін'єктування тріщини конструкцій із повнотілої цегли цементним матеріалом *Stabilcem*

Процес	Назва робіт	Одиниці виміру	Обсяг робіт	Норма часу, люд.-год.	Трудомісткість, люд.-год.		Ручний інструмент, інвентар та пристосування	Прийнятий склад виконавців		Тривалість робіт, год
					за нормою	прийнята		професія, розряд	кіл-ть викон.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Монтаж пересувних підмостів	1 м ² настилу	2	0,24	0,48	0,5	Риштування, шуруповерти, гвинти	Слюсар 4 р.	1	0,5
2	Розмітка місць свердління та свердління отворів	100 шт.	3,34	8,87	29,626	29,5	Крейда, рулетка, фарба, перфоратор	Муляр 3 р.	1	29,5
3	Зачеканка тріщин шпаклівкою (враховано промивання водою)	1 м.п	100	0,2	20	20	Відро, дріль з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	20
4	Влаштування ін'єкційних пакерів*	1 шт.	334	0,07	23,38	23	Ін'єкційні пакери	Ізолювальник 4р.	1	23
5	Технологічна перерва	1 год	24							
6	Приготування ремонтного матеріалу**	1 м ³	0,26	2,1	5,46	5	Відро, дріль з насадкою для замішування	Муляр 3 р.	1	5
7	Ін'єктування*	1 м ³	0,26	300	78	78	Ін'єкційний насос	Ізолювальник 4р. Машиніст 3 р.	1 1	39
8	Технологічна перерва	1 год	24							
9	Зрізання пакерів після ін'єктування*	100 шт.	3,34	0,8	2,672	2,5	Кутова шліфувальна машинка	Слюсар 4 р.	1	2,5
10	Шпаклювання місць встановлення пакерів	100 м ²	0,334	0,2	0,0668	0,5	Відро, дріль з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	0,5
11	Переміщення підмостів	1 м ² наст.	50	0,12	6	6	-	Слюсар 4 р.	1	6
12	Розбирання інвентарних риштувань	1 м ² настилу	2	0,24	0,48	0,5	Шуруповерт	Слюсар 4 р.	1	0,5
					166,16***	165,5***				126,5

Примітка: * дані вказано відповідно до виконаного хронометражу.

** норма вказана на одночасне приготування 1 м³ ремонтного розчину. Однак, враховуючи час життєздатності розчину за один раз може бути приготовано 25-30 л. Тому, при визначенні трудомісткості та тривалості це було враховано.

***трудомісткість пораховано без урахування технологічних перерв на твердіння/полімеризацію розчинів.

**Технологічний розрахунок на ін'єктування тріщин конструкцій із повнотілої цегли полімерним матеріалом *Едмок*
ін'єкційний (без заповнення тріщини кварцовим піском)**

Процес	Назва робіт	Одиниці виміру	Обсяг робіт	Норма часу	Трудомісткість, люд.-год.		Ручний інструмент, інвентар та пристосування	Прийнятий склад виконавців		Тривалість робіт, год
					за нормою	прийнята		професія, розряд	кіль-ть викон.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Монтаж пересувних підмостів	1 м ² настилу	2	0,24	0,48	0,5	Риштування, шуруповерти, гвинти	Слюсар 4 р.	1	0,5
2	Знепилення поверхні пілосмоком	100 м ²	1	5,7	5,7	5,5	Пілосмок	Ізолювальник 4р.	1	5,5
3	Розмітка місць свердління та свердління отворів	100 шт	2,87	8,87	25,4569	25	Крейда, рулетка, фарба, перфоратор	Муляр 3 р.	1	25
4	Зачеканка тріщин шпаклівкою	1 м.п	100	0,2	20	20	Відро, шпатель, дріль з насадкою для замішування	Муляр 3 р.	1	20
5	Вклеювання ін'єкційних пакерів*	1 шт.	287	0,07	20,09	20	Ін'єкційні пакери	Ізолювальник 4р.	1	20
6	Технологічна перерва	1 год	24							
7	Приготування ремонтного матеріалу**	1 м ³	0,26	2,1	5,46	5	Відро, дріль з насадкою для замішування	Муляр 3 р.	1	5
8	Ін'єктування **	1 м ³	0,26	270	70,2	70	Ін'єкційний насос	Ізолювальник 4р. Машиніст 3 р.	1 1	35
9	Технологічна перерва	1 год	24							
10	Зрізання пакерів після ін'єктування*	100 шт.	2,87	1	2,87	2,5	Кутова шліфувальна машинка	Слюсар 4 р.	1	2,5
11	Шпаклювання місць встановлення пакерів	1 м.п.	0,287	0,2	0,0574	0,5	Відро, дріль з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	0,5
12	Переміщення підмостів	1 м ² настилу	50	0,12	6	6	-	Слюсар 4 р.	1	6
13	Розбирання інвентарних риштувань	1 м ² настилу	2	0,24	0,48	0,5	Шуруповерт	Слюсар 4 р.	1	0,5
					156,79***	155,5***				120,5

Примітка: * дані вказано відповідно до виконаного хронометражу.

** норма вказана на одночасне приготування 1 м3 ремонтного розчину. Однак, враховуючи час життєздатності розчину за один раз може бути приготовано 20-25 л. Тому, при визначенні трудомісткості та тривалості це було враховано.

***трудомісткість пораховано без урахування технологічних перерв на твердіння/полімеризацію розчинів.

**Технологічний розрахунок на ін'єктування тріщин конструкцій із повнотілої цегли полімерним матеріалом Едмок
ін'єкційний із попереднім заповненням тріщини кварцовим піском**

Процес	Назва робіт	Одиниці виміру	Обсяг робіт	Норма часу	Трудомісткість, люд.-год.		Ручний інструмент, інвентар та пристосування	Прийнятий склад виконавців		Тривалість робіт, год
					за нормою	прийнята		професія, розряд	кіль-ть викон.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Монтаж пересувних підмостів	1 м ² настил	2	0,24	0,48	0,5	Риштування, шуруповерти, гвинти	Слюсар 4 р.	1	0,5
2	Знепилення поверхні пілосмоком	100 м ²	1	5,7	5,7	5,5	Пілосмок	Ізолювальник 4 р.	1	5,5
3	Розмітка місць свердління та свердління	100 шт	2,87	8,87	25,4569	25	Крейда, рулетка, фарба, перфоратор	Муляр 3 р.	1	25
4	Зачеканка тріщин шпаклівкою	1 м.п	100	0,2	20	20	Відро, дріль з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	20
5	Заповнення тріщини наповнювачем*	1 м ³ .	0,208	26,07	5,42256	5	Піскоструменевий апарат	Муляр 3 р.	1	5
6	Влаштування ін'єкційних пакерів (сталевих)*	1 шт	287	0,07	20,09	20	Ін'єкційні пакери	Ізолювальник 4 р.	1	5,5
7	Технологічна перерва	1 год	24							
8	Приготування ремонтного матеріалу*	1 м ³	0,052	2,1	1,092	1	Відро, дріль з насадкою для замішування	Муляр 3 р.	1	1
9	Ін'єктування **	1 м ³	0,052	295	15,34	15	Ін'єкційний насос	Ізолювальник 4 р. Машиніст 3 р.	1 1	15
10	Технологічна перерва	1 год	24							
11	Зрізання пакерів (сталевих) після ін'єктування*	100 шт.	2,87	1	2,87	2,5	Кутова шліфувальна машинка	Слюсар 4 р.	1	2,5
12	Шпаклювання місць встановлення пакерів	1 м.п.	0,287	0,2	0,0574	0,5	Відро, дріль з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	0,5
13	Переміщення підмостів	1 м ² настил	50	0,12	6	6	-	Слюсар 4 р.	1	6
14	Розбирання підмостів	1 м ² настил	2	0,24	0,48	0,5	Шуруповерт	Слюсар 4 р.	1	0,5
					102,99***	101,5**				101,5

Примітка: * дані вказано відповідно до виконаного хронометражу.

** норма вказана на одночасне приготування 1 м³ ремонтного розчину. Однак, враховуючи час життєздатності розчину за один раз може бути приготовано 20-25л. Тому, при визначенні трудомісткості та тривалості це було враховано.

***трудомісткість пораховано без урахування технологічних перерв на твердіння/полімеризацію розчинів.

Технологічний розрахунок на ін'єктування тріщини конструкцій із керамічних блоків цементним матеріалом *Stabilcem*

Процес	Назва робіт	Одиниці виміру	Обсяг робіт	Норма часу, люд. - год.	Трудомісткість, люд.-год.		Ручний інструмент, інвентар та пристосування	Прийнятий склад виконавців		Тривалість робіт, год
					за нормою	прийнята		професія, розряд	кількість виконавців	
1	Монтаж пересувних підмостів	1 м2 настилу	2	0,24	0,48	0,5	Риштування, шуруповерти, гвинти	Слюсар 3 р.	1	0,5
2	Розмітка місць свердління та свердління отворів	100 шт	3,34	8,87	29,6258	29,5	Крейда, рулетка, фарба, перфоратор	Муляр 3 р.	1	29,5
3	Зачеканка тріщин шпаклівкою (враховано промивання водою)	1 м.п	100	0,2	20	20	Відро, дріль з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	20
4	Влаштування ін'єкційних пакерів (пластикових)*	1 шт.	334	0,07	23,38	23	Ін'єкційні пакери	Ізолювальник 3 р.	1	23
5	Технологічна перерва	1 год	24							
6	Приготування ремонтного матеріалу*	1 м3	0,403	2,1	8,463	8	Відро, дріль з насадкою для замішування	Муляр 3 р.	1	8
7	Ін'єктування*	1 м3	0,403	300	120,9	121	Ін'єкційний насос	Ізолювальник 3 р. Машиніст 3 р.	1 1	60,5
8	Технологічна перерва	1 год	24							
9	Зрізання пакерів (пластикових) після ін'єктування*	100 шт.	3,34	0,8	2,672	2,5	Кутова шліфувальна машинка	Слюсар 3 р.	1	2,5
10	Шпаклювання місць встановлення пакерів	100 м2	0,334	0,2	0,0668	0,5	Відро, дріль з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	0,5
11	Переміщення підмостів	1 м2 настилу	50	0,12	6	6		Слюсар 3 р.	1	6
12	Розбирання інвентарних риштувань	1 м2 настилу	2	0,24	0,48	0,5	Шуруповерт	Слюсар 3 р.	1	0,5
					212,07	211,5				151

Примітка: * дані вказано відповідно до виконаного хронометражу.

** норма вказана на одночасне приготування 1 м³ ремонтного розчину. Однак, враховуючи час життєздатності розчину за один раз може бути приготовано 25-30 л. Тому, при визначенні трудомісткості та тривалості це було враховано.

***трудомісткість пораховано без урахування технологічних перерв на твердіння/полімеризацію розчинів.

Технологічний розрахунок на ін'єктування тріщин конструкцій із керамічних блоків полімерним матеріалом *Едмок*
ін'єкційний (без заповнення тріщини кварцовим піском)

Процес	Назва робіт	Одиниці виміру	Обсяг робіт	Норма часу, люд. - год.	Трудовісткість, люд.-год.		Ручний інструмент, інвентар та пристосування	Прийнятий склад виконавців		тривалість робіт, год
					за нормою	прийнята		професія, розряд	К-сть виконавців	
1	Монтаж пересувних підмостів	1 м ² настилу	2	0,24	0,48	0,5	Риштування, шуруповерти, гвинти	Слюсар 3 р.	1	0,5
2	Знепилення поверхні пілосмоком	100 м ²	1	5,7	5,7	5,5	Пилосмок	Ізолювальник 3 р.	1	5,5
3	Розмітка місць свердління та свердління*	100 шт	2,87	8,87	25,4569	25	Крейда, рулетка, фарба, перфоратор	Муляр 3 р.	1	25
4	Зачеканка тріщин шпаклівкою	1 м.п	100	0,2	20	20	Відро, дрель з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	20
5	Влаштування ін'єкційних пакерів (сталевих)*	1 шт.	287	0,07	20,09	20	Ін'єкційні пакери	Ізолювальник 3 р.	1	20
6	Технологічна перерва	1 год	24							
7	Приготування ремонтного матеріалу*	1 м ³	0,403	2,1	8,463	8	Відро, дрель з насадкою для замішування	Муляр 3 р..	1	8
8	Ін'єктування*	1 м ³	0,403	270	108,81	108	Ін'єкційний насос	Ізолювальник 3 р. Машиніст 3 р.	1 1	54
9	Технологічна перерва	1 год	24							
10	Зрізання пакерів (сталевих) після ін'єктування*	100 шт.	2,87	1	2,87	2,5	Кутова шліфувальна машинка	Слюсар 3 р.	1	2,5
11	Шпаклювання місць встановлення пакерів	100 м ²	0,287	0,2	0,0574	0,5	Відро, дрель з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	0,5
12	Переміщення підмостів	1 м ² настилу	50	0,12	6	6		Слюсар 3 р.	1	6
13	Розбирання інвентарних підмостів	1 м ² настилу	2	0,24	0,48	0,5	Шуруповерт	Слюсар 3 р.	1	0,5
					198,41	196,5				142,5

Примітка: * дані вказано відповідно до виконаного хронометражу.

** норма вказана на одночасне приготування 1 м³ ремонтного розчину. Однак, враховуючи час життєздатності розчину за один раз може бути приготовано 20-25 л. Тому, при визначенні трудовісткості та тривалості це було враховано.

*** трудовісткість пораховано без урахування технологічних перерв на твердіння/полімеризацію розчинів.

Технологічний розрахунок на ін'єктування тріщин конструкцій із керамічних блоків полімерним матеріалом Едмок
ін'єкційний із попереднім заповненням тріщини кварцовим піском

Процес	Назва робіт	Одиниці виміру	Обсяг робіт	Норма часу, люд.-год.	Трудомісткість, люд.-год.		Ручний інструмент, інвентар та пристосування	Прийнятий склад виконавців		тривалість робіт, год
					за нормою	прийнята		професія, розряд	к-сть виконавців	
1	Монтаж пересувних підмостів	1 м ² настилу	2	0,24	0,48	0,5	Риштування, шуруповерти, гвинти	Слюсар 3 р.	1	0,5
2	Знепилення поверхні пілосмоком	100 м ²	1	5,7	5,7	5,5	Пилосмок	Ізолювальник 3 р.	1	5,5
3	Розмітка місць свердління та свердління*	100 шт	2,87	8,87	25,4569	25	Крейда, рулетка, фарба, перфоратор	Муляр 3 р.	1	25
4	Зачеканка тріщин шпаклівкою	1 м.п	100	0,2	20	20	Відро, дріль з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	20
5	Заповнення тріщини піском	1м ³	0,3224	26,07	8,40497	8	Піскоструменевий апарат	Муляр 3 р.	1	8
6	Влаштування ін'єкційних пакерів (сталевих)*	1 шт.	287	0,07	20,09	20	Ін'єкційні пакери	Ізолювальник 3 р.	1	20
7	Технологічна перерва	1 год	24							
8	Приготування ремонтного матеріалу*	1 м ³	0,0806	2,1	1,6926	2	Відро, дріль з насадкою для замішування	Муляр 3 р.	1	2
9	Ін'єктування *	1 м ³	0,0806	295	23,777	23,5	Ін'єкційний насос	Ізолювальник 3 р. Машиніст 3 р.	1 1	23,5
10	Технологічна перерва	1 год	24							
11	Зрізання пакерів (сталевих) після ін'єктування*	100 шт.	2,87	1	2,87	2,5	Кутова шліфувальна машинка	Слюсар 3 р.	1	2,5
12	Шпаклювання місць встановлення пакерів	100 м ²	0,287	0,2	0,0574	0,5	Відро, дріль з насадкою для замішування, шпатель	Муляр 3 р.	1	0,5
13	Переміщення підмостів	1м ² настилу	50	0,12	6	6		Слюсар 3 р.	1	6
14	Розбирання інвентарних підмостів	1 м ² настилу	2	0,24	0,48	0,5	Шуруповерт	Слюсар 3 р.	1	0,5
					115,01	114				114

Примітка: * дані вказано відповідно до виконаного хронометражу.

** норма вказана на одночасне приготування 1 м³ ремонтного розчину. Однак, враховуючи час життєздатності розчину за один раз може бути приготовано 20-25л. Тому, при визначенні трудомісткості та тривалості це було враховано.

***трудомісткість пораховано без урахування технологічних перерв на твердіння/полімеризацію розчинів.

Додаток В.1. Довідка на апробацію наукового дослідження здобувача Бендерського Сергія Олександровича



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ДОНСТРОЙ»
Юр. адреса: 93400, Луганська обл., м. Северодонецьк,
вул. Ліщини Богдана, буд. 37-Б
Факт. адреса: 37500, Полтавська область, м. Лубни, вул.
Шевченка, буд. 5
р/р UA453802810000026005000002699 в АТ
"БАНК ІНВЕСТИЦІЙ ТА ЗАОЩАДЖЕНЬ"
ЄДРПОУ 25327860, ПІН 253278605623
E-mail: office@donstroj.com
Контактний номер +38 050 366 00 71

DONSTROY LIMITED LIABILITY COMPANY
Legal address: Lysychyny Bohdana street, bldg. 37-B
City Severodonetsk, Luhansk region, 93400, Ukraine
Actual address: Shevchenko street, 5,
city Lubny, Poltava region, 37500, Ukraine
DONSTROY account
UA453802810000026005000002699 in JSC "BANK FOR
INVESTMENTS AND SAVINGS"
ID code 25327860, code VAT 253278605623
E-mail: office@donstroj.com
Telephone number (direct) +38 050 366 00 71

Вих. №2502/Д від 25.02.2026

ДОВІДКА

ПРО АПРОБАЦІЮ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЗДОБУВАЧА БЕНДЕРСЬКОГО СЕРГІЯ ОЛЕКСАНДРОВИЧА

У 2022–2023 роках внаслідок військових дій, а саме влучання ракет та БПЛА, на території Житомирської області було пошкоджено велику кількість будівель і споруд. У тому числі дві школи у м. Житомирі: Загальноосвітня школа І–ІІІ ступенів № 26 за адресою: проспект Миру, 59 та Загальноосвітня школа І–ІІІ ступенів № 10 за адресою: Київське шосе, 37.

В результаті обстеження зазначених об'єктів було виявлено велику кількість тріщин з різною шириною розкриття на несучих кам'яних стінах, що з'явилися внаслідок динамічних впливів від вибухів. Для відновлення експлуатаційної придатності кам'яних стін було використано результати наукових досліджень здобувача КНУБА Бендерського Сергія Олександровича. Запропонована технологія полягала у підготовці тріщин, монтажі ін'єкторів та ін'єктуванні композитних матеріалів. Запропоноване рішення забезпечило структурне відновлення стін без додаткового їх підсилення, що дало можливість значно знизити фінансові витрати на роботи та тривалість їх виконання.

За сукупністю ознак застосованої технології, розробленої здобувачем Бендерським С. О., вдалося відновити експлуатаційну придатність пошкоджених несучих кам'яних стін. Станом на сьогодні стінові конструкції експлуатуються понад три роки, чим доводиться ефективність застосованих рішень по відновленню їх експлуатаційної придатності.

Директор
ТОВ «ДОНСТРОЙ»



Олег ЛИСЮК

Додаток В.2. Довідка на апробацію наукового дослідження здобувача Бендерського Сергія Олександровича



ТОВ «ЕС ВІ АЙ ХОЛДИНГ»
ЄДРПОУ 39206422,
Адреса: 02008, м. Київ, бул. Лесі Українки буд. 9, кв. 1
ІПН 392064226555
тел. +38 0680554455, +380730554455

№ 24/02/Вих
від 24.02.2026р.

ДОВІДКА ПРО АПРОБАЦІЮ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЗДОБУВАЧА БЕНДЕРСЬКОГО СЕРГІЯ ОЛЕКСАНДРОВИЧА

Ракетні удари та атаки БПЛА по цивільній інфраструктурі Одеської області призвели до значних руйнувань будівельного фонду регіону. Серед пошкоджених об'єктів – освітні заклади м. Ізмаїл, а саме: ліцей № 6 (вул. Шкільна, 74), ліцей № 1 (вул. Шкільна, 57) та гімназія № 9 (вул. Івана Франка, 8).

Під час проведення технічного обстеження вказаних споруд було зафіксовано численні тріщини в несучих цегляних стінах. Такі пошкодження з різними параметрами розкриття та глибиною виникли через інтенсивні динамічні навантаження, спричинені вибухами. З метою повернення конструкціям робочого стану було застосовано методику, розроблену здобувачем кафедри будівельних технологій КНУБА Бендерським С. О. Технологічний процес включав розширення тріщин та їх промивання, зачеплення поверхні тріщин, монтаж системи ін'єкторів та подальше нагнітання композитних компонентів. У разі широких тріщин додатково використовували заповнювач для зменшення обсягу полімерних матеріалів.

Використання даного підходу дозволило відновити структурну цілісність кам'яного мурування без додаткового влаштування громіздких систем підсилення. Це суттєво оптимізувало кошторисну вартість відновлювальних робіт та скоротило графік їх проведення. Експлуатація вказаних закладів освіти упродовж півтора роки після ремонту підтверджує високу надійність та техніко-економічну доцільність рішень, запропонованих Бендерським С. О.

З повагою,

Директор
ТОВ «ЕС ВІ АЙ ХОЛДИНГ»



Шахліяр ІСРАФІЛЗАДЕ

Список публікацій здобувача, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. O. Molodid, O. Molodid, I. Musiiaka, S. Benderskyi, O. Kozakova, A. Dmytrenko, P. Bigaj. Condition Survey and Recommendations Regarding the Repair of the Facades of the Historical Building in the Besarabskyi Quarter in Kyiv. *International Journal of Conservation Science*. – 2023. – Vol. 14, Issue 3. – P. 955-968. – DOI: 10.36868/IJCS.2023.03.11 (стаття входить у бази даних Scopus та Web of Science (Q1-Q3)).

2. Молодід О.С., Плохута Р.О., Молодід О.О., Бендерський С.О. (2024). Аналіз технологій ремонту тріщин кам'яних конструкцій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 1(54), 70–81. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).70-81](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).70-81) (фахове видання категорії «Б»).

3. O. Molodid, V. Skochko, R. Plokhuta, O. Molodid, I. Musiiaka, S. Benderskyi, S. Bogdan. Modern Restoration Methods For Damaged Historical Buildings As A Result of Military Aggression. Case of Educational Institutions. *International Journal of Conservation Science*. Volume 15, Special Issue 1, 2024: 205-220. DOI: 10.36868/IJCS.2024.SI.17 (стаття входить у бази даних Scopus та Web of Science (Q1-Q3)).

4. Молодід О.С., Бендерський С. О. Оцінка важливості технологічних чинників при відновленні кам'яних конструкцій з тріщинами. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. Вип. 56 (1), 2025. 208-218 DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).208-218](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).208-218) (фахове видання категорії «Б»).

5. O. Molodid, S. Benderskyi, R. Plokhuta, I. Musiiaka. A research on repair technologies for cracked brick structures using injection. *Transfer of innovative technologies*. Vol. 10 No. 1 (2026) <https://doi.org/10.32347/tit.2026.10.01.04> (фахове видання категорії «Б»).

6. O. Molodid, S. Benderskyi, R. Plokhuta, S. Bogdan, V. Skochko, Y. Novak, K. Sluchocka. Assessment of crack injection methods in the restoration of historic brick buildings. *International Journal of Conservation Science*. Volume 17, Issue 3, 2026: 853-866. DOI: 10.36868/IJCS.2026.03.02 (стаття входить у бази даних Scopus та Web of Science (Q1-Q3)).

Список публікацій здобувача, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. O. Molodid, O. Molodid, I. Musiiaka, S. Benderskyi, O. Kozakova, A. Dmytrenko, P. Bigaj. Condition Survey and Recommendations Regarding the Repair of the Facades of

the Historical Building in the Besarabskyi Quarter in Kyiv. *Proceedings of the 15th Edition of EUROINVENT 2023 European exhibition of creativity and innovation*. Vol. 15. P. 206. ISSN Print: 2601-4564 Online: 2601-4572.

8. О Молодід, І Мусіяка, С. Бендерський. Потреба у відновленні будівельних конструкцій пошкоджених внаслідок позапроектних впливів. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем. XIII міжнародна науково-практична конференція*. Т.2., 2023 с. 127.

9. Молодід О. С., Бендерський С. О. Відновлення кам'яних конструкцій пошкоджених унаслідок позапроектних впливів. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної on-line конференції «Проблеми будівельного та транспортного комплексів»*. М. Кропивницький, 23-24 травня 2023 р. С. 92-94.

10. Молодід О. С., Бендерський С. О. Аналіз наявних методів ремонту кам'яних конструкцій. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології»*, Київ, 2023.

11. Молодід О.С., Бендерський С.О. Особливості ремонту тріщин кам'яних конструкцій. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Будівництво, Дизайн: Технологія, Енергетика, Менеджмент» (Київ, 16-17 жовтня, 2024 р.)* К.: КНУБА, 2024 – С. 128-129.

12. Молодід О.С., Бендерський С.О. Оцінка впливу чинників на відновлення кам'яних конструкцій з тріщинами. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент» (Київ, 24-25 листопада, 2025 р.)* К.: КНУБА, 2024 – С. 114-115.

13. O. Molodid, S. Benderskyi, R. Plokhuta, S. Bogdan, V. Skochko, Y. Novak, K. Sluchocka. Assessment of Crack Injection Methods in the Restoration of Historic Brick Buildings. *EUROINVENT ICIR 2026. International Conference on Innovative Research*. Iasi, 28th–29th of May 2026.

Список публікації здобувача, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. О. Молодід, Р. Плохута, О. Молодід, І. Мусіяка, С. Бендерський, В. Семенов. Типова технологічна карта «Відновлення кам'яних конструкцій». 2023. 81 с.