ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **Бендерського Сергія Олександровича**
на тему: «Технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
в галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»

1. Актуальність обраної теми дослідження та її зв'язок з державними програмами

На даний час значна частка будівель та споруд, у тому числі кам'яних, мають пошкодження внаслідок дії різноманітних чинників, як приклад температурно-вологісні впливи; біологічні впливи; перенавантаження; позапроєктні впливи у тому числі від вибухів, пожеж та ін.. У зв'язку із цим виникає потреба у виконанні ремонтних робіт для відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених конструкцій. Відомо, що залежно від виду пошкодження, матеріалу конструкцій та очікуваного результату виконується підбір технології ремонту/підсилення та підбір ремонтного матеріалу.

Нормативними вимогами регламентовано для ремонту тріщин кам'яних конструкцій застосовувати цементні, полімерні та інші матеріали. При цьому, при ширині розкриття тріщини до 3 мм варто використовувати полімерні матеріали, при ширині розкриття від 3 до 50 мм – цементні матеріали, а при ширині розкриття понад 50 мм виконувати перекладання ділянки кладки.

Актуальність дисертаційної роботи здобувача Бендерського С. О. полягає у дослідженні технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій ін'єктуванням різними ремонтними матеріалами з урахуванням низки технологічних чинників, що мають вплив як на технологію виконання робіт так і на якість виконаних робіт. При цьому, дослідженнями враховано можливість застосування технології ремонту не тільки на стінах із повнотілих елементів а і зведених із порожнистих елементів чи керамічних блоків.

Дисертаційна робота відповідає 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».

2. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі

Забезпечується наступним: комплексний підхід до аналізу проблематики дослідження; аналіз теоретичних та експериментальних досліджень; апробація удосконаленої технології на будівельних об'єктах.

У процесі роботи над дисертаційною роботою здобувачем використано наступні методи наукових досліджень: аналіз та синтез (опрацювання науково-технічної літератури з напрямку дослідження та результатів експериментів; аналіз результатів експериментальних досліджень); проведення лабораторних експериментів, вимірювання, порівняння.

Наукове дисертаційне дослідження проведено згідно із загальноприйнятими науковими постулатами.

3. Наукова новизна отриманих результатів і їх теоретичне та практичне значення

Наукова новизна дисертації полягає у наступних положеннях:

- уперше 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.

4. Повнота викладених наукових положень, висновків і рекомендацій, наведених у дисертаційній роботі

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

5. Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи Бендерського С. О. на тему «Технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин» полягає у розробці та впровадженні науково обґрунтованих технологічних рішень, що дозволяють здійснювати комплексне відновлення пошкоджених конструкцій без їх демонтажу.

Впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджується двома довідками про апробацію у будівельній практиці на п'яти об'єктах: ремонтно-відновлювальні роботи на об'єктах Житомирської області – загальноосвітня школа I–III ступенів № 26 (м. Житомир, пр-т Миру, 59); загальноосвітня школа I–III ступенів № 10 (м. Житомир, Київське шосе, 37) (довідка про апробацію наукового дослідження від 25.02.2026 р.); ремонтно-відновлювальні роботи на освітніх закладах м. Ізмаїл - ліцей № 6 (вул. Шкільна, 74); ліцей № 1 (вул. Шкільна, 57); гімназія № 9 (вул. Івана Франка, 8) (довідка про апробацію наукового дослідження від 24.02.2026 р.).

6. Оцінка змісту та структури дисертації

Дисертаційна робота складається із: анотації; вступу; чотирьох розділів; висновків до кожного із розділів; загальних висновків; списку використаних

джерел; додатків. Загальний обсяг дисертації становить 193 сторінки, із них 146 основного тексту. Список використаних джерел налічує 107 пунктів і має обсяг 11 сторінок. Робота містить 71 рисунків та 26 таблиць, 4 додатки обсягом 13 сторінок.

У вступі здобувачем обґрунтовано актуальність обраної тематики дисертаційного дослідження, визначено мету і завдання роботи, предмет і об'єкт дослідження, вказано методи дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів з виокремленням особистого внеску здобувача.

У першому розділі автором виконано наступне:

- визначено перелік чинників, що призводять до виникнення дефектів та пошкоджень кам'яних конструкцій, а саме: 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);
- виконано аналіз науково-технічних звітів із обстеження пошкоджених будівель та встановлено, що найбільш поширеним пошкодженням кам'яних конструкцій є тріщини різного просторового положення, ширини розкриття, довжини та ін.;
- виконано аналіз науково-технічної літератури та виокремлено перелік технологій відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених будівельних конструкцій з тріщинами шляхом їх ремонту/ підсилення. Виокремлено найбільш поширену технологію ремонту тріщин – ін'єктування, яка і використовувалася для подальших досліджень;
- проаналізовано технологічні чинники, що мають вплив на технологію виконання ремонтно-відновлювальних робіт та на їх якість, а саме: вологість основи; підготовка основи; температура навколишнього середовища; густина ремонтних матеріалів;

На основі вище наведеного встановлено, що у науково-технічній літературі не у повній мірі висвітлено вплив технологічних чинників на технологію ремонтно-відновлювальних робіт ін'єктуванням тріщин. Відсутні дослідження та рішення на

ремонт конструкцій стін з тріщинами зведеними з порожнистих елементів чи керамічних блоків. Відповідно встановлена потреба у розробці удосконаленої технології ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами шляхом дослідження впливу найбільш вагомих технологічних чинників на технологію ремонтно-відновлювальних робіт та їх якість на конструкціях із повнотілих елементів, керамічних блоків чи порожнистої цегли.

У другому розділі автором встановлено важливість технологічних чинників, що мають вплив на технологію виконання ремонту кам'яних конструкцій ін'єктуванням тріщин за допомогою методу експертних оцінок. За методом приписування балів виконано розрахунки пріоритетності чинників та перевірено розрахунки методом попарних порівнянь. Відповідно до результатів розрахунків виокремлено перелік чинників, що були враховані в подальших експериментальних дослідженнях: якість підготовки основи; вид ремонтного матеріалу; геометричні параметри тріщин; напрямок ін'єктування; вид матеріалу конструкцій; спосіб влаштування пакера.

Автором розроблено загальну методику дисертаційного дослідження, що структурувала весь обсяг дисертаційної роботи, включно із виконанням комплексу теоретичних та експериментальних досліджень, їх аналізом, обробкою отриманих результатів та розробкою вдосконаленої технології ремонту кам'яних стін з тріщинами ін'єктуванням. Загальною методикою передбачено виконання усіх експериментальних досліджень у лабораторних умовах (із зазначенням переліку будівельних матеріалів, ремонтних сумішей, обладнання тощо) та подальшу апробацію удосконаленої технології на будівельних об'єктах.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено дослідженню технології ремонту кам'яних конструкцій ін'єктуванням тріщин з урахуванням чинників відповідно до методики експериментальних досліджень, що включала чотири етапи.

- на 1-му етапі виконано дослідження впливу способу підготовки основи повнотілої цегли на міцність зчеплення з нею ремонтних матеріалів (цементних та полімерних). Встановлено, що достатнє зволоження основи водою є обов'язковою умовою при використанні цементних ремонтних матеріалів але небажане при використанні полімерних ремонтних матеріалів. При цьому, за необхідності можливе використання спеціальних адгезивних матеріалів, як при використанні цементних матеріалів так і при використанні полімерних матеріалів. Встановлені середні значення

міцності зчеплення матеріалів з основою без адгезивних матеріалів: Stabilcem – 0,53 МПа, Microcem – 0,68 МПа, Едмок ін'єкційний – 0,585 МПа, Epojet – 2,02 МПа; з адгезивними матеріалами: Stabilcem (з Primer 3296) – 1,13 МПа; Едмок ін'єкційний (з Консолід 1) – 1,53 МПа, Epojet (з Консолід 1) – 2,06 МПа.

- на 2-му етапі виконано дослідження впливу від додавання наповнювачів до ремонтних матеріалів на зміну їх міцності зчеплення з основою повнотілої цегли. У якості наповнювачів використано: тальк; карбонат кальцію; аеросил; пісок річковий середньої крупності. Встановлено, що додавання наповнювачів по різному впливає на міцність зчеплення ремонтних матеріалів з основою. Так, для матеріалу Stabilcem спостерігається збільшення міцності зчеплення при додаванні карбонату кальцію (на 62 %) та аеросилу (на 11 %), зменшення міцності зчеплення спостерігалося при додаванні тальку (на 63 %), піску (від 42 до 65 %). Для матеріалу Едмок ін'єкційний збільшення міцності зчеплення спостерігалося при додаванні усіх наповнювачів, особливо піску (від 223 до 286 %). Для матеріалів Epojet та Microcem додавання наповнювачів призводило до зменшення міцності зчеплення у всіх випадках. Результати свідчать про доцільність використання наповнювачів у окремих випадках з необхідністю виконання пробних випробувань.
- на 3-му етапі досліджено розтічність ремонтних матеріалів по умовній тріщині залежно від виду матеріалу конструкції (з повнотілої та порожнистої цегли, керамічних блоків). Дослідження дозволили встановити наступні параметри: висоту підйому матеріалу залежно від ширини та довжини умовної тріщини і виду 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 досліджень обґрунтовано крок ін'єкційних пакерів залежно від виду ремонтного матеріалу. Так, при використанні цементних матеріалів по типу Stabilcem рекомендований крок ін'єкційних пакерів складає 30-40 см, при використанні полімерних матеріалів по типу Едмок ін'єкційний чи Epojet крок пакерів може складати 35-45 см. Додатково виконано дослідження з можливістю попереднього заповнення тріщини кварцовим піском та подальшим ін'єктуванням полімерної композиції. Встановлено, що дана технологія дозволяє зменшити обсяг вартісного

ремонтного матеріалу з забезпеченням достатніх міцнісних показників зчеплення.

- на 4-му етапі досліджено міцність на згин відремонтованих цегляних стовпів із повнотілої цегли залежно від ширини розкриття тріщини, способу влаштування у них ін'єкційних пакерів, наявності наповнювача при використанні різних ремонтних матеріалів. Для цього змуровані цегляні стовпи розламували навпіл прикладаючи руйнівне зусилля; тріщину ремонтували ін'єктуванням при цьому у половині зразків тріщини заповнювали піском; після полімеризації/затвердіння прикладали повторне руйнівне зусилля; виконували аналіз отриманих значень. Встановлено, що при ін'єктуванні полімерного матеріалу Едмок ін'єкційний міцність на згин збільшилася на 82,5 % (для порожніх тріщин) та на 74,9 % (для тріщин з наповнювачем); міцність на згин при ін'єктуванні матеріалу Epojet зросла на 215 % (для порожніх тріщин) та на 61 % (для тріщин з наповнювачем); при ін'єктуванні матеріалу Stabilcem вдалося заповнити тільки пусті тріщини, при цьому міцність на згин зросла на 25,6 % тільки для пустих тріщин. При повторному прикладанні руйнівного зусилля за умови ін'єктування полімерних матеріалів нові тріщини утворювалися паралельно склеєним. В усіх випадках при повторному прикладанні руйнівних зусиль зразки відремонтовані цементними матеріалами розламувалися вздовж відремонтованої тріщини.

У четвертому розділі удосконалено існуючу технологію ремонту кам'яних конструкцій ін'єктуванням тріщин, що дозволить виконати структурне відновлення пошкодженої кладки, відновити її міцнісні показники, знизити техніко-економічні показники порівняно з класичними методами ремонту. Вихідними даними для удосконалення є результати аналізу науково-технічної та нормативної літератури щодо ремонту кам'яних конструкцій з тріщинами та отримані результати експериментальних досліджень.

Удосконалена технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин складається із наступних технологічних процесів: підготовка матеріалів та обладнання; за необхідності встановлення риштувань / інвентарних підмостів; демонтаж опорядження вздовж тріщини; очищення тріщини та конструкції від незв'язного матеріалу та пилу; розмітка місць та буріння отворів; зачеканка тріщини; за потреби заповнення тріщини наповнювачем (кварцовим піском); влаштування пакерів; зволоження тіла конструкції (за умови використання

цементних матеріалів); приготування ремонтного розчину; ін'єктування ремонтного розчину; додаткове ін'єктування; витримування технологічної перерви; видалення пакерів; зачеканка отворів; відновлення опорядження; розбирання риштувань/ інвентарних підмостів (за їх наявності). Рекомендовано при ін'єктуванні полімерних матеріалів застосовувати сталевий механічний пакер, а при ін'єктуванні цементних матеріалів використовувати пластикові пакери. Пакери можуть бути влаштовані у пробурені отвори чи у тріщину (при її ширині розкриття більше 10 мм,). Можливий варіант застосування пакерів, що наклеюються.

Виконано техніко-економічне обґрунтування удосконаленої технології ремонту кам'яних конструкцій ін'єктуванням тріщин, а саме виконано техніко-економічне порівняння удосконаленої технології з класичною. Розрахунками встановлено, що класична технологія ремонту тріщин ін'єктуванням цементними матеріалами є найбільш тривалою, трудомісткою та вартісною. При цьому, удосконалена технологія ремонту тріщин з попереднім заповненням тріщин кварцовим піском та подальшим ін'єктуванням полімерною композицією дозволяє зменшити тривалість робіт у 1,25 рази для повнотілої цегли і у 1,32 рази – для керамічних блоків; трудомісткість у 1,63 та 1,86 рази відповідно; вартість виконання ремонтно-відновлювальних робіт за удосконаленою технологією нижча у 1,42 для конструкцій із повнотілих елементів та у 1,54 рази для конструкцій із керамічних блоків.

Важливо, що удосконалена технологія ремонту кам'яних конструкцій ін'єктуванням тріщин була впроваджена на 5-ти об'єктах будівництва, що підтверджено довідками про апробацію результатів наукового дослідження.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Текст дисертаційного дослідження відповідає вимогам Постанови Кабінету міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. зі змінами № 507 від 03.05.2024 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» та Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 зі змінами № 759 від 31.05.2019 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Викладений в роботі матеріал відповідає напрямку спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

8. Зауваження до дисертаційної роботи

За результатами ознайомлення із текстом дисертаційної роботи надано зауваження, які не є принциповими і не знижують наукову значимість результатів роботи, а саме:

1. У п.3.4 експерименти виконані таким чином, що у зразки ін'єктували певний заданий обсяг матеріалу, проте було б коректніше ін'єктувати до повного заповнення порожнин, або досягнення надмірного тиску обладнанням.

2. У таблицях 3.8-3.11 варто було б додати інформацію щодо міцності зчеплення сумішей без наповнювача з основою, оскільки вказані дані використовуються як база для побудови діаграм 3.16-3.19.

3. Для отримання результатів експериментальних досліджень, що корелюватимуться потрібно щоб стенди для їх виконання були однаковими, проте у роботі є певні відхилення:

сторінка 117 "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";

сторінка 121 "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".

4. У роботі не відображені результати досліджень з ремонту тріщин ін'єктуванням епоксидних матеріалів ручним насосом, при цьому для цементних матеріалів такі дослідження наявні.

9. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертація Бендерського Сергія Олександровича «Технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин» є завершеною науковою працею, що вирішує важливе завдання будівельної галузі на поточному етапі її розвитку.

Результати отримані у дисертаційній роботі були апробовані на будівельних об'єктах. Виклад матеріалу дисертаційної роботи відповідає вимогам наукового стилю.

Автором оволодів наступними компетентностями: здатність до системного аналізу науково-технічної інформації, синтезу та абстрактного мислення для здійснення науково-технічної, інженерної діяльності, з формулюванням висновків

відповідно до цілей дослідження; уміння самостійно ставити та виконувати /розв'язувати задачі різного ступеню складності на основі сучасних методів дослідження; володіння навичкою аналізу результатів наукових досліджень, власних та запозичених припущень; обробляти, отримувати та впроваджувати результати у виробничу практику; здатність висвітлювати результати досліджень у вигляді публікацій.

На основі проведеного аналізу дисертаційної роботи Бендерського Сергія Олександровича «Технологія ремонту кам'яних стін ін'єктуванням тріщин», вважаю, що дисертація заслуговує схвальної оцінки, а її автор Бендерський Сергій Олександрович – присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

Офіційний опонент:
доктор технічних наук,
професор, професор кафедри
технології та організації
будівельного виробництва
Харківського національного
університету міського
господарства ім. О.М. Бекетова

(підпис) Алевтина АЛЕЙНІКОВА

Підпис Алевтини Алейнікової
Засвідчую:
начальник відд. кадрів
"____" _____ 20__ р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова
№02071151