

**Олександр МОЛОДІД,**

д-р техн. наук, професор

ORCID: 0000-0001-8781-6579

**Руслана ПЛОХУТА,**

Ph.D, доцент

ORCID: 0000-0002-3148-5376

**Олена МОЛОДІД,**

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

ORCID: 0000-0001-8211-3460

**Іван МУСІЯКА,**

аспірант, мол. наук. співроб.

ORCID: 0000-0003-0650-4413

*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*

## **АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПЕРЕКРИТТІВ**

*У результаті військових дій значна частина об'єктів будівництва пошкоджена позапроектними впливами. Серед пошкоджених конструкцій значна частина припадає на перекриття, які виконані, у тому числі, із пустотних залізобетонних плит. Відповідно до діючих нормативних документів, частина таких перекриттів підлягає відновленню. Таким чином, аналіз та виявлення найбільш раціональних та ефективних технологій відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених будівельних конструкцій, зокрема перекриттів, є актуальним завданням у наш час. У статті проаналізовано відомі класичні та нові технології ремонту та підсилення залізобетонних плит перекриття, серед яких: демонтаж плит перекриття; нанесення ремонтних розчинів на цементній основі; виконання ремонту із використанням епоксидних матеріалів; підсилення конструкцій із використанням вуглецевого чи базальтового матеріалів; класичні технології (підведення металевих розвантажувальних балок зверху (знизу), встановлення двоконсольних розвантажувальних балок, встановлення шпренгельних затяжок, створення нерозрізності балок, нарощування перерізу зверху (знизу), встановлення додаткової робочої арматури, встановлення додаткових опор). Для кожної із технологій виявлено переваги та недоліки як конструктивні, так і технологічні. За результатами аналізу встановлено те, що наявні способи направлені або на ремонт пошкоджень, або на підсилення бездефектних конструкцій. То ж, розробка нових або покращення відомих технологій комплексного відновлення експлуатаційної придатності пустотних плит є актуальною задачею.*

*Проте, зважаючи на види пошкоджень пустотних плит перекриття у наслідок позапроектних впливів, на разі потрібна нова, або удосконалена технологія комплексного їх відновлення. При цьому така технологія повинна бути конструктивно та технологічно обґрунтованою.*

**Ключові слова:** залізобетонні конструкції, відновлення, підсилення, ремонт, технологія, аналіз

**Вступ.** Нині, залізобетон один із найбільш розповсюджених будівельних матеріалів. Із нього виготовляють всі типи несучих та огорожувальних конструкцій будівель та споруд.

Його широке розповсюдження обумовлено низкою переваг, серед яких: екологічність; фізико-механічні показники, що забезпечують необхідні параметри; можливість адаптувати реологічні властивості бетонної суміші під різні умови використання; довговічність; відносно низька вартість; здатність витримувати високі температури протягом певного часу; можливість влаштування конструкцій фактично будь-якої форми; наявність великої кількості програмних комплексів та відносна простота методів розрахунку конструкцій, що виконані із бетону/залізобетону.

Однак, разом із перевагами, залізобетон не позбавлений і недоліків, до яких можна віднести: ймовірне утворення тріщин у процесі гідратації цементу та експлуатації конструкцій; значна об'ємна густина; руйнування під час тривалої дії окремих циклічних атмосферних впливів; низька міцність бетону на розтяг; руйнування від дії кислотних середовищ; при виготовленні конструкцій необхідно чітко дотримуватися технології робіт, в іншому випадку готова конструкція може мати значно гірші фізико-механічні показники у порівнянні з передбаченими у проекті; вплив зовнішніх чинників може значно погіршити властивості готової конструкції (висока, або низька температура; опади; струшування; раннє розпалублення та ін.)

Сукупно, вищенаведені недоліки, призводять до утворення пошкоджень у процесі експлуатації таких конструкцій. Додатковим чинником, що може зменшити термін експлуатації є дефекти конструкцій, що утворилися у процесі їх виготовлення.

Також, у наш час, надзвичайно актуальним питанням є відновлення пошкоджених будівельних конструкцій, внаслідок бойових дій. З аналізу пошкоджень будівельних конструкцій набутих у наслідок бойових дій [1] встановлено, що найбільше пошкоджені огорожувальні конструкції (з цегли, газобетонних блоків, бутону). На другому місці за обсягами пошкоджень є конструкції перекриттів (залізобетонні, по металевих та по дерев'яних балках). Слід зазначити, що основна частка (більше 90 %) перекриттів виконані зі збірних залізобетонних круглопустотних плит.

До пошкоджень залізобетонних плит перекриття, які виникають внаслідок впливів від бойових дій можна віднести: погіршення фізико-механічних характеристик матеріалів з яких виготовлені плити внаслідок дії високої температури чи вогню; утворення отворів; перебивання арматурних елементів; випадання/руйнування тіла елементів; падіння на перекриття вищерозташованих елементів; динамічні впливи.

Усі перелічені чинники, разом із великим розповсюдженням таких будівельних конструкцій як пустотні плити перекриття підсилює актуальність у необхідності науковообґрунтованих досліджень направлених на відновлення їх експлуатаційної придатності.

#### **Постановка задачі.**

У вітчизняній будівельній практиці користуються нормативним документом, який регламентує проектування, виконання та приймання робіт із підсилення

несучих і огорожувальних конструкцій [2]. Натомість європейська будівельна галузь використовує норматив [3], в якому надано та структуровано матеріали і системи, які використовуються для ремонту та захисту бетонних (залізобетонних) конструкцій.

Ремонт залізобетонних конструкцій згідно нормативи пропонують виконувати наступними методами: нанесення ремонтних сумішей; влаштування монолітної сорочки; нанесення торкрет-бетону.

При цьому, у зазначених нормативних документах досить розгорнуто викладені питання щодо підсилення конструкцій. Зокрема, у якості методів підсилення перекриттів нормативні документи рекомендують наступні: збільшення робочого перерізу; встановлення у швах між плитами (для збірних конструкцій) сталевих балок зі стяжними болтами; встановлення додаткових опор; встановлення шпренгельних затяжок; встановлення додаткової арматури із подальшим замонолічуванням; тощо.

Кожен із зазначених способів ремонту та/або підсилення є класичним та має свою обмежену область застосування, зокрема такі рішення забезпечують або ремонт, або підсилення будівельних конструкцій, однак, відсутні комплексні рішення, які направлені на відновлення конструкцій, у тому числі і структурному ремонту, особливо таких, що пошкоджені у наслідок бойових дій.

Саме тому, зважаючи на актуальність потреби у відновленні залізобетонних конструкцій перекриттів пошкоджених унаслідок бойових дій та інших позапроектних впливів, а також відсутність таких науковообґрунтованих комплексних рішень, необхідно виконати пошук та аналіз рішень для відновлення їх експлуатаційної придатності.

**Основна частина.** Дослідженням методів, або способів з відновлення експлуатаційної придатності конструкцій перекриттів займалися вітчизняні та закордонні вчені.

С.І. Біликом та Г.М. Тонкачевим у статті [4] була запропонована технологія заміни перекриттів, яка може використовуватися при реконструкції будівель, чи необхідності заміни плит перекриття через пошкодження внаслідок позапроектних впливів. Технологія полягає у встановленні переносних тумб під плиту, що підлягає розбиранню, із попереднім демонтажем опоряджувальних шарів. Технологічна схема виконання робіт та принципове рішення наведені на рис. 1.

Після застосування даної технології демонтажу пролітних конструкцій влаштовують нові монолітні плитні плити, які мають необхідні фізико-механічні характеристики і здатні сприймати запроєктоване навантаження. Наведена технологія чудово підходить для демонтажу конструкцій, що вже не підлягають відновленню, та не підходить для конструкцій, які можна відновити.

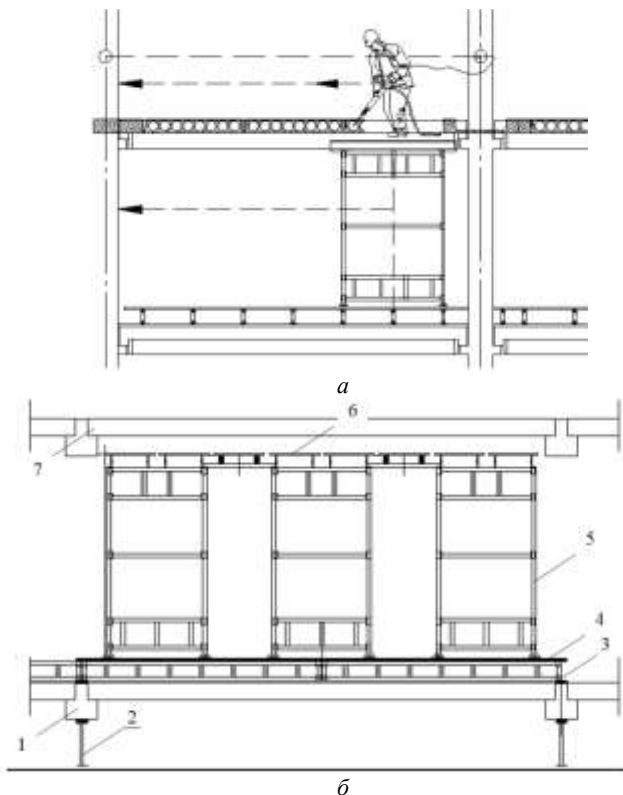


Рис. 1. Технологічна та принципова схеми виконання робіт з демонтажу плит з використанням тумб

У своїй статті N. Antoine та ін. [5] експериментальним шляхом досліджували ремонт залізобетонних балок із значними пошкодженнями шляхом нанесення високоміцного розчину з сталеву фібру, або без неї. Для проведення досліджень було взято чотири залізобетонні балки довжиною 2 метри та з перерізом 200×300 мм, які були попередньо навантажені до їх руйнування. В подальшому ці балки було відремонтовано шляхом нанесення високоміцного безусадочного ремонтного розчину на поверхню балок з додаванням сталеву фібру, або без неї. Сталева фібра додавалася для потенційного покращення фізико-механічних характеристик ремонтного розчину. Таким чином фактично, створювали сорочку по периметру пошкоджених балок (рис. 2). На окремі балки ремонтний розчин наносили з 4-х сторін, на інші ж з 3-х. Окрім того, окремі ремонтні розчини мали у своєму складі звичайний заповнювач, інші ж – заповнювач повторного використання.



Рис. 2. Зовнішній вигляд балки після нанесення ремонтного розчину

Відповідно до результатів проведених досліджень, для всіх чотирьох експериментів, несуча здатність окремих балок підвищилася на 50 %, порівняно із першопочатковими даними. Окрім того встановлено, що додавання заповнювача повторного використання до ремонтного розчину не вплинуло на несучу здатність відремонтованих балок. Також встановлено, що додавання сталеві фібри підвищило жорсткість балок та збільшило навантаження, при якому почали з'являтися тріщини на поверхні ремонтного розчину, окрім того, додавання такої фібри дозволило підвищити опір балок поперечній силі.

Таким чином, можна стверджувати, що підсилення залізобетонних конструкцій створенням тонкошарової монолітної сорочки із використанням високоміцних ремонтних сумішей дозволяє відновити несучу здатність залізобетонних балок, що зазнали значних пошкоджень. Така технологія дозволяє виконати комплексне відновлення конструкцій включно з їх ремонтом та підсиленням. Серед недоліків можна виокремити неможливість виконання ремонту пустотних плит у випадку їх суттєвих пошкоджень, наприклад втрати частини тіла, чи наносити на термічно-пошкоджене тіло бетону. Окрім того, дана технологія не передбачає встановлення додаткового армування, що є необхідним через можливі пошкодження існуючого армування.

Іншою можливою технологією відновлення пошкоджених бетонних конструкцій на думку А. Puskas, О. Corbu, Sz.A. Köllő є нанесення трикомпонентної епоксидної системи [6]. Дана технологія призначена для ремонту сколів, каверн та інших дефектів поверхні залізобетонних конструкцій.

Тестування даної епоксидної системи відбувалося на бетонних кубиках, для яких спеціально було утворено нерівності поверхні (рис. 3). Міцність бетону кубиків становила близько 30 МПа. Перед початком досліджень, їх витримання протягом 28 діб у вологонасиченому середовищі для набору міцності, для них було відновлено геометрію із використанням вищезгаданої трикомпонентної епоксидної системи. Після відновлення кожен із кубиків мав розміри 150×150×150 мм, для них було витримано перерву в 24 години для полімеризації системи. Відразу після чого було визначено міцність виготовлених зразків шляхом їх стискання пресом. За результатами випробування кубиків отримано середнє значення міцності на стиск близько 38.4 МПа.



Рис. 3. Зовнішній вигляд зразків, для яких проводили відновлення

Модуль пружності зразків визначали на балочках розмірами 100×100×300 мм, цілком виконаних із епоксидної системи. Відповідно до результатів досліджень, середнє значення модуля пружності склало 4,42 ГПа.

Таким чином, за результатами експериментальних досліджень, дана полімерна композиція мала значення фізико-механічних показників вищі, ніж бетон класу С25/30. Крім того, у статті йде мова, що дана технологія має наступні переваги: рідка консистенція, самовирівнювання, безусадковіть, висока міцність, відсутність старіння, хімічна стійкість, можливість експлуатації при температурах від -40 до +160 °С, тощо. Однак, незважаючи на ряд переваг, таке рішення не доцільно застосовувати для ремонту залізобетонних конструкцій, що мають значні руйнування тіла бетону (потребують встановлення незійомної опалубки, що підвищує вартість та тривалість робіт). Окрім того, епоксидні матеріали складні в роботі, схильні до крихкості при низьких температурах та мають порівняно високу вартість. Іншим фактором, що обмежує застосування епоксидних систем є низька термо-/вогнестійкість, що потребує виконання додаткових заходів з мінімізації даного недоліку, наприклад методом наведеним далі [7] (рис. 4).

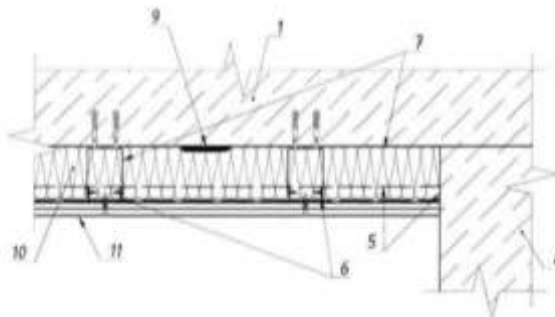


Рис. 4. Гіпсокартонна система, що дозволяє підвищити термо-/вогнестійкість систем, у які входять компоненти з низькою вогне- та термостійкістю

Дане рішення дозволяє шляхом влаштування гіпсокартонної системи із мінераловатним утеплювачем над системою, у яку входить клей з низькою вогне-та термостійкістю, підвищити термо-/вогнестійкість таких конструкцій, однак суттєво підвищує вартість робіт із відновлення чи відновлення, а також суттєво збільшує вартість, трудомісткість та тривалість робіт по ремонту конструкцій. Необхідно відмітити, що така гіпсокартонна система ще й додатково навантажує конструкцію перекриття, що є небажаним.

Крім ремонту залізобетонних конструкцій необхідно відмітити і конструктивно-технологічні рішення, які покликані підвищити несучу здатність прольотних згинних залізобетонних елементів. До таких рішень, наприклад, можна віднести виробу компанії Marei. Зокрема ламелі CarboPlate, тканина MareWrap та сітка Marigrd, які призначені для підсилення залізобетонних конструкцій [8]. Ці матеріали мають різний вигляд та властивості, але однакове призначення: вони наклеюються на елементи, що потребують підсилення, за допомогою високоміцних клеїв на епоксидній основі. Після наклеювання елементи підсилення частково сприймають зусилля, що діють в елементі, тим самим збільшуючи несучу здатність елементу.

Схожі рішення є і в інших виробників, наприклад Sika, яка у своїй лінійці матеріалів для підсилення, так само, як і компанія Marei, має матеріали для підсилення на основі вуглецю: ламелі CarboDur [9] та волокно SikaWrap [10]. Принцип застосування цих матеріалів не відрізняється від попереднього розглянутого виробника, різняться лише їх фізико-механічні характеристики.

Підтвердженням ефективності відновлення експлуатаційної придатності з використанням вуглецевих матеріалів є стаття [11] у якій наводяться результати експериментальних досліджень відновлення несучої здатності залізобетонних плит перекриття, які були пошкоджені температурним впливом 600°C протягом 2 годин. Після виконання підсилення такої плити із використання вуглецевих матеріалів було досягнуто підвищення несучої здатності до 158% першопочаткової несучої здатності та до 319% у збільшенні жорсткості елемента перекриття.

Значною перевагою даної технології є швидкість робіт з влаштування елементів підсилення, і, як наслідок, низька трудомісткість.

Недоліком застосування такого рішення є можливість виконання ремонту перед наклеюванням лише незначних дефектів чи пошкоджень будівельних конструкцій, висока вартість матеріалів та низька термо-/вогнестійкість через використання клеїв на епоксидній основі. Тому, у випадку використання зазначеної технології необхідно вживати додаткових заходів із підвищення термо-/вогнестійкості конструкцій підсилення.

За [12], підсилення згинних прольотних залізобетонних елементів можливе із використанням скловолокна чи сталевих пластин, які приклеюють до нижньої (розтягнутої) зони балок із використанням епоксидних клеїв. В межах експерименту виготовили 5 серій зразків залізобетонних балок, для яких: серія 1 – контрольна, для якої не виконувалося підсилення; серія 2 – підсилення скловолокном; серії 3 – 5 підсиленням сталевими пластинами, для яких відрізнялися умови анкерування пластин.

За результатами проведених експериментальних досліджень, було досягнуто суттєвого збільшення руйнівного навантаження для підсиленних балок: для балки, підсиленої скловолокном (серія 2) – 300,4%; для балок, підсиленних сталевими пластинами (серія 3–5), залежно від варіантів їх анкерування, від 356,5 до 408,5%.

Таким чином, даний метод дозволяє суттєво підвищити несучу здатність згинних залізобетонних елементів при низькій трудомісткості та тривалості виконання робіт із підсилення. Однак, за рядом ознак такі методи не задовольняють потреби у відновленні пустотних плит перекриття за критеріями, що і для методу, описаного в [11].

Також питанням відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних плит займалися Wan-Yang Gao та інші. Вони у своїй науковій публікації [13], експериментальним шляхом досліджували можливість виконання підсилення плити пошкодженої в наслідок дії температури/вогню шляхом її торкретування з базальтовою тканиною. Суть такого підсилення полягає у нанесенні торкрет бетону на поверхню підсилюваної конструкції, яка армується базальтовим волокном. Саме по собі базальтове волокно стійке до хімічних впливів та має порівняно із вуглецевими матеріалами невисоку вартість. Також, за фізико-механічними показниками перевершує показники скловолокна, яке теж застосовується для підсилення будівельних конструкцій.

Відповідно до результатів досліджень, для плит перекриття, які були пошкоджені в результаті дії вогню вдалося досягти збільшення несучої здатності від 69% до 183%, порівняно із непошкодженими плитами.

До недоліків такого рішення варто віднести недоцільність виконання торкретування при незначних обсягах робіт, а також необхідність виконання комплексу робіт із усунування наявних наскрізних пошкоджень конструкцій перекриття, які є частими при дії значних температур та вогню. Перевагами даного способу є порівняно невисока вартість матеріалів підсилення, яка поєднується із суттєвим збільшенням несучої здатності конструкцій перекриття після влаштування підсилення.

До класичних технологій збільшення несучої здатності, які у тому числі наведені у нормативній документації, за [14, 15] належать: підведення металевих розвантажувальних балок зверху (знизу) (рис. 5а); встановлення двоконсольних розвантажувальних балок (рис. 5б); встановлення шпренгельних затяжок (рис. 5в); створення нерозрізності балок (рис. 5г); нарощування перерізу зверху (знизу) (рис. 5д); встановлення додаткової робочої арматури (рис. 5е); встановлення додаткових опор, тощо.

Зазначені методи апробовані на великій кількості об'єктів і успішно довели свою ефективність, однак, відповідно до [16], мають ряд недоліків, серед яких зміна габаритно-просторових показників будівлі, для яких проводиться підсилення, значна трудомісткість та тривалість виконання робіт із підсилення, а також, дані способи не дозволяють проводити ремонт пошкоджень конструкцій. До переваг зазначених технологій можна віднести порівняно низьку вартість матеріалів підсилення.



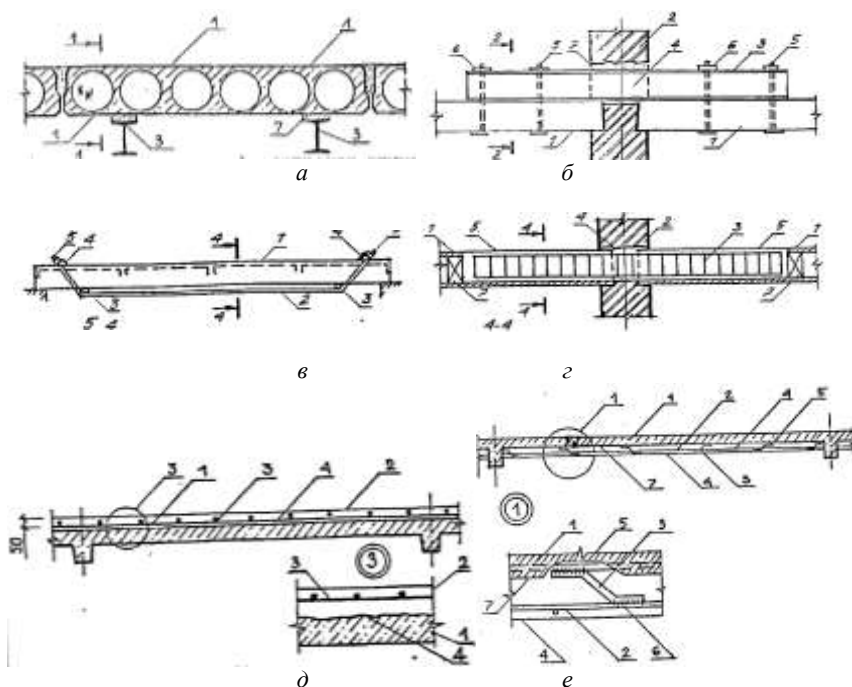


Рис. 5. Класичні технології підсилення конструкцій перекриттів

Іншим можливим способом виконання ремонту пошкоджених залізобетонних пролітних конструкцій за [17, 18] є відновлення захисного шару шляхом вкладання ремонтної суміші в опалубку. Суть технології полягає у підготовці пошкодженого тіла залізобетонних конструкцій, встановленні опалубки та вкладанні високотекучої ремонтної суміші. Даний спосіб може бути застосований як для ремонту нижніх, так і для ремонту бічних чи верхніх поверхонь залізобетонних елементів. Для встановлення ефективності такого способу ремонту, його розробниками було проведено експериментальні дослідження (рис. 6).



Рис. 6. Експериментальні дослідження способу відновлення захисного шару залізобетонних конструкцій

За результатами експериментальних досліджень, зокрема лабораторних та напівнатурних експериментів було підтверджено ефективність даного методу, зокрема новий бетон має високі показники зчеплення із тілом пошкодженої конструкції, що дозволяє йому забезпечити спільну роботу. Крім того, вдалося досягти збільшення несучої здатності конструкцій при застосуванні даної технології.

До переваг даного способу можна віднести можливість виконання ремонту та підсилення водночас, порівняно невисока вартість матеріалів. Серед недоліків, необхідно виокремити неможливість її застосування для ремонту пустотних плит перекриття, при втраті тіла нижньої поверхні плити.

**Висновки.** Таким чином, відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій перекриттів є актуальним завданням, вирішенням якого займається значна кількість вчених по всьому світу. Аналізом літератури встановлено, що існує ряд способів відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій перекриттів, однак, наведені способи неуніверсальні і направлені або на ремонт пошкоджень, або на підсилення бездефектних конструкцій. То ж, розробка нових або покращення відомих технологій комплексного відновлення експлуатаційної придатності пустотних плит є актуальною задачею. Нова, або удосконалена технологія повинна враховувати як технічні вимоги до відновлених конструкцій, так і економічні аспекти, зокрема вартість матеріалів, тривалість та трудомісткість робіт. Таке рішення повинне бути адаптивним і дозволяти підлаштовуватися під особливості конструкцій, відновлення яких проводиться.

#### *Список літератури:*

1. Molodid O.S., Kovalchuk O.Yu., Skochko V.I., Plokhuta R.O., Molodid O.O., Musiiaka I.V. Inspection of war-damaged buildings and structures by the example of urban settlement borodianka. *Опір матеріалів і теорія споруд*. 2023. № 110. С. 328-343. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.328-343
2. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Чинний від 2017-04-02]. Київ: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2016. 68 с.
3. EN 1504 «Product and system for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality, control and evaluation of conformity». Was approved by CEN on 27 June 2005. 214 s .
4. Білік С.І., Тонкачєв Г.М. Видалення збірних плит перекриття в каркасних будівлях. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2018, №2. С. 67–72. DOI: 10.32347/2522-4182.2.2018.67-72.
5. Gergess A., Shabab M., Massouh R. Repair of severely damaged reinforced concrete beams with high-strength cementitious grout. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2020, 2674(5):036119812091911. DOI: 10.1177/0361198120919116.
6. Puskas A., Corbu O., Köllő S. Testing on concrete surface repair with tri component epoxy resin system. 2017, P. 245-250.
7. Спосіб влаштування вогне- та термозахисту конструкцій, що підсилені зовнішнім армуванням, приклеєним на клей з низькою вогне- та термостійкістю:

пат. № 149375 Україна: E04B1/94. № u202103628, заявл. 24.06.2021, опубл. 10.11.2021, бюл. № 45/2021, 3 с.

8. Structural strengthening manual. Cutting-edge systems and solutions for the repair and static / seismic upgrading of buildings using fibre reinforced composites. URL: <https://files.brintex.com/Occurrence/358/Brochure/10584/brochure.pdf>

9. Бейнер А. SikaCarboDur System: Технологічний регламент. 2-ге вид. 2014. 16 с.

10. Бейнер А. SikaWrap: Технологічний регламент. Сухий спосіб монтажу. 2-ге вид. 2013. 16 с.

11. Haddad R., AL-Mekhlafy N., Ashteyat A. Repair of heat-damaged reinforced concrete slabs using fibrous composite materials. *Construction and Building Materials*. 2011, 25(3): 1213-1221. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.09.033

12. Савйовський В.В., Молодід О.С., Малець Н.О. Підсилення залізобетонних балочних конструкцій зовнішнім армуванням. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 29. С. 198-203.

13. Wan-Yang G., Ke-Xu H., Jian-Guo D., Kun D., Ke-Quan Y., Li-Jing F. Repair of fire-damaged RC slabs with basalt fabric-reinforced shotcrete. *Construction and Building Materials*. 2018, Volume 185, P. 79-92. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.043

14. Савйовський В.В. Реконструкція будівель і споруд: навч. посіб. Київ: Ліра-К, 2020. 320 с.

15. Обстеження та підсилення будівельних конструкцій промислових будівель: навч. посіб. / Прядко М.В., Руднева І.М., Прядко Ю.М.; за заг. ред. М.В. Прядко. Київ: КНУБА, 2018. 331 с.

16. Молодід О.С. Система формування конструктивно-технологічних рішень відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.23.08. Київ: КНУБА, 2021. 38 с.

17. Шарикіна Н.В. Технологія відновлення захисного шару залізобетонних конструкцій: дис. ... д-ра філософії: 192 «Будівництво та цивільна інженерія. Київ: КНУБА, 2023. 190 с.

18. Molodid O., Sharykina N., Plokhuta R., Molodid O., Musiaka I. Research of restoration technology of the clear cover of reinforced concrete structures. *Journal of Technology*, 2023, Volume 38, Issue 4, P. 243-251.

### **References:**

1. Molodid, O.S., Kovalchuk, O.Yu., Skochko, V.I., Plokhuta, R.O., Molodid, O.O., Musiaka, I.V. (2023). Inspection of war-damaged buildings and structures by the example of urban settlement borodianka. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 110, 328-343. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.328-343

2. DSTU B V.3.1-2:2016: Repair and strengthening of load-bearing and enclosing building structures and foundations of buildings and structures [Remont i pidsylennya nesuchykh i ohorodzuval'nykh budivel'nykh konstruktсий ta osnov budivel' i sporud]. (2016). State Standards of Ukraine. State Research Institute of Building Constructions.

3. EN 1504 «Product and system for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality, control and evaluation of conformity». Was approved by CEN on 27 June 2005. 214 s .

4. Bilyk, S.I., Tonkacheiev, H.N. (2018). Removing precast slab ceilings in frame buildings. *Building constructions. Theory and practice*, 2, 67–72. DOI: 10.32347/2522-4182.2.2018.67-72.

5. Gergess, A., Shabab, M., Massouh, R. (2020). Repair of severely damaged reinforced concrete beams with high-strength cementitious grout. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2674(5):036119812091911. DOI: 10.1177/0361198120919116.
6. Puskas, A. & Corbu, O. & Köllő, Sz. (2017). Testing on concrete surface repair with tri component epoxy resin system. 245-250.
7. Molodid O., Plokhuta R. (2021, June 24). A method for arranging fire and thermal protection of structures reinforced with external reinforcement glued with a low fire and heat resistance adhesive: Patent No. 149375 Ukraine: E04B1/94. No. u202103628, publ. 10.11.2021, bull. No. 45/2021, 3 p.
8. Structural strengthening manual. Cutting-edge systems and solutions for the repair and static / seismic upgrading of buildings using fibre reinforced composites, from <https://files.brintex.com/Occurrence/358/Brochure/10584/brochure.pdf>
9. Beiner, A. (2014). SikaCarboDur System: Technological regulation. 2nd edition. 16 p.
10. Beiner, A. (2013). SikaWrap: Technological regulations. Dry installation method. 2nd edition. 16 p.
11. Haddad, R., AL-Mekhlafy, N., Ashteyat, A. (2011). Repair of heat-damaged reinforced concrete slabs using fibrous composite materials. *Construction and Building Materials*, 25(3): 1213-1221. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.09.033
12. Savyovskyi, V., Molodid, O., & Malets, O. (2017). Amplification of beam constructions made of reinforced concrete with external reinforcement. *Management of Development of Complex Systems*, 29, 198 – 203.
13. Wan-Yang, G., Ke-Xu, H., Jian-Guo, D., Kun, D., Ke-Quan, Y., Li-Jing, F. (2018). Repair of fire-damaged RC slabs with basalt fabric-reinforced shotcrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 185, P. 79-92. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.043
14. Savyovskyi, V.V. (2020). *Reconstruction of buildings and structures* [Rekonstruktsiya budivel' i sporud]. Lira-K.
15. Pryadko, M.V., Rudnieva, I.M., & Pryadko, Yu.M. (2018). *Inspection and strengthening of building structures of industrial buildings* [Obstezhennya ta pidsvlennya budivel'nykh konstruktsiy promyslovykh budivel]. KNUBA.
16. Molodid, O.S. (2021). *The system of forming structural and technological solutions for restoring the operational suitability of building structures* [Systema formuvannya konstruktyvno-tehnolohichnykh rishen' vidnovlennya ekspluatatsiynoyi prydatnosti budivel'nykh konstruktsiy]: autoref. thesis for obtaining sciences. degree of Dr. Tech. Sciences: 05.23.08. Kyiv: KNUBA. 38 p.
17. Sharykina, N. V. (2023). *Technology of restoration of the protective layer of reinforced concrete structures* [Tekhnolohiya vidnovlennya zakhysnoho шару zalizobetonnykh konstruktsiy]: dissertation doctor of philosophy: 192 "Construction and civil engineering. Kyiv: KNUBA. 190 p.
18. Molodid, O., Sharykina, N., Plokhuta, R., Molodid, O., Musiaka, I. (2023). Research of restoration technology of the clear cover of reinforced concrete structures. *Journal of Technology*, Volume 38, Issue 4, P. 243-251.

**Oleksandr MOLODID, Ruslana PLOKHUTA, Olena MOLODID, Ivan MUSIIAKA**

***Analysis of technologies for restoring the serviceability of reinforced concrete ceiling structures***

*As a result of military operations, a significant part of construction objects was damaged by off-design impacts. Among the damaged structures, a significant proportion is accounted for ceiling. In our case, majority of ceilings are made of hollow-core reinforced concrete slabs. According to the current regulatory documents, some of these ceilings are subject to restoration. Therefore, the analysis and identification of the most rational and effective technologies for restoring the operational suitability of damaged building structures, in particular, ceilings, is an urgent task today. The article analyzes the known classical and new technologies for repairing and strengthening reinforced concrete slabs, including: dismantling damaged slab and following production of the plate in-place; applying cement-based repair mortars; repairing with epoxy materials; strengthening structures with carbon or basalt materials; classical technologies (bringing metal unloading beams from above (below), installing double-cantilever unloading beams, installing tie bars, creating indistinguishability of beams, building up the beams, etc.). The advantages and disadvantages of each of the technologies, both structural and technological, were identified. The analysis shows that the existing methods are aimed either at repairing damage or at strengthening defect-free structures. Therefore, the development of new or improvement of known technologies for the comprehensive restoration of hollow core slabs is an urgent task. However, taking into account the types of damage to hollow-core slabs as a result of off-design impacts, a new or improved technology for their comprehensive restoration is currently needed. At the same time, such a technology should be structurally and technologically reasoned.*

***Keywords: reinforced concrete structures, restoration, strengthening, repair, technology, analysis.***