

Олександр МОЛОДІД,

д-р техн. наук, професор

ORCID: 0000-0001-8781-6579

Руслана ПЛОХУТА,

PhD, доцент

ORCID: 0000-0002-3148-5376

Олена МОЛОДІД,

канд. екон. наук, старш. наук. співроб.

ORCID: 0000-0001-8211-3460

Сергій БЕНДЕРСЬКИЙ,

аспірант

ORCID: 0009-0003-4818-1840

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ ТРІЩИН КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У процесі технічних обстежень будівель та споруд, в тому числі таких, що зазнали пошкодження внаслідок військових дій, встановлено, що основними пошкодженнями кам'яних конструкцій є тріщини різного просторового положення, ширини розкриття, глибини та довжини. Причинами виникнення тріщин можуть бути багато різноманітних факторів, як то осідання основи, наприклад за рахунок систематичного замокання внаслідок пошкодження системи водовідведення, механічні впливи, температурно-вологісні та атмосферні впливи тощо. Останнім часом в Україні значна кількість будівель та споруд зазнали позапроєктних впливів, а саме вибухів. У зв'язку з цим, а також з урахуванням інших факторів, виникла необхідність пошуку оптимальної технології ремонту тріщин кам'яних конструкцій, що дозволить не тільки заповнити тріщину та віновити цілісність конструкцій, а й підвищить експлуатаційні показники відновлених конструкцій, за необхідності забезпечать просторову жорсткість та при цьому будуть відносно простими у виконанні та матимуть відносно низьку вартість виконання робіт. До основних технологій ремонту конструкцій із тріщинами, відповідно до ДСТУ Б В.3.1-2:2016, віднесено ін'єктування тріщин, введення елементів підсилення та повна чи часткова заміна кладки. У статті розглянуто найбільш відомі технології ремонту та вказано їх переваги та недоліки. Технологією, яка найчастіше застосовується є зачеканка тріщин ремонтними розчинами. Однак дана технологія ефективна тільки у випадку гарантованої стабілізації тріщиноутворення. До класичних технологій ремонту та посилення конструкцій можна віднести технологію ін'єктування тріщин ремонтними розчинами, влаштування обойм (розчинових, залізобетонних, сталевих, комбінованих) та «зшивання» тріщин влаштуванням сталевих елементів (пластин, стержнів, швелерів тощо). Новим напрямком у підсиленні конструкцій є «зшивання» тріщин високоміцними сталевими стержнями шляхом введення їх у тіло конструкцій «сухим» чи «мокрим» методом та зовнішнє армування конструкцій з тріщинами з використанням високоміцних вуглецевих елементів підсилення (волокон, тканин, ламелей).

Ключові слова: *керамічна цегла, кам'яна кладка; тріщини; технології ремонту; підсилення; ін'єктування; зачеканка; ремонтні розчини; обойма; елементи підсилення; вуглецеве волокно.*

Вступ. У процесі технічного обстеження будівель та споруд та аналізу готових звітів за результатами обстежень, що виконані спеціалістами Центру інжинірингу та експертизи КНУБА, встановлено, що найчастішими виявленими пошкодженнями будівельних конструкцій були тріщини на зовнішніх та внутрішніх стінах. При цьому, слід відмітити, що подібна ситуація як для будівель на які не було впливу бойових дій, так і на будівлі, які пошкоджені у наслідок бойових дій, а саме ті, на які відбувався вплив вибухової хвилі, без влучання вибухових елементів та їх часток.

Аналізом науково-технічної літератури [1-3] встановлено, що на стінах будівель, які не потрапляли в зону впливу бойових дій, найчастіше тріщини з'являються у наслідок нерівномірного осідання фундаментів, що спровоковано нерівномірним, або понаднормовим замочуванням основ, та призводить до погіршення їхніх фізико-механічні властивостей. Зокрема, відсутність організованого відведення опадів з покрівлі, або їх водовідлив впритул до будівлі за його наявності, приямки влаштовані з помилками, відсутність, або наявне, але пошкоджене вимощення призводять до замокання основ та їх деформування (рис. 1). Аналогічна ситуація виникає і при аварійних пошкодженнях водопровідних або каналізаційних мереж поруч з будівлями.

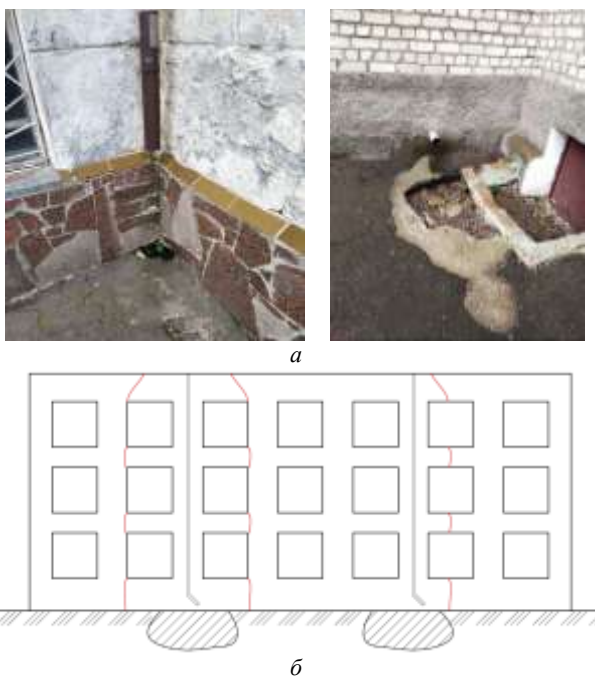


Рис. 1. Локальне замочування основ опадями: *а* – просідання ґрунту в межах та під фундаментами у наслідок локального його замочування опадями з невірно облаштованої системи водовідведення; *б* – схема будівлі з локально замоченими ґрунтами та тріщинами на стінах

Розрізняють осадові, силові та температуро-вологісні тріщини, що виникають внаслідок осідання основи, силових механічних впливів чи дії інших факторів.

При вибухах ракет, БПЛА, авіабомб, або інших позапроектних впливів, що супроводжуються вибуховою хвилею чи землетрусів на об'єкти будівництва, що знаходяться навіть на значній відстані від епіцентру дії впливу, піддаються динамічним впливам, які спричиняють пошкодження похилих покриттів, вікон, дверей і стін. На конструкціях здебільшого з'являються тріщини (рис. 2).



Рис. 2. Витяг зі схеми дефектів та пошкоджень зі Звіту за результатами обстеження житлового багатопверхового будинку з несучими кам'яними стінами в торець якого потрапила авіабомба. Кривими лініями відображено тріщини на фасадних стінах, а хрестиками відмічено втрачені вікна та двері

Слід розуміти, що тріщини на кам'яних стінах, що з'явилися у наслідок тимчасових позапроектних впливів, після завершення їх дії та за відсутності інших погіршуючих чинників, не розвиваються, а залишаються у тому ж стані і надалі. Тобто, такі тріщини не потребують підсилення, а їх достатньо лише відремонтувати. Проте, для відновлення структурної цілісності стін такий ремонт повинен передбачати локальне закріплення таких стін, а не лише їх заповнення.

Слід звернути увагу, що до 2000-х років кам'яні стіни зводили переважно з повнотілої цегли і рідше з порожнистої та ще рідше з керамічних порожнистих блоків або інших матеріалів. Несучі стіни сучасних будівель частіше зводять з порожнистої цегли та керамічних порожнистих блоків, натомість рідше з повнотілої цегли.

Відповідно до ДСТУ 9273:2024 [4] вертикальні та похилі силові тріщини від стискальних зусиль, 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 заходів із захисту конструкцій. Конструкції з більшими тріщинами вже потребують виконання ремонту, підсилення або заміни конструкцій.

ДСТУ Б В.3.1-2:2016 [5] регламентує чотири основні способи ремонту та підсилення кам'яних конструкцій, а саме: повна чи часткова заміна кладки; ін'єктування тріщин; відновлення несучої здатності конструкцій введенням елементів підсилення та відновлення загальної жорсткості конструкцій.

При цьому, перекладання конструкцій виконують при значних пошкодженнях кладки, а саме: руйнування ділянки кладки, вимивання мурувального розчину чи вогневе ураження на глибину 25 % і більше товщини конструкції; тріщини з шириною розкритті понад 50 мм тощо.

Ін'єктування виконують для вертикальних та похилих тріщин кам'яних конструкцій, що перетинають не більше двох рядів кладки та інших тріщин з шириною розкриття до 0,5 мм. При цьому, для ремонту тріщин нормативом рекомендовано використання цементно-колоїдних клеїв, цементно-піщаних, цементно-полімерних і полімерних розчинів. Зачеканку тріщин рекомендовано виконувати при ширині їх розкриття від 3 мм з використанням цементних розчинів.

Підсилення конструкцій рекомендовано виконувати одно- чи двостороннім нарощуванням із залізобетону чи армованим розчином.

Відновлення жорсткості конструкцій рекомендовано виконувати шляхом влаштування різноманітних обойм – залізобетонної, сталевोї, змішаної; зональних ребер, поясів, стрижнів, що приєднуються до конструкції анкерами.

Постановка завдання. Необхідно проаналізувати відомі технології ремонту та підсилення тріщин на кам'яних стінах і встановити такі, що можна застосовувати при ремонті чи закріпленні тріщин, які утворилися унаслідок тимчасових позапроектних впливів.

Основна частина. Найчастіше у побутових умовах тріщини просто зачеканюють ремонтним розчином незалежно від їх ширини розкриття та виконують подальше опорядження конструкцій. Однак дана технологія ремонту може бути ефективною тільки у випадку гарантованої стабілізації тріщиноутворення. Але при цьому, такий вид ремонту не відновлює структурну цілісність конструкції. У більшості випадків, з часом, на місці старої зачеканеної тріщини, утворюється нова тріщина, що свідчить про продовження процесу її розширення. Тому, важливо виконувати не тільки заповнення тріщини ремонтним розчином, а й враховувати причини їх виникнення, геометричні параметри та умови експлуатації конструкцій.

Поява нових ремонтних матеріалів, технологій та значне збільшення обсягу ремонтних робіт, особливо з початком повномасштабного вторгнення, спонукає науковців постійно досліджувати на удосконалювати існуючі технології ремонту тріщин.

Ін'єктування тріщин кам'яної кладки фактично є класичною технологією, що має підтверджену ефективність. Так, дослідженням технології ін'єктування цегляної кладки займалися видатні вітчизняні та зарубіжні дослідники, а саме: С.В. Клименко [6], О.В. Коваленко [7], О.І. Менейлюк [8], В.І. Маруха [9, 10], Г.М. Тонкачев [11], М. Kuzmanovic [12] та інші. Їх дослідження дозволили поліпшити технологію ін'єктування та оптимізувати процеси її виконання, що дозволило підвищити якість виконання робіт та покращити фізико-механічні показники відремонтованих конструкцій.

Загалом класична технологія ін'єктування тріщин полягає у просвердлюванні вздовж тріщин отворів під кутом до площини конструкції на глибину, що дозволить перетнути тріщину (рис. 3). Після очищення отворів та тріщини від пилу в них влаштовують ін'єкційні пакери та виконують ін'єктування тріщин ремонтними розчинами. При цьому, для уникнення можливого витікання розчину із тріщини її попередньо поверхнево зачеканюють. У якості ін'єкційного розчину

при ширині розкриття тріщин до 2 мм доречно обирати полімерні композиції, для більших тріщин цементно-піщані та цементно-полімерні композиції.



Рис. 3. Схема ін'єктування тріщин кам'яної кладки

Загалом, технологія ін'єктування є зрозумілою та відносно простою у виконанні. Зазвичай, виробники ін'єкційних розчинів самостійно регламентують крок розташування пакерів та кут нахилу отворів. На даний час на будівельному ринку представлено широкий вибір ремонтних матеріалів, що може задовольнити потреби споживачів з різними фінансовими можливостями. При цьому технологія ін'єктування дозволяє не змінювати загального вигляду конструкцій та їх геометричні параметри; теоретично відновлює структурну цілісність кладки та ймовірно відновлює міцнісні показники. В результаті аналізу науково-технічної літератури не вдалося виявити дослідження, які б підтверджували відновлення структурної цілісності та міцнісних показників кладки після ремонту в ній тріщин ін'єктуванням. Із результатів подібних досліджень відомо, що при ін'єктуванні тріщин полімерними матеріалами на епоксидній основі, тріщина в кам'яній кладці з повнотілої цегли гарантовано склеюється, а в разі подальших деформацій тріщини з'являтимуться поруч, а не у місці відновлення [13]. Проте, невідомо чи відновлюється структурна цілісність кладки з порожнистої цегли, або керамічних блоків при ін'єктуванні тріщин тими ж розчинами. Також невідомо чи відновлюється структурна цілісність кладки при ін'єктуванні тріщин цементними розчинами.

Відомими класичними технологіями підсилення кладки є влаштування залізобетонної, бетонної (розчинової), сталеві чи комбінованої обойми, а також технологія введення різноманітних анкерів та тяжів. Такі технології доречно використовувати при значному пошкодженні конструкцій, наприклад потоншенні поперечного перерізу, значній кількості тріщин по довжині конструкції, незначних отворів тощо.

Влаштування бетонної (розчинової) обойми полягає у встановленні навколо конструкції опалубки, яку заповнюють високорухливою бетонною чи іншою ремонтною сумішшю. Влаштування залізобетонної обойми [1, 14] є поширеним

способом підсилення пошкоджених кам'яних конструкцій, особливо колон чи стовпів, що полягає у встановленні навколо конструкцій арматурного каркасу чи сітки, що поєднують із конструкцією анкерами, встановленні навколо конструкції опалубки та заповненні її високотекучою бетонною сумішшю. Зазначена технологія дозволяє виконати відновлення та підсилення конструкції, відновлення її структурної цілісності, підвищити міцність та довговічність. Однак влаштування залізобетонної обійми призводить до значного збільшення ваги конструкції, що обов'язково необхідно врахувати особливо, якщо конструкція, що підсилювалася, знаходиться не на першому поверсі. При цьому застосування технології влаштування залізобетонної обійми призводить до збільшення геометричних параметрів конструкцій, що зменшує внутрішні параметри приміщень. Також така технологія нерациональна при підсиленні фасадних стін з зовнішньої сторони.

Дієвим способом ремонту тріщин та підсилення конструкцій є влаштування сталевих обійм, анкерів чи тяжів. Підбір елементів підсилення (обойм, анкерів чи тяжів) залежить від виду конструкції, місця її розташування, виду пошкодження тощо.

Так, для колон (стовпів / пілястр) найбільш дієвим є метод влаштування сталевих обійм [1, 15]. При цьому вони можуть бути як звичайні, так і попередньо напружені. Сталеві обійми складаються із системи кутиків та планок, що поєднуються між собою зварюванням. Кількість планок (крок їх розташування), матеріал сталі та товщину елементів підсилення визначають розрахунком.

У окремих випадках можливе використання комбінованої технології з влаштуванням сталевих обійм та оббетонуванням [1, 13]. Така технологія є дієвою однак дуже трудомісткою, призводить до значного збільшення маси конструкцій. Тому її використання є обмеженим.

Для ремонту тріщин також використовують технологію їх «зшивання» за допомогою різноманітних металевих накладок (рис. 4) – сталевих пластин, шпонок, стержнів, швелерів тощо [1]. Такі технології доречно використовувати при можливих деформаціях кладки стін та при тріщинах шириною розкриття до 10 мм.

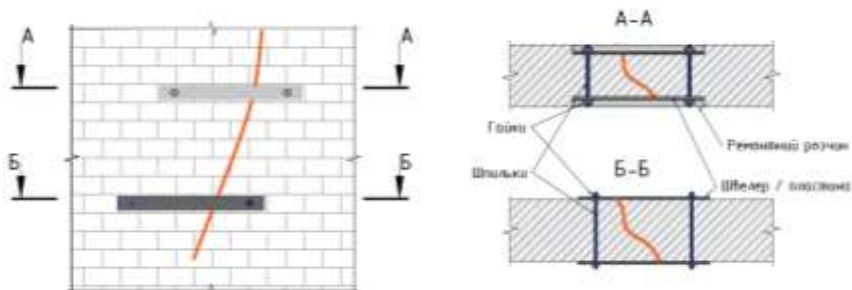


Рис. 4. Схема «зшивання» тріщин металевими пластинами / швелерами з їх монтажем зовні та в тілі конструкції

Залежно від матеріалу підсилення технологія дещо відрізняється. Так, влаштування сталевих пластин чи швелерів може бути як поверховим, так і з монтажем елементів у тіло конструкції. При цьому, фіксація пластин / швелерів виконується за допомогою шпильок та гайок. Крок встановлення елементів

підсилення вздовж тріщини визначається розрахунком та становить 100-300 мм. Довжина, матеріал та товщина пластин / швелерів визначається розрахунками.

Перевагою даної технології є надійна фіксація тріщини, унеможливлення її подальшого розкриття. Однак недоліком є відносна трудомісткість та тривалість виконання робіт. Також такий тип підсилення призводить до погіршення естетичного вигляду фасадів та внутрішніх приміщень, або ж до додаткових грошових витрат на усунення недоліків.

Одним із методів «зшивання» тріщин є використання сталевих скоби з арматурних стержнів, що влаштовується у штраби (рис. 5). При цьому влаштування скоб виконують паралельно горизонтальним швам кладки так і перпендикулярно до осі тріщини. Після встановлення скоб штраби заповнюються ремонтним розчином з подальшим опорядженням конструкції.

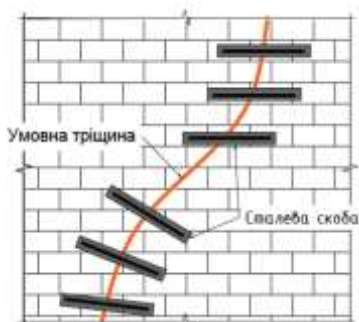


Рис. 5. Схема влаштування сталевих скоб для «зшивання» тріщин

Закордоном набула широкого використання технологія «зшивання» тріщин за допомогою високоміцних сталевих стержнів, що залежно від розташування тріщини та конструктивного вузла конструкції, можуть бути влаштовані у тіло конструкції у різних варіаціях, як у штрабу влаштовану в шві, так і у отвори. При цьому, високоміцний стержень може бути влаштований у розчин («мокрый» монтаж) чи загвинчений у пустий отвір («сухий» монтаж). В Україні така технологія активно впроваджується ТОВ «Мапей» [16]. Актуальною зазначена технологія буде при ремонті тріщин до 10 мм з подальшим їх ін'єктуванням ремонтним розчином.

Технологія «мокрого» монтажу полягає у наступному. У проектних місцях у швах кладки вздовж тріщини влаштовують штраби. Заздалегідь нарізають стержні на елементи довжина яких має бути дещо менша довжини штраби. У очищену штрабу вкладають ремонтний розчин у який вкладають високоміцний стержень (рис. 6). У подальшому штрабу повністю заповнюють ремонтним розчином та виконують опорядження поверхні. Технологія «сухого» монтажу наступна. У проектних місцях пробурюють отвори, діаметр яких має бути трохи менший ніж діаметр стержня. Стержень, необхідної довжини загвинчують у очищений від пилу отвір за допомогою перфоратора зі спеціальною насадкою. У подальшому поверхню отвору заповнюють ремонтним розчином та виконують опорядження конструкції. Перевагою даної технології є висока ефективність відновлення експлуатаційних властивостей пошкоджених тріщинами конструкцій, при цьому

не відбувається зміни геометрії та загального вигляду конструкції, підвищення міцності кладки на розтяг та зсув, не збільшується маса конструкції, можливість використання технологій для конструкцій, що експлуатуються у агресивних середовищах. Однак, відсутня інформація чи ефективна така технологія для стін з усіх видів каменів чи лише для повнотілої цегли.

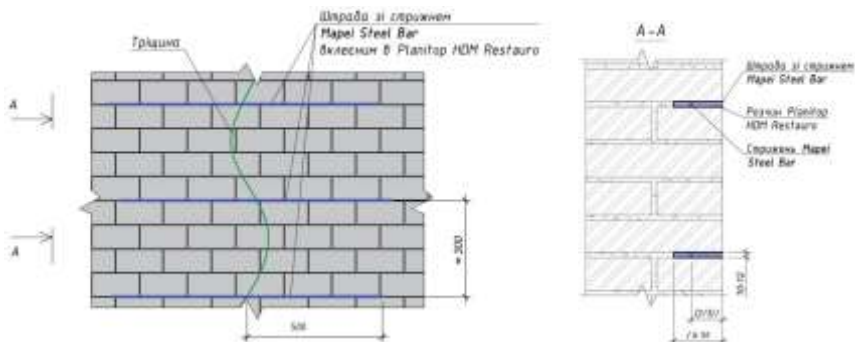


Рис. 6. Схема підсилення кам'яної кладки «зшиванням» тріщин за допомогою високоміцних сталевих стержнів

Однією із технологій, що набуває значного поширення та використання у світі та в Україні є технологія зовнішнього армування конструкцій високоміцними вуглецевими елементами підсилення (рис. 7) (волокна, тканини, ламелі). Дослідженнями у цьому напрямку займалися багато закордонних та вітчизняних вчених: Молодід О.С. [2, 16, 17], Yaqub M. [18], Carolin A. [19], Johansson B. [20] та ін. Зазначена технологія актуальна при відновленні несучої здатності сильно пошкоджених конструкцій з попереднім відновленням їх геометрії та ін'єкуванням тріщин.



Рис. 7. Схема підсилення кам'яної колони зовнішнім армуванням наклеюванням вуглецевого волокна

Суть технології ремонту та підсилення конструкцій полягає у наступному. Місця розташування елементів підсилення, їх геометричні параметри та кількість визначається розрахунком. У проєктних місцях виконують підготовку основи шляхом очищення її від пилу, нез'язних частин тощо. Кути конструкції обов'язково необхідно заокруглити для уникнення виникнення концентрації напружень. На очищену поверхню наносять клей на епоксидній основі на який наклеюють заздалегідь підготовлені елементи підсилення. Особливо ефективна зазначена технологія для підсилення кам'яних колон/пілон. При підсиленні тріщин на стінах смужки з високоміцного матеріал, або сталеві пластини наклеюють з певним кроком вздовж тріщини перпендикулярно до неї.

Основною перевагою використання даного способу є відносна легкість монтажу елементів підсилення, можливість використання на конструкціях будь-якої конфігурації, мізерна маса елементів підсилення, надійна фіксація та значне збільшення міцнісних показників підсилених конструкцій. Однак, дана технологія є доволі вартісною. Також, зважаючи на військові дії в Україні, постійно існує ймовірність виникнення пожеж внаслідок влучання снарядів та ракет, що може призвести до швидкої втрати стійкості конструкцій внаслідок підвищення текучості клею під впливом температури.

Висновки. Аналіз технологій ремонту кам'яних конструкцій із тріщинами засвідчив широкий варіативний вибір технологій ремонту та підсилення, залежно від кількості тріщин, їх ширини розкриття, геометричних параметрів конструкцій тощо. Кожна із аналізованих технологій має ряд переваг та недоліків. Основними недоліками є: не відновлюють структурну цілісність кам'яної кладки; не підходять для ремонту тріщин кладки з порожнистої цегли чи керамічних блоків; збільшують вагу (обтяжують) конструкцій; не ефективні з економічної та/або технологічної точки зору.

Отже, в результаті аналітичних досліджень можна стверджувати наступне – пошук нових технологій ремонту, які дозволять швидко та надійно виконувати ремонтно-відновлювальні роботи та забезпечувати структурну цілісність конструкцій є актуальною задачею, що потребує подальшого вивчення та дослідження.

Список літератури:

1. Прядко М.В., Руднева І.М., Прядко Ю.М. Обстеження та підсилення будівельних конструкцій промислових будівель: навч. посіб.; за заг. ред. М.В. Прядко. Київ: КНУБА, 2018. 331 с.
2. Молодід О.С. Система формування конструктивно-технологічних рішень відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08. Київ: КНУБА, 2021. 38 с.
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*, 2024, 15(SI 1), 205-220. DOI: 10.36868/IJCS.2024.SI.17.
4. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. [Чинний від 2024-01-29]. Київ, 2024. (Інформація та документація).

5. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Чинний від 2017-04-01]. Київ, 2017. (Інформація та документація).
6. Клименко Є.В., Білоус І.О. Методи підсилення кам'яних конструкцій. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2014. Вип. 54. С. 153–158.
7. Коваленко О.В. Особливості відновлення та захисту бетону гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу. *Меліорація та водне господарство*. 2016. Вип. 104. С. 126–132
8. Менейлюк А.И., Петровский А.Ф., Борисов А.А. Результаты исследований инъекционной технологии защиты подземного пространства: монография. Одесса: ОГАСА, 2017. 273 с.
9. Маруха В.І., Панасюк В.В., Силованюк В.Л. Ін'єкційні технології відновлення робоздатності пошкоджених споруд тривалої експлуатації. Львів: СПОЛЮМ, 2009. 262 с.
10. Маруха В.І. Розроблення ін'єкційних полімерних матеріалів і технологій відновлення робоздатності та експлуатаційно пошкоджених бетонних і залізобетонних конструкцій: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01. Львів, 2014. 283 с.
11. Тонкачев Г.М., Шпакова Г.В., Шарапа С.П., Глущенко І.В. Технологія відновлення кам'яної кладки. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2020. Вип. 43. С. 124–133.
12. Kuzmanovic M., Delva L., Cardon L., Ragaert K. The effect of injection molding temperature on the morphology and mechanical properties of PP/PET blends and microfibrillar composites. *Polymers*, 2016, 8(10), 355. <https://doi.org/10.3390/polym8100355>
13. Molodid O.S. Study of the technology of strengthening brick walls by external reinforcement. *Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry: collective monograph*. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. P. 93–109. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-166-7/93-108>
14. He R., Sneed L. H., Belarbi A. Rapid repair of severely damaged RC columns with different damage conditions: An experimental study. *International journal of concrete structures and materials*, 2013, 7(1), 35–50. DOI:10.1007/s40069-013-0030-7
15. Савйовский В.В, Болотских О.Н. Ремонт и реконструкция гражданских зданий. Харьков: ВАТЕРПАС, 1999. 266 с.
16. Молодід О., Плохута Р., Молодід О., Мусяка І., Бендерський С. Технологічна карта на відновлення кам'яних конструкцій. К., 2023. 81 с.
17. Молодід О.С., Плохута Р. О., Колесніков В.О. Спосіб підсилення цегляних стін вуглецевими стрічками: пат. № 146155; заявл. 15.09.2020; опубл. 20.01.2021, Бюл. № 3. <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1473434/>
18. Yaqub M. Axial compressive and seismic shear performance of post-heated columns repaired with composite materials. A thesis submitted to The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy. The University of Manchester, 2010. 326 p.
19. Carolin A. Carbon fibre reinforced polymer for strengthening of structural elements. Doctoral Thesis. Division of Structural Engineering, Lulea University of Technology. Lulea, 2003. 193 p.

20. Johansson B., Thyman M. Strengthening of buildings for storey extension. Master of Science Thesis in the Master's Programme Structural Engineering and Building Technology. Chalmers University of Technology. Goteborg, 2013. 303 p.

References:

1. Pryadko, M.V., Rudneva, I.M., Pryadko, Y.M. (2018). Obstezhennya ta pidsylennya budivelnnykh konstruktsiy promyslovykh budivel [Inspection and strengthening of construction structures of industrial buildings]. Ed. M.V. Pryadko. Kyiv: KNUBA.

2. Molodid, O.S. (2021). The system of forming structural and technological solutions for restoring the operational suitability of building structures: Dr. Tech. Sciences Thesis: 05.23.08. Kyiv: KNUCA.

3. Molodid, O., Skochko, V., Plokhuta, R., Molodid, O., Musiaka, I., Benderskyi, S., Bogdan, S. (2024). Modern restoration methods for damaged historical buildings as a result of military aggression. Case of educational institutions. *International Journal of Conservation Science*, 15(SI 1), 205-220. DOI: 10.36868/IJCS.2024.SI.17.

4. DSTU 9273:2024. Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Mechanical resistance and stability. [Effective from 2024-01-29]. Kyiv, 2024.

5. DSTU B V.3.1-2:2016. Repair and strengthening of load-bearing and enclosing building structures and foundations of buildings and structures. [Effective from 2017-04-01]. Kyiv, 2017.

6. Klymenko, E.V., Bilous, I.O. (2014). Methods of strengthening stone structures. *Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture*. Issue 54. P. 153–158.

7. Kovalenko, O.V. (2016). Peculiarities of restoration and protection of concrete of hydrotechnical structures of the water management and reclamation complex. *Reclamation and water management*, 104, 126–132.

8. Meneilyuk, A.I., Petrovsky, A.F., Borisov, A.A. (2017). Results of studies of injection technology for protection of underground space. Odessa: OGASA. 273 s.

9. Marukha, V.I., Panasiuk, V.V., Silovanyuk, V.L. (2009). Injection technologies for restoring the performance of damaged structures of long-term operation. Lviv: SPOLOM. 262 p.

10. Marukha, V.I. (2014). Development of injection polymer materials and technologies for restoration of performance and operationally damaged concrete and reinforced concrete structures: Abstract of Dr. Tech. Sciences dissertation: 05.02.01. Lviv.

11. Tonkacheev, H.M., Shpakova, G.V., Sharapa, S.P., Hlushchenko, I.V. (2020). Stone masonry restoration technology. *Ways to improve the efficiency of construction in the context of market relations*, 43, 124–133.

12. Kuzmanovic, M., Delva, L., Cardon, L., Ragaert, K. (2016). The effect of injection molding temperature on the morphology and mechanical properties of PP/PET blends and microfibrillar composites. *Polymers*, 8(10), 355. <https://doi.org/10.3390/polym8100355>

13. Molodid, O.S. (2019). Study of the technology of strengthening brick walls by external reinforcement. *Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry: collective monograph*. Lviv-Toruń: Liha-Press. P. 93–109. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-166-7/93-108>

14. He, R., Sneed, L.H., Belarbi, A. (2013). Rapid repair of severely damaged RC columns with different damage conditions: An experimental study. *International journal of concrete structures and materials*, 7(1), 35–50. DOI:10.1007/s40069-013-0030-7

15. Savyovsky, V.V., Bolotskikh, O.N. (1999). Repair and reconstruction of civil buildings. Kharkov: WATERPAS. 266 s.

16. Molodid, O., Plohuta, R., Molodid, O., Musiyaka, I., Benderskyi, S. (2023). Technological map for restoration of stone structures. Kyiv.

17. Molodid, O.S., Plohuta, R.O., Kolesnikov, V.O. The method of strengthening brick walls with carbon tapes: patent No. 146155; statement 15.09.2020; published 01/20/2021, Bul. No. 3. <https://sis.ukrpatent.org/uk/seancesrch/detail/1473434/>

18. Yaqub, M. (2010). Axial compressive and seismic shear performance of post-heated columns repaired with composite materials. A thesis submitted to The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy. The University of Manchester.

19. Carolin, A. (2003). Carbon fiber reinforced polymer for strengthening of structural elements. Doctoral Thesis. Division of Structural Engineering, Lulea University of Technology. Lulea.

20. Johansson, B., Thyman, M. (2013). Strengthening of buildings for storey extension. Master of Science Thesis in the Master's Program Structural Engineering and Building Technology. Chalmers University of Technology. Gothenburg.

Oleksandr MOLODID, Ruslana PLOKHUTA, Olena MOLODID, Sergiy BENDERSKYI

Analysis of technologies for repairing cracks in stone structures

In the process of technical inspections of buildings and structures, including those damaged as a result of military operations, it was found that the main damages of stone structures are cracks of different spatial position, width of opening, depth and length. Cracks can be caused by many different factors, such as subsidence of the base, for example, due to systematic wetting as a result of damage to the drainage system, mechanical stress, temperature, humidity and weathering, etc. In recent years, a significant number of buildings and structures in Ukraine have been subjected to off-design impacts, namely explosions. In this regard, as well as taking into account other factors, there is a need to find the optimal technology for repairing cracks in stone structures, which will not only fill the crack and restore the integrity of the structures, but also improve the performance of the restored structures, provide spatial stiffness if necessary, and at the same time be relatively simple to perform and have a relatively low cost of work. According to DSTU B B.3.1-2:2016, the main technologies for repairing structures with cracks include crack injection, introduction of reinforcement elements and full or partial replacement of masonry. The article discusses the most well-known repair technologies and outlines their advantages and disadvantages. The most commonly used technology is crack patching with repair mortars. However, this technology is effective only in the case of guaranteed stabilisation of crack formation. The classical technologies for repairing and strengthening structures include crack injection with repair solutions, the installation of cages (mortar, reinforced concrete, steel, combined) and 'stitching' cracks by installing steel elements (plates, rods, channels, etc.). A new direction in the reinforcement of structures is the 'stitching' of cracks with high-strength steel rods by inserting them into the body of structures using a 'dry' or 'wet' method and external reinforcement of structures with cracks using high-strength carbon reinforcement elements (fibres, fabrics, lamellas).

Keywords: *ceramic brick, masonry; cracks; repair technologies; reinforcement; injection; waiting; repair mortars; cage; reinforcement elements; carbon fibre.*