

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

МУСІЯКА ІВАН ВІКТОРОВИЧ

УДК 69.059.25:624.073

ДИСЕРТАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ
ПУСТОТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ

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

І. В. Мусіяка

(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

Мусяка І.В. Технологія відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит. - 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 та архітектури (КНУБА) України, Київ, 2026.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню задачі відновлення функціональної придатності пошкоджених залізобетонних пустотних плит. Дана задача вирішується шляхом переопирання пошкоджених (аварійних) конструкцій на окремі опорні стійки або столи; встановлення опалубки (за потреби); очищення конструкції від пилу бруду та пошкоджених частин; влаштування штроб та отворів вздовж порожнин плити; підготовкою внутрішньої поверхні тіла плити; монтажем у порожнини додаткової арматури; заповнення їх високотекучою самоущільнювальною бетонною сумішшю.

Аналіз наукових джерел показав, що у будівельній практиці комплексного рішення для відновлення пошкоджених залізобетонних пустотних плит (у тому числі й таких, що мають значні структурні пошкодження, через які повністю чи частково втрачено несучу здатність) не існує.

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

У **першому розділі** виконано аналіз стану наукових досліджень з тематики відновлення функціональної придатності конструкцій. За результатами аналізу зроблено висновок про те, що всі дослідження спрямовані на ремонт або підсилення будівельних конструкцій, а методів які б дозволяли комплексно відновити функціональну придатність пошкодженої (утому числі значно) плити не виявлено. У зв'язку із цим, запропоновано робочу гіпотезу – відновлення

функціональної придатності пошкоджених залізобетонних пустотних плит можливе, шляхом: переопирання пошкоджених (аварійних) конструкцій на окремі опорні стійки або столи; встановлення опалубки (за потреби); очищення конструкції від пилу бруду та пошкоджених частин; влаштування штроб та отворів вздовж порожнин плити; підготовкою внутрішньої поверхні тіла плити; монтажем у порожнини додаткової арматури; заповнення їх високотекучою самоущільнювальною бетонною сумішшю.

Насамперед було проведено аналіз науково-технічної літератури з метою виявлення чинників, що призводять до погіршення технічного стану конструкцій та досліджено конструктивно-технологічні чинники, які впливають на якісні показники відновлення плит та можуть сформувати технологію відновлення функціональної придатності залізобетонних плит. З-поміж яких виокремлено найважливіші для подальших досліджень. До таких чинників віднесено наявність робочого шва бетонування; усадка бетонної суміші; підготовка основи; легкоукладальність; спосіб розподілення.

У **другому розділі** розроблено загальну методику досліджень. У її основу покладено завдання виконати комплекс теоретичних та експериментальних досліджень, які дозволять сформувати технологію відновлення функціональної придатності пустотних плит. Зокрема наведено методи експериментальних досліджень виявлених технологічних чинників, які безпосередньо впливають на якісні показники відновленої конструкції та на формування самої технології. Передбачено, що дослідження кожного окремого чинника виконуватиметься у лабораторних умовах на модельних стендах, що імітують реальні умови. Зважаючи на необхідність перевірки коректності прийнятих технологічних рішень в умовах, близьких до реального будівельного майданчику, у межах методики також заплановано проведення натурних експериментальних досліджень із визначення ефективності технології.

Третій розділ присвячено дослідженню технології відновлення функціональної придатності пустотних плит. Для цього проведено серії

лабораторних та натурних експериментальних досліджень. У межах лабораторних досліджень встановлено вплив наступних чинників на якісні показники відновленої конструкції: консистенція бетонної суміші; спосіб розподілення бетонної суміші; підготовка контактної поверхні.

На першому етапі експериментальних досліджень виявлено, що підвищення легкоукладальності бетонної суміші веде до збільшення довжини її розповсюдження всередині порожнин плити. В результаті аналізу отриманих залежностей зроблено висновок, що для заповнення порожнин плити рекомендовано використовувати спеціально розроблену бетонну суміш із розпливом конуса 810 мм та маркою консистенції F6. Вона дозволяє досягнути розподілення суміші всередині плити на довжину в 200 см.

Окрім того, на першому етапі виявили вплив способів розподілення бетонної суміші на її розповсюдження по довжині макету порожнини. За результатами експерименту встановлено, що використання окремих методів розподілення дозволили підвищити заповнення перерізу порожнини з 70 % (для контрольного експерименту без використання способів розподілення) до 90 – 91 % для проштовхування та вібрування відповідно, на відстані в 200 см від місця вкладання бетонної суміші. Зважаючи на одержані дані було удосконалено методику заповнення порожнин таким чином, що у найвіддаленішій точці від місця подавання суміші, влаштувати отвір діаметром 50-80 мм, через який подати невеликий обсяг суміші для остаточного заповнення порожнини (за необхідності).

На другому етапі експериментальних досліджень визначили усадку обраної бетонної суміші. Вона становить 0,39 %. Це дало можливість зробити висновок, що використання даної бетонної суміші забезпечить спільну роботу елементів відновлення з існуючим бетоном плити, завдяки властивості суміші зберігати свої геометричні розміри.

На третьому етапі лабораторних досліджень встановлено залежності впливу способів підготовки основи на міцність зчеплення шарів бетону. За результатами експериментальних досліджень, рекомендовано застосування лише тих способів,

при яких розрив при визначенні міцності зчеплення був когезивним. З поміж таких методів підготовки основи наступні: механічна обробка, знепилення та зволоження (міцність зчеплення 2,4 МПа), механічна обробка та знепилення (міцність зчеплення 2,39 МПа), знепилення із нанесенні суміші Marefer 1k (міцність зчеплення 1,85 МПа), механічна обробка у поєднанні із знепиленням і нанесенням суміші Marefer 1k (міцність зчеплення 2,05 МПа).

На четвертому етапі проводили натурні дослідження, серед яких: дослідження ефективності запропонованої та дослідженої технології відновлення функціональної придатності пустотних плит; встановлення ефективності застосування зовнішнього підсилення розтягнутої зони залізобетонної пустотної плити для зменшення її прогинів у процесі експлуатації; дослідження ефективності заповнення порожнин плити в межах приопорних зон як підсилення на дію поперечної сили.

Аналіз результатів натурних досліджень підтверджує ефективність технології відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит. Зокрема, вдалося відновити функціональну придатність пустотної плити із суттєвими структурними пошкодженнями і при цьому підвищити її несучу здатність у понад 1,7 рази. Окрім того, використання вуглецевих ламелей як підсилення розтягнутої зони дозволяє збільшити жорсткість плити на 28 % і більше порівняно з новою плитою. Підсилення приопорних зон плити на дію поперечної сили дозволило збільшити несучу здатність перерізу в понад 1,93 рази.

У **четвертому розділі** остаточно сформовано технологію відновлення експлуатаційної придатності пустотних залізобетонних плит. Створено систему вибору способу відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит. Вихідними даними для якої є проведене технічне обстеження, встановлені пошкодження конструкції плит та необхідні якісні показники відновленої конструкції.

Технологія відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених пустотних залізобетонних плит складається із наступних процесів: встановлення інвентарних

стійок (або, за необхідності, опалубки); влаштування штроб; підготовки внутрішньої поверхні пустот; встановлення арматурних каркасів із подальшим заповненням порожнин високотекучою самоущільнювальною бетонною сумішшю; після набору міцності бетоном виконують демонтаж інвентарних стійок чи опалубки. Разом із тим, сформовано технологію підсилення припорних ділянок пустотних плит на дію поперечної сили. Дана технологія реалізується шляхом послідовного виконання наступних процесів: влаштування штроб в межах ділянки підсилення; влаштування пробок для попередження витікання бетонної суміші; підготовки внутрішньої поверхні порожнин; заповнення припорних ділянок порожнин бетонною сумішшю.

Досліджену технологію апробовано на двох об'єктах будівництва. Для першого об'єкту було поставлено завдання виконати відновлення 3-х попередньо напружених пустотних плит перекриття, суттєво пошкоджених внаслідок позапроектних впливів, спричинених військовими діями, що і було успішно виконано. Для другого об'єкту виникла необхідність у збільшенні навантажень на дві пустотні плити перекриття. Результати перевірочних розрахунків показали, що плита не здатна приймати навантаження без досягнення груп граничних станів. Після підсилення, плити успішно експлуатуються протягом тривалого часу. Успішні апробації є підтвердженням ефективності розробленої технології відновлення експлуатаційної придатності пустотних залізобетонних плит.

Ключові слова: технологія; дослідження; залежності; експерименти; залізобетонні конструкції; пустотні плити; дефекти та пошкодження; позапроектні впливи; функціональна придатність; технологічні чинники; відновлення функціональної придатності.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

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

1. Молодід О., Поколенко В., Молодід О., Плохута Р., Мусіяка І., Діагностика експлуатаційної придатності будівельних конструкцій як передумова продовження їх життєвого циклу. *Будівельне виробництво*. 2021. № 71. С. 21 – 27. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.71.21-27> (фахове видання категорії «Б»).

Особисто автором проведено аналіз сучасного обладнання та методів проведення технічного обстеження будівель та споруд.

2. Molodid O., Kovalchuk O., Skochko V., Plokhuta R., Molodid O., Musiiaka I. Inspection of war-damaged buildings and structures by the example of urban settlement Borodianka. *Onir матеріалів і теорія споруд /Strength of Materials and Theory of Structures*. 2023. № 110. P. 328 – 343. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.328-343> (стаття входить у базу даних *Web of Science*).

Особисто автором виконано виокремлення та систематизацію позапроектних впливів на будівельні конструкції.

3. 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. Volume 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 проаналізовано наявні дефекти та пошкодження будівельних конструкцій і на основі глибокого всестороннього їх аналізу надано рекомендації на виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

4. 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. Volume 15, SI, P. 205-220. DOI: <https://doi.org/10.36868/IJCS.2024.si.17> (стаття входить у бази даних *Scopus* та *Web of Science (Q1-Q3)*).

Особисто автором проаналізовано результати обстежень, систематизовано типові дефекти та пошкодження та надано основні технології для відновлення будівельних конструкцій після дії позапроектних впливів.

5. Молодід О., Плохута Р., Молодід О., Мусіяка І. Аналіз технологій відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій перекриттів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. №1 (54). С. 44–56. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).44-56](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).44-56). (фахове видання категорії «Б»).

Особисто автором проаналізовано відомі технології відновлення функціональної придатності залізобетонних конструкцій, зроблено висновок про їх ефективність.

6. Molodid O., Musiaka I., Bogdan S., Yashchenko Y., Hryniewicz M., Matlak B., Plokhuta R., Novak Y.. Restoration of ceilings in buildings damaged as a result of over-design impacts, while preserving the established urban environment. *International journal of conservation science*. 2025. Volume 16, Issue 3, P. 1347-1362. DOI: 10. 36868/IJCS.2025.03.08 (стаття входить у базу даних Scopus та Web of Science (Q1-Q3)).

Особисто автором виконано систематизацію дефектів та пошкоджень конструкцій перекриттів, проведено експериментальні дослідження із визначення впливу технологічних чинників на якість готової конструкції та технологію відновлення функціональної придатності плит.

7. Спосіб влаштування вогне- та термозахисту конструкцій, що підсилені зовнішнім армуванням, приклеєним на клей з низькою вогне- та термостійкістю: пат. № 149375 Україна: Е04В1/94. № u202103628, заявл. 24.06.2021, опубл. 10.11.2021, бюл. № 45/2021, 3 с.

Особисто автором розроблено конструктивно-технологічне рішення по влаштуванню вогне- термозахисної системи.

Список публікацій здобувача, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Молодід О., Плохута Р., Мусіяка І. Переваги та недоліки підсилення будівельних конструкцій зовнішнім армуванням. *Актуальні проблеми, пріоритетні*

напрямки та стратегії розвитку України: тези доп. II Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 16 червня 2021 року. С. 396-400.

Особисто автором проведено аналіз технологій підсилення зовнішнім армуванням, виокремлено переваги та недоліки.

2. Молодід О., Руднева І., Богдан С. Мусіяка І. Експериментальне дослідження підсилення металевих конструкцій зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних композитних вуглецевих матеріалів (FRP). *Актуальні питання мостового господарства та шляхи його покращення: тези доп. I Міжнародна науково-практична конференції ім. П.М. Коваля, м. Запоріжжя, 15 – 17 вересня 2021 року. С. 85-88.*

Особисто автором виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз отриманих результатів.

3. Молодід О., Богдан С., Суданський Р., Мусіяка І. Підсилення залізобетонних конструкцій зовнішнім армуванням за технологією «ТМ МАРЕІ». *Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій: тези доп. Міжнародної науково-технічної конференції, м. Одеса, 08 - 09 квітня 2021 року, С. 65-68.*

Особисто здобувачем проведено аналіз можливих рішень по підсиленню конструкцій з використанням вуглецевих матеріалів.

4. Molodid O., Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I., *Fundamentals of building restoration decisions. Innovations and prospects of world science: abstract from The 10th International scientific and practical conference, Vancouver, Canada, May 25-27, 2022, P. 907*

Особисто автором виконано аналіз відомих методів відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій.

5. Молодід О., Ковальчук О., Рашківський В., Плохута Р., Мусіяка І., *Особливості обстеження будівель та споруд, що зазнали пошкоджень внаслідок воєнних дій. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022): матеріали тез доп. XI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернігів, 26–27 травня 2022 р., Т. 2. 264 с.*

Особисто автором визначено ключові особливості проведення технічного обстеження пошкоджених будівель і споруд.

6. Молодід О., Плохута Р., Мусяка І. Аналіз можливих методів підсилення залізобетонних пустотних плит. *Build-Master-Class-2022*: тези доп. Міжнародної науково-практичної конференції для молодих вчених, м. Київ, 30 листопада - 2 грудня 2022, С. 185 – 186

Особисто автором проведено літературний пошук і виокремлено можливі методи підсилення залізобетонних пустотних плит.

7. Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I., Basic approaches to choosing technologies for restoration of damaged buildings. *2nd International Conference on Relationship between public administration and business entities management*: abstract, November 12, 2022, Tallinn.

Особисто автором виконано систематизацію технологій для відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій.

8. Молодід О., Плохута Р., Молодід О., Мусяка І., Обстеження будівель та споруд, що пошкоджені внаслідок бойових дій. *Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика*: тези доп. Міжнародного науково-технічного форуму, м.Київ, 17-18 листопада 2022, С. 112-113.

Особисто автором визначено особливості виконання обстеження будівельних конструкцій внаслідок позапроектних впливів.

9. Молодід О., Мусяка І. Теоретичне обґрунтування потреби дослідження технології відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних пустотних плит перекриття. *Наука, освіта, технології і суспільство: світові тенденції та регіональний аспект*: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції, м.Рівне, 11 січня 2023 р. Ч. 3. С. 23-24.

Особисто автором обґрунтовано потребу в дослідженні технології відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит.

10. 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. *The 15 th Edition of Euroinvent*

European Exhibition Of Creativity And Innovation. International Conference on Innovative Research EUROINVENT – ICIR, 2023, 11 - 13 May, Iasi, Romania. P. 203.

Особисто автором виконано аналіз наявних методів відновлення будівельних конструкцій та надано рекомендації щодо їх ремонту.

11. Молодід О., Мусіяка І., Бендерський С. Потреба у відновленні будівельних конструкцій пошкоджених внаслідок позапроектних впливів. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції, 25-26 травня 2023 р., м. Чернігів, Т. 2. С. 127-128.*

Особисто автором встановлено необхідність виконання відновлювальних робіт для усунення дефектів та пошкоджень будівельних конструкцій, що зазнали позапроектних впливів.

12. Молодід О., Мусіяка І. Виявлення технологічних чинників, що впливають на формування технології відновлення експлуатаційної придатності пустотних плит. *Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології: програма та тези доповідей міжнародного науково-технічного форуму, 15-16 листопада 2023 р., м.Київ, С. 131.*

Особисто автором проведено аналіз науково-технічної літератури із виокремленням конструктивно-технологічних чинників, які мають вплив на формування технології відновлення експлуатаційної придатності пустотних залізобетонних плит.

13. Молодід О., Мусіяка І. Аналіз технологій відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій перекриттів. *Архітектура, Будівництво, Дизайн : Технології, Енергетика, Менеджмент: матеріали Міжнародного науково-технічного форуму, 16 – 17 жовтня 2024, м. Київ, С.130.*

Особисто автором виконано аналіз науково-технічної літератури для пошуку ефективних технологій відновлення експлуатаційної придатності пустотних залізобетонних плит.

14. Молодід О., Мусіяка І., Богдан С., Яценко Є. Ефективність зовнішнього підсилення пустотних плит вуглецевими матеріалами (FRP). *Архітектура, Дизайн*

та Будівництво: Інноваційні технології: матеріали Міжнародного науково-технічного форуму, 24-25 листопада, 2025 р., м. Київ,

Особисто автором проведено дослідження, а також встановлено ефективність зовнішнього підсилення пустотних плит вуглецевими матеріалами.

Список публікації здобувача, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Теплоізоляція фасадів будівель системними рішеннями ThermoELF: Навчальний посібник / [уклад.: Молодід О.С.; Скочко В.І.; Кожедуб С.А.; Мусіяка І.В. та ін.], Київ : Видавництво Ліра-К, 2025. 216 с.

Особисто автором виконано аналіз існуючих рішень з утеплення фасадів, розроблено технологічні та організаційні заходи.

2. Molodid O., Reznichenko I., Plokhuta R., Musiaka I., Pressurize cavity between building structures at the facility of sewage system in Kyiv, *Civil Engineering Beyond Limits*, 1 (2023),1775. <https://doi.org/10.36937/cebel.2023.1775>. (стаття опублікована у закордонному виданні).

Особисто автором проаналізовано отримані результати досліджень на заповнення порожнин.

3. Molodid O., Plokhuta R., Musiaka I., Reznichenko I. Sealing joints between concrete elements with polyurethane material. *Reliability and durability of railway transport engineering structure and buildings*. 17–19 November 2021 Kharkiv, Ukraine. AIP Conference Proceedings 31 May 2023; 2684 (1): 040017. <https://doi.org/10.1063/5.0120368> (стаття входить у бази даних Scopus).

Особисто автором розроблено конструктивно-технологічне рішення на герметизацію примикань.

4. Молодід О., Богдан С., Мусіяка І. Експериментальні дослідження довговічності ремонтних та захисних покриттів ТМ МАПЕІ для каналізаційних колекторів. *Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур: матеріали ІХ всеукраїнського наукового семінару, м.Харків, 20-21 жовтня 2020 р. 2020. С. 32 – 34.*

Особисто автором розроблено методуку експериментальних досліджень.

5. Молодід О., Плохута Р., Корінець А., Мусіяка І. Захист від вітрового навантаження та падіння людей і предметів із висоти захисними екранами рейкової системи підйому PERI RCS P при висотному будівництві. *V Міжнародної науково-технічної конференції «Ефективні технології в будівництві» та VII Міжнародної науково-технічної конференції «Нові технології в будівництві»*: програма та тези доповідей Міжнародного науково-технічного форуму, 2020 р. – С. 98 – 100.

Особисто автором встановлено окремі техніко-економічні показники системи.

6. Molodid O., Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I. Use of the main criterion method in decision-making building renovation decisions. *International scientific innovations in human life: The 12th International scientific and practical conference, Manchester, United Kingdom, June 8-10, P. 219-222.*

Особисто автором систематизовано методи відновлення будівельних конструкцій.

7. Молодід О., Плохута Р., Мусіяка І. Технологія відновлення структурної цілісності стін із ніздрюватого бетону пошкоджених внаслідок військових дій. *Build-Master-Class-2025*: тези доп. Міжнародної науково-практичної конференції для молодих вчених, м. Київ, 26-28 листопада, 2025 р., С. 609 – 610

Особисто автором розроблено технологію відновлення структурної цілісності стін.

8. Молодід О. Мусіяка І., Резніченко В., Резніченко І. Спосіб підсилення пальових фундаментів ін'єктуванням полімерних композицій. Патент на вихід № UA 126323 від 15.09.2022 р.

Особисто автором запропоновано спосіб підсилення пальових фундаментів та проведено дослідження.

9. Молодід О., Плохута Р., Мусіяка І., Богдан С., Молодід О. Спосіб підсилення розтягнутої зони залізобетонних прогінних конструкцій, за наявності опори, високоміцними композитними вуглецевими матеріалами зі сталеву обіймою. Патент на винахід № UA 128928 від 27.11.2024

Особисто автором розроблено спосіб підсилення розтягнутої зони залізобетонних конструкцій.

ABSTRACT

Musiaka I.V. Technology for restoring the functional serviceability of hollow-core reinforced concrete slabs - qualifying scientific work on the rights of manuscript.

The dissertation for the degree of doctor of philosophy in the field of study 192 “Construction and Civil Engineering” (19 – Architecture and Construction). – Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv, 2026.

This dissertation is devoted to the problem of restoring the functional serviceability of reinforced concrete hollow-core slabs. This problem is addressed by: re-supporting damaged structures on individual support stands or tables; installing formwork (if necessary); cleaning the structure from dust, dirt, and damaged areas; cutting grooves and openings along the slab cavities; preparing the inner surface of the slab; installing additional reinforcement in the cavities; and filling them with a high-flow, self-compacting concrete mix.

An analysis of scientific literature has shown that, in construction practice, there is no comprehensive solution for the restoration of damaged reinforced concrete hollow-core slabs (including those with significant structural damage that has resulted in a complete or partial loss of load-bearing capacity).

The **introduction** justifies the relevance of the dissertation’s chosen topic, sets forth the purpose and objectives of the work, identifies the subject and object of the study, outlines the research methods, and highlights the scientific novelty and practical significance of the findings; it also highlights the candidate’s personal contribution.

The **first chapter** analyzes the state of scientific research on the restoration of the functional serviceability of structures. Based on the results of this analysis, it was concluded that all studies focus on the repair or reinforcement of building structures, and no methods were identified that would allow for the comprehensive restoration of the functional serviceability of damaged (including severely damaged) slabs. In this regard, a working hypothesis is proposed: the restoration of the functional capacity of damaged reinforced concrete hollow-core slabs is possible by: re-supporting damaged structures on individual support stands or tables; installing formwork (if necessary); cleaning the structure from dust, dirt, and damaged areas; cutting grooves and openings along the slab

cavities; preparing the inner surface of the slab; installing additional reinforcement in the cavities; and filling them with a high-flow, self-compacting concrete mix.

First, a review of the scientific and technical literature was conducted to identify leading factors to the deterioration of the structural condition of the slabs, and structural and technological factors were investigated that influence the quality indicators of slab restoration and could form the basis for a technology to restore the functional serviceability of reinforced concrete slabs. Among these, the most important factors for further research were identified. These included: the presence of a construction joint; shrinkage of the concrete mix; contact surface preparation; workability; and the method of placement.

The **second chapter** outlines the general research methodology. It is based on the task of conducting a series of theoretical and experimental studies that will enable the development of a technology for restoring the functional serviceability of hollow-core slabs. In particular, it outlines methods for experimental studies of identified technological factors that directly influence the quality characteristics of the restored structure and the development of the technology itself. It is envisaged that the study of each individual factor will be conducted under laboratory conditions on test benches that simulate real-world conditions. Given the need to verify the correctness of the adopted technological solutions under conditions close to those of a real construction site, the methodology also includes plans to conduct field experiments to determine the technology's effectiveness.

The **third chapter** is devoted to the study of technologies for restoring the functional serviceability of hollow-core slabs. To this end, a series of laboratory and field experiments were conducted. The laboratory studies identified the influence of the following factors on the quality characteristics of the restored structure: the consistency of the concrete mix; the method of concrete placement; and the preparation of the contact surface.

In the first stage of the experimental studies, it was found that increasing the workability of the concrete mix leads to an increase in the length of its spread within the slab voids. Based on an analysis of the obtained dependencies, it was concluded that a specially developed concrete mix with a slump of 810 mm and consistency grade F6 is

recommended for filling the slab cavities. This mix allows spreading up to 200 cm within the slab.

In addition, during the first stage, the influence of concrete mixture distribution methods on its spread along the length of the cavity model was identified. The results of the experiment showed that the use of specific distribution methods increased the filling of the cavity cross-section from 70% (for the control experiment without using distribution methods) to 90–91% for pushing and vibrating, respectively, at a distance of 200 cm from the point of concrete mixture placement. Based on the obtained data, the cavity filling method was improved as follows: at the point furthest from the mixture feed location, a 50 - 80 mm diameter opening is created through which a small volume of mixture is fed to fully fill the cavity (if necessary).

In the second stage of experimental studies, the shrinkage of the selected concrete mix was determined. It amounts to 0.39%. This allowed us to conclude that the use of this concrete mix will ensure the proper interaction of the repair elements with the existing slab concrete, thanks to the mix's ability to retain its geometric dimensions.

In the third stage of laboratory studies, the dependence of the influence of contact surface preparation methods on the bond strength of concrete layers was established. Based on the results of the experimental studies, it is recommended to use only those methods in which the failure during bond strength testing was cohesive. Among these substrate preparation methods are the following: mechanical processing, dust removal, and moistening (bond strength 2.4 MPa), mechanical processing and dust removal (bond strength 2.39 MPa), dust removal combined with the application of the Mapefer 1k mixture (bond strength 1.85 MPa), and mechanical processing combined with dust removal and application of the Mapefer 1k mixture (bond strength 2.05 MPa).

In the fourth stage, field studies were conducted, including: an assessment of the effectiveness of the proposed and tested technology for restoring the functional serviceability of hollow-core slabs; determining the effectiveness of applying external reinforcement to the tension zone of a reinforced concrete hollow-core slab to reduce its deflection during operation; studying the effectiveness of filling slab voids within the support zones as reinforcement against lateral forces.

Analysis of the results of field tests confirms the effectiveness of the technology for restoring the functional serviceability of hollow-core reinforced concrete slabs. In particular, it was possible to restore the functional capacity of a hollow-core slab with significant structural damage while increasing its load-bearing capacity by more than 1.7 times. In addition, the use of carbon lamellas to reinforce the tension zone increases the slab's stiffness by 28% or more compared to a new slab. Reinforcing the slab's support zones against lateral forces increased the cross-section's load-bearing capacity by more than 1.93 times.

The **fourth chapter** finalizes the methodology for restoring the serviceability of hollow-core reinforced concrete slabs. A system has been developed for selecting the method to restore the functional serviceability of hollow-core reinforced concrete slabs. The input data for this system consists of the results of a technical inspection, identified structural damage to the slabs, and the required quality parameters of the restored structure.

The technology for restoring the serviceability of hollow-core reinforced concrete slabs consists of the following processes: installation of temporary supports (or, if necessary, formwork); cutting grooves; preparing the inner surface of the cavities; installing reinforcement cages followed by filling the voids with high-flow self-compacting concrete mix; after the concrete has gained strength, the temporary supports or formwork are dismantled. At the same time, a technology has been developed for reinforcing the support areas of hollow-core slabs against lateral forces. This technology is implemented through the sequential execution of the following processes: cutting grooves within the reinforcement area; installing plugs to prevent concrete mix leakage; preparing the inner surface of the voids; filling the load-bearing sections of the voids with concrete mix.

The technology was tested on two construction sites. For the first site, the task was to restore three prestressed hollow-core floor slabs that had been significantly damaged by non-design loads caused by military operations, which was successfully accomplished. For the second site, there was a need to increase the loads on two hollow-core floor slabs. Verification calculations showed that the slab was unable to withstand the loads without

reaching limit states. After reinforcement, the slabs have been successfully in service for an extended period. The successful testing confirms the effectiveness of the developed technology for restoring the serviceability of hollow reinforced concrete slabs.

Keywords: technology; research; dependencies; experiments; reinforced concrete structures; hollow-core slabs; defects and damages; non-design influences; serviceability; technological factors; restoration of serviceability.

LIST OF THE CANDIDATE’S PUBLICATIONS

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

1. Molodid, O., Pokolenko, V., Molodid, O., Plokhuta, R., & Musiaka, I. Diagnosis of the serviceability of building structures as a prerequisite for extending their life cycle. *Construction Industry*. 2021. No. 71. Pp. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.71.21-27> (professional publication of category “B”).

The author personally conducted an analysis of modern equipment and methods for conducting technical inspections of buildings and structures.

2. Molodid O., Kovalchuk O., Skochko V., Plokhuta R., Molodid O., Musiaka I. Inspection of war-damaged buildings and structures using the example of the urban settlement of Borodianka. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2023. No. 110. P. 328–343. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.328-343> (the article is included in the Web of Science database).

The author personally identified and systematized non-design influences on building structures.

3. Molodid O., Molodid O., Musiaka 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. Volume 14, Issue 3, pp. 955–968. DOI: [10.36868/IJCS.2023.03.11](https://doi.org/10.36868/IJCS.2023.03.11) (the article is indexed in the Scopus and Web of Science databases (Q1–Q3)).

The author personally analyzed the existing defects and damage to the building structures and, based on a thorough and comprehensive analysis, provided recommendations for carrying out repair and restoration work.

4. 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. Volume 15, SI, pp. 205–220. DOI: <https://doi.org/10.36868/IJCS.2024.si.17> (the article is included in the Scopus and Web of Science databases (Q1-Q3)).

The author personally analyzed the results of surveys, systematized typical defects and damage, and provided the main technologies for restoring building structures after exposure to non-design influences.

5. Molodid O., Plokhuta R., Molodid O., Musiaka I. Analysis of Technologies for Restoring the Serviceability of Reinforced Concrete Floor Structures. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2024. No. 1 (54). Pp. 44–56. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).44-56](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).44-56). (Professional publication, Category “B”).

The author personally analyzed known technologies for restoring the functional suitability of reinforced concrete structures and drew conclusions regarding their effectiveness.

6. Molodid O., Musiaka I., Bogdan S., Yashchenko Y., Hryniewicz M., Matlak B., Plokhuta R., Novak Y. Restoration of ceilings in buildings damaged as a result of over-design impacts, while preserving the established urban environment. *International Journal of Conservation Science*. 2025. Volume 16, Issue 3, pp. 1347–1362.

DOI: 10.36868/IJCS.2025.03.08 (the article is included in the Scopus and Web of Science databases (Q1–Q3)).

The author personally systematized defects and damage to floor slab structures and conducted experimental studies to determine the impact of technological factors on the quality of the finished structure and the technology for restoring the functional suitability of slabs.

7. Method for providing fire and thermal protection of structures reinforced with external reinforcement bonded with adhesive having low fire and thermal resistance: Patent No. 149375 Ukraine: E04B1/94. No. u202103628, filed 06/24/2021, published 11/10/2021, Bulletin No. 45/2021, 3 pp.

The author personally developed a structural and technological solution for the installation of a fire and thermal protection system.

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

1. Molodid, O., Plokhuta, R., Musiaka, I. Advantages and disadvantages of reinforcing building structures with external reinforcement. *Current Issues, Priority Areas, and Development Strategies for Ukraine: Abstracts of the II International Scientific and Practical Online Conference*, Kyiv, June 16, 2021. Pp. 396–400.

The author personally analyzed technologies for strengthening with external reinforcement and identified their advantages and disadvantages.

2. Molodid O., Rudneva I., Bohdan S., Musiaka I. Experimental study of the reinforcement of metal structures with external reinforcement by bonding high-strength carbon fiber-reinforced polymer (FRP) materials. *Current Issues in Bridge Engineering and Ways to Improve It: Abstracts of the 1st P.M. Koval International Scientific and Practical Conference*, Zaporizhzhia, September 15–17, 2021. pp. 85–88.

The author personally conducted the experimental studies and analyzed the results obtained.

3. Molodid O., Bohdan S., Sudanskyi R., Musiaka I. Strengthening of reinforced concrete structures by external reinforcement using the TM “MAPEI” technology. *Structure Formation and Destruction of Composite Building Materials and Structures: Abstracts of the International Scientific and Technical Conference*, Odessa, April 8–9, 2021, pp. 65–68.

The author personally analyzed possible solutions for strengthening structures using carbon materials.

4. Molodid O., Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I. Fundamentals of building restoration decisions. *Innovations and prospects of world science*: abstract from The 10th International scientific and practical conference, Vancouver, Canada, May 25–27, 2022, p. 907

The author personally conducted an analysis of known methods for restoring the serviceability of building structures.

5. Molodid O., Kovalchuk O., Rashkivskyi V., Plokhuta R., Musiiaka I., Features of the inspection of buildings and structures damaged as a result of military actions. *Comprehensive Quality Assurance of Technological Processes and Systems (KZATPS – 2022)*: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference, Chernihiv, May 26–27, 2022, Vol. 2. 264 pp.

The author personally identified the key features of conducting technical inspections of damaged buildings and structures.

6. Molodid, O., Plokhuta, R., Musiaka, I. Analysis of Possible Methods for Reinforcing Reinforced Concrete Hollow Slabs. *Build-Master-Class-2022*: Abstracts of the International Scientific and Practical Conference for Young Scientists, Kyiv, November 30 – December 2, 2022, pp. 185–186

The author personally conducted a literature review and identified possible methods for reinforcing reinforced concrete hollow core slabs.

7. Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I., Basic approaches to choosing technologies for restoration of damaged buildings. 2nd International Conference on Relationship between public administration and business entities management: abstract, Tallinn November 12, 2022,.

The author personally systematized technologies for restoring the serviceability of building structures.

8. Molodid O., Plokhuta R., Molodid O., Musiiaka I., Inspection of buildings and structures damaged as a result of hostilities. *Architecture and Construction: Restoration of Ukraine. Science, Technology, Practice*: Abstracts of the International Scientific and Technical Forum, Kyiv, November 17–18, 2022, pp. 112–113.

The author personally identified the specific features of inspecting building structures affected by non-design influences.

9. Molodid O., Musiaka I. Theoretical justification of the need to study technologies for restoring the serviceability of reinforced concrete hollow-core floor slabs. *Science, Education, Technology, and Society: Global Trends and Regional Aspects: Collection of Abstracts from the International Scientific and Practical Conference, Rivne, January 11, 2023. Vol. 3. pp. 23–24.*

The author personally substantiated the need to study technologies for restoring the functional serviceability of hollow reinforced concrete slabs.

10. Molodid O., Musiaka 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. *The 15th Edition of Euroinvent European Exhibition of Creativity and Innovation. International Conference on Innovative Research EUROINVENT – ICIR, 2023, May 11–13, 2023, Iasi, Romania. P. 203.*

The author personally analyzed existing methods for restoring building structures and provided recommendations for their repair.

11. Molodid O., Musiaka I., Benderskyi S. The Need for Restoration of Building Structures Damaged by Non-Design Influences. *Comprehensive Quality Assurance of Technological Processes and Systems: Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference, Chernihiv, May 25–26, 2023. Vol. 2. pp. 127–128.*

The author personally established the necessity of performing restoration work to eliminate defects and damage in building structures that have been subjected to non-design influences.

12. Molodid O., Musiaka I. Identification of technological factors influencing the development of technology for restoring the serviceability of hollow-core slabs. *Architecture, Design, and Construction: Innovative Technologies: Program and Abstracts of the International Scientific and Technical Forum, Kyiv, November 15–16, 2023. P. 131.*

The author personally conducted an analysis of scientific and technical literature, identifying structural and technological factors that influence the development of technologies for restoring the serviceability of hollow reinforced concrete slabs.

13. Molodid, O., Musiaka, I. Analysis of Technologies for Restoring the Serviceability of Reinforced Concrete Floor Structures. *Architecture, Construction, Design: Technologies, Energy, Management: Proceedings of the International Scientific and Technical Forum*, October 16–17, 2024, Kyiv, p. 130.

The author personally conducted an analysis of scientific and technical literature to identify effective technologies for restoring the serviceability of hollow reinforced concrete slabs.

14. Molodid O., Musiaka I., Bohdan S., Yashchenko Y. Effectiveness of external reinforcement of hollow slabs with carbon-based materials (FRP). *Architecture, Design, and Construction: Innovative Technologies: Proceedings of the International Scientific and Technical Forum*, Kyiv, November 24–25, 2025.

The author personally conducted the research and established the effectiveness of external reinforcement of hollow-core slabs with carbon-fiber-reinforced polymer (FRP) materials.

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

1. Thermal Insulation of Building Facades Using ThermoELF System Solutions: Textbook / [edited by: Molodid O.S.; Skochko V.I.; Kozhedub S.A.; Musiaka I.V. et al.], Kyiv: Lira-K Publishing House, 2025. 216 p.

The author personally analyzed existing solutions for facade insulation and developed technological and organizational measures.

2. Molodid O., Reznichenko I., Plokhuta R., Musiaka I., Pressurize cavity between building structures at the facility of sewage system in Kyiv, *Civil Engineering Beyond Limits*, 1 (2023), 1775. <https://doi.org/10.36937/cebel.2023.1775> (article published in a foreign journal).

The author personally analyzed the research results obtained on cavity filling.

3. Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I., Reznichenko I. Sealing joints between concrete elements with polyurethane material. Reliability and durability of railway transport engineering structures and buildings. November 17–19, 2021, Kharkiv, Ukraine. *AIP Conference Proceedings* 31 May 2023; 2684 (1): 040017. <https://doi.org/10.1063/5.0120368> (the article is included in the Scopus database).

The author personally developed a structural and technological solution for sealing joints.

4. Molodid O., Bohdan S., Musiaka I. Experimental studies on the durability of TM MAPEI repair and protective coatings for sewer collectors. *Methods for Extending the Service Life of Urban Engineering Infrastructure: Proceedings of the 9th All-Ukrainian Scientific Seminar*, Kharkiv, October 20–21, 2020. 2020. pp. 32–34.

The author personally developed the methodology for the experimental studies.

5. Molodid O., Plochuta R., Korinets A., Musiaka I. Protection against wind loads and the fall of people and objects from heights using protective screens of the PERI RCS P rail lifting system in high-rise construction. *Proceedings of the 5th International Scientific and Technical Conference “Effective Technologies in Construction” and the 7th International Scientific and Technical Conference “New Technologies in Construction”*: Program and Abstracts of the International Scientific and Technical Forum, 2020. – pp. 98–100.

The author personally determined certain technical and economic indicators of the system.

6. Molodid O., Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I. Use of the main criterion method in decision-making for building renovation decisions. *International scientific innovations in human life: The 12th International scientific and practical conference*, Manchester, United Kingdom, June 8–10, pp. 219–222.

The author personally systematized methods for the restoration of building structures.

7. Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I. Technology for restoring the structural integrity of aerated concrete walls damaged as a result of military operations. *Build-*

Master-Class-2025: Abstracts of the International Scientific and Practical Conference for Young Scientists, Kyiv, November 26–28, 2025, pp. 609–610

The author personally developed a technology for restoring the structural integrity of walls.

8. Molodid O., Musiaka I., Reznichenko V., Reznichenko I. Method for reinforcing pile foundations by injecting polymer compositions. Patent No. UA 126323 dated September 15, 2022.

The author personally proposed a method for reinforcing pile foundations and conducted research.

9. Molodid O., Plokhuta R., Musiaka I., Bohdan S., Molodid O. Method for reinforcing the tension zone of reinforced concrete span structures, in the presence of a support, using high-strength composite carbon materials with a steel sleeve. Patent for Invention No. UA 128928 dated November 27, 2024

The author personally developed a method for reinforcing the tension zone of reinforced concrete structures.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	28
Розділ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ	34
1.1. Виявлення чинників, що призводять до погіршення технічного стану конструкцій. Формування області дослідження.....	34
1.2. Аналіз відомих методів відновлення функціональної придатності та підсилення залізобетонних пролітних конструкцій.....	40
1.3. Встановлення конструктивно-технологічних чинників, які впливають на якість відновленої конструкції.....	57
Висновки до першого розділу	62
Розділ 2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	63
2.1. Формування загальної методики досліджень.....	63
2.2. Дослідження фізико-механічних показників будівельних матеріалів та конструкцій	68
Висновки до другого розділу	73
Розділ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОШКОДЖЕНИХ ПУСТОТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ .	74
3.1. Методика проведення експериментальних досліджень	74
3.2. Дослідження довжини розповсюдження бетонної суміші всередині порожнини плити залежно від її консистенції та методів її розподілення.....	78
3.3. Дослідження усадки обраної бетонної суміші у процесі її набору міцності	88
3.4. Дослідження впливу способів підготовки поверхні на міцність зчеплення шарів бетону.....	90
3.4. Дослідження технології відновлення функціональної придатності пустотних плит у натурних умовах	98
Висновки до третього розділу	121

Розділ 4. ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОШКОДЖЕНИХ ПУСТОТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ	124
4.1. Технологія відновлення функціональної придатності залізобетонних пустотних плит	124
4.2. Технологія підсилення приопорних зон залізобетонних пустотних плит. .	137
4.3. Апробація результатів досліджень у будівельній практиці.....	140
Висновки до четвертого розділу	145
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	146
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	149
Додаток А.	158
Додаток Б.....	160
Додаток В	164

ВСТУП

Актуальність теми. Будівельна галузь – одна з основних галузей економіки кожної із країн. Її продукцією є здані в експлуатацію будівлі та споруди різного призначення. Як і для кожної із галузей економіки, впровадження найбільш ефективних технологій є ключовим для її зростання. Ефективні технології в будівництві це такі, які дозволяють покращити техніко-економічні показники готової продукції випущеної галуззю, при цьому, забезпечуючи достатній рівень її якості.

Однією із таких технологій є використання збірних залізобетонних конструкцій чи елементів при зведенні будівель. Це можуть бути фундаментні елементи, колони, ригелі, конструкції перекриттів, крокв'яні балки, ферми, стінові елементи тощо.

З-поміж перерахованих конструкцій, найбільш застосовуваними збірними конструктивними елементами є плити та панелі для перекриттів та покриттів, що пов'язано з їх використанням як у збірному будівництві, так і при зведенні будівель з стіновим конструктивним рішенням. Зведення будівель з використанням таких конструкцій дозволяє зменшити витрати часу та праці загалом, окрім того, підвищується якість продукції завдяки перенесенню частини робіт (мокрі процеси), що пов'язані із створенням будівельних конструкцій, на заводи.

Збірні перекриття складаються із наступних елементів: плит чи панелей, які опираються по двох, трьох чи чотирьох сторонах на стіни, ригелів (балок) чи панелей. Такі елементи змонтовані рядами один біля одного.

Серед плит, широкого розповсюдження набули пустотні, які зустрічаються як у житлових, так і в громадських та промислових будівлях. У їх тілі наявні поздовжні пустоти круглої, овальної або склепінчастої форми. Плити виготовляються довжинами від 1,2 до 20,0 м, шириною від 0,3 до 1,5 м, та висотою від 0,2 до 0,5 м. Основне армування у таких конструкціях знаходиться у нижній їх частині, зазвичай це арматурні стержні чи канати, що можуть бути із попереднім натягом.

Збірні плити перекриття, як і будь-які інші конструкції, зазнають позапроектних впливів. Особливо гостро це питання постає у контексті військових дій на території нашої країни.

Зважаючи на широке розповсюдження збірних перекриттів, а також, беручи до уваги масштаби пошкоджень, яких зазнали об'єкти будівництва, вирішення питання відновлення функціональної придатності конструкцій перекриття із пустотних плит без виконання їх демонтажу є важливим завданням. Оскільки демонтаж плит всередині існуючої будівлі є технологічно складним процесом, як і заміна пошкоджених плит на монолітні ділянки. Тому розробка нових, або удосконалення наявних технологій відновлення функціональної придатності пошкоджених пустотних залізобетонних плит **є актуальним завданням.**

Питанням відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій та загалом реконструкцією будівель та споруд займалися як вітчизняні так і закордонні вчені, зокрема: Алейнікова А., Березюк А., Білик С., Галушко В., Гончаренко Д., Єсепенко А., Кравчуновська Т., Менейлюк О., Молодід О., Осипов О., Романушко Є., Савйовський В., Склярів В., Скорук О., Тонкачєєв Г., Торкатюк В., Черненко В., Шатов С., Шумаков І., Antoine N., Haddad, Hamiruddin, Huang, Kim, Mohamed A. Safan, Puskas A., Wan-Yang Gao та інші. Внесок таких науковців у розвиток будівельної галузі є без сумніву вагомим.

Зв'язок роботи із науковими програмами. Здобувач є учасником науково-дослідних робіт:

- «Технологічні основи виконання будівельних робіт та процесів будівельного виробництва» (Державний реєстраційний номер 0119U000544), яка виконується на базі кафедри будівельних технологій Київського національного університету будівництва та архітектури;

- «Розробка технології швидкотверднучих бетонних сумішей для оперативного відновлення залізобетонних конструкцій» (Державний реєстраційний номер 0125U000608), яка виконується на базі науково-дослідної частини Київського національного університету будівництва та архітектури.

Аналізом наявної нормативної та науково-технічної літератури виявлено, що готові рішення та наукові дослідження розділені за такими напрямками: ремонт дефектів чи пошкоджень тіла плит або їх підсилення. Таким чином відмічено відсутність комплексного підходу до питання відновлення експлуатаційної

придатності пошкоджених залізобетонних пустотних плит, що не відповідає викликам із якими зіштовхується будівельна галузь України у цей час. Саме тому, питання розробки нової чи вдосконалення наявної технології, яка б комплексно вирішувала питання відновлення експлуатаційної придатності пустотних залізобетонних плит, які, у тому числі, пошкоджені внаслідок дії позапроектних впливів є актуальною задачею.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення технології відновлення пошкоджених пустотних плит перекриття шляхом встановлення додаткового армування та заповнення їх пустот високорухливою бетонною сумішшю.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- проаналізувати відомі способи ремонту, підсилення та відновлення залізобетонних конструкцій. Виявити конструктивно-технологічні чинники, які впливають на технологію відновлення залізобетонних конструкцій та якісні показники відновлених конструкцій;

- розробити загальну методику досліджень.

- дослідити технологію відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит, виявивши вплив технологічних чинників на якісні показники відновлених конструкцій експериментальними методами. Перевірити результати таких досліджень у натурних умовах;

- сформувати технологію відновлення пустотних залізобетонних плит за результатами досліджень та виконати її апробацію на об'єктах будівництва.

Предмет дослідження – технологічні чинники, що впливають на формування технології, та якісні показники відновлених пустотних плит.

Об'єкт дослідження – технологія відновлення функціональної придатності залізобетонних пустотних плит.

Методи дослідження – аналіз та узагальнення наявної наукової і технічної літератури з досліджуваної тематики; планування та проведення експериментальних досліджень; оброблення та інтерпретація результатів експериментальних досліджень; перевірка отриманих результатів

експериментальних досліджень у натурних умовах; оцінювання та узагальнення результатів натурних досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в положеннях, що винесені на захист:

- *вперше* виявлено вплив технології відновлення функціональної придатності пустотних плит способом встановлення додаткового армування та вкладання бетонної суміші у їх порожнини на проєктні показники відремонтованої конструкції, що підтверджено залежностями розповсюдження бетонної суміші у порожнинах, міцності зчеплення нового бетону з конструкцією, що відновлюється, від технологічних чинників, що виникають в процесі відновлення: реологічні властивості бетонної суміші, методи розподілення суміші, спосіб підготовки бетонної поверхні;

- *вдосконалено* методичні засади дослідження технології ремонту залізобетонних конструкцій, зокрема методику експериментальних досліджень та розширено перелік технологічних чинників, які потрібно враховувати під час виконання відновлювальних робіт;

- *набули подальшого розвитку* теоретичні положення технології відновлення пустотних плит, сутність яких полягає у визначенні допустимих меж параметрів технологічних чинників, що забезпечують досягнення проєктних показників відновленої конструкції в процесі її ремонту.

Практичне значення отриманих результатів дослідження:

- розроблено технологію відновлення функціональної придатності пошкоджених пустотних залізобетонних плит встановленням додаткового армування та вкладанням бетонної суміші через штроби чи отвори;

- встановлено науково-обґрунтовані межі значень технологічних чинників, що впливають на ремонт, або відновлення залізобетонних конструкцій;

- апробовано результати дисертаційного дослідження (технологія відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит) під час проведення:

а) ремонтно-відновлювальних робіт громадської будівлі в Київській області (Довідка про апробацію наукового дослідження здобувача Мусіяки Івана Вікторовича №11/18 від 18.11.2025 року);

б) робіт із підсилення пустотних плит перекриття громадської частини будівлі у Дніпровському районі міста Києва (Довідка про апробацію наукового дослідження здобувача Мусіяки Івана Вікторовича №26/11 від 26.11.2025 року).

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні аналізу науково-технічної літератури, розробленні методики експериментальних досліджень та їх проведенні, виконанні аналізу результатів досліджень та формуванні остаточної технології відновлення функціональної придатності залізобетонних пустотних плит. Написання дисертаційного дослідження велося під керівництвом д.т.н., проф. Молодіда Олександра Станіславовича.

Окрім того, одержані результати дисертаційного дослідження, висвітлені у наукових статтях, що опубліковані у співавторстві. У них особистий внесок здобувача полягає у: проведенні аналізу науково-технічної літератури; виявленні конструктивно-технологічних чинників, які є безпосередніми складовими технології; розроблення загальної методики експериментальних досліджень; проведенні експериментальних досліджень у лабораторних та натурних умовах; проведенні аналізу одержаних за результатами проведених досліджень даних; остаточному формуванні технології.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційного дослідження були висвітлені, обговорені та отримали схвальний відгук на 14 заходах: II Міжнародній науково-практичній онлайн-конференції «Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України» (м. Київ, 16 червня 2021 року); I Міжнародній науково-практичній конференції ім. П.М. Коваля «Актуальні питання мостового господарства та шляхи його покращення» (м. Запоріжжя, 15 – 17 вересня 2021 року); Міжнародній науково-технічній конференції «Структурутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій» (м. Одеса, 08-09 квітня 2021 р.); The 10th International scientific and practical conference «Innovations and prospects of world science»

(Vancouver, Canada, May 25-27, 2022); XI Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022)» (м. Чернігів, 26–27 травня 2022 р.); International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2022" (30 листопада – 2 грудня 2022 р.); 2nd International Conference on Relationship between public administration and business entities management (Tallinn, Estonia, November 12, 2022); Міжнародному науково-технічному форумі “Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика” (м. Київ, 17-18 листопад 2022 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Наука, освіта, технології і суспільство: світові тенденції та регіональний аспект» (м. Рівне, 11 січня 2023 р.); The 15 th Edition of Euroinvent European Exhibition Of Creativity And Innovation. International Conference on Innovative Research EUROINVENT – ICIR (Iasi, Romania, 11 - 13 May 2023); XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 25-26 травня 2023 р.); Міжнародному науково-технічному форумі “Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології” (м. Київ, 15-16 листопада, 2023 р.); Міжнародному науково-технічному форумі “Архітектура, Дизайн та Будівництво: Енергетика, Менеджмент” (м. Київ, 16-17 жовтня, 2024 р.); Міжнародному науково-технічному форумі “Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології” (м. Київ, 24-25 листопада, 2025 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано у 21 наукових працях, з них 4 статті входять до наукометричних міжнародних баз даних Scopus та/або Web of Science, 2 входять до переліку вітчизняних фахових видань, 1 патент на корисну модель та 14 публікацій мають апробаційний характер у вигляді тез доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Основна частина дисертаційного дослідження складається зі анотації, вступу, чотирьох розділів, до кожного із яких наведено висновки, загальними висновками по роботі, списку використаних джерел, та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 170 сторінок, із них обсяг основної частини 120 сторінок. Дисертація містить 56 рисунки, 11 таблиць. Список використаних джерел містить 73 посилання. Наявні 3 додатки загальним обсягом 13 сторінок.

Розділ 1

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1. Виявлення чинників, що призводять до погіршення технічного стану конструкцій. Формування області дослідження.

У будівельній галузі, з метою покращення техніко-економічних показників зведення будівель і споруд, набули широкого застосування індустриальні методи будівництва. Це зумовило перенесення частини робіт, що пов'язані із виготовленням окремих будівельних конструкцій на заводи, зокрема і конструкцій полегшених порожнистих плит. Такі плити характеризуються значною варіативністю геометричних розмірів (до 20,0 м довжиною, шириною до 1,5 м, та висотою до 0,5 м) та різним розрахунковим навантаженням. Зовнішній вигляд таких плит наведено на рис. 1.1.

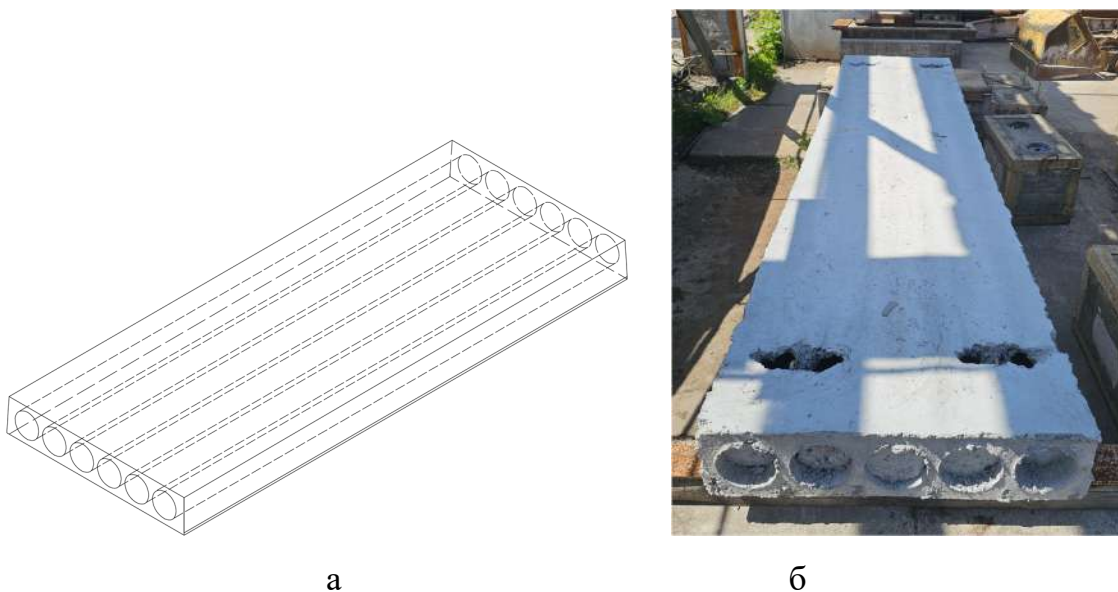


Рис. 1.1. Загальний вигляд пустотної плити:

а – аксонометричний вигляд; б – зовнішній вигляд

Збірні плити перекриття, як і будь-які інші конструкції, зазнають позапроектних впливів. Особливо гостро це питання постає у контексті військових дій на території нашої країни [1].

Зважаючи на широке розповсюдження збірних перекриттів, а також, беручи до уваги масштаби пошкоджень, яких зазнали об'єкти будівництва, вирішення питання відновлення функціональної придатності конструкцій перекриття із пустотних плит без виконання їх демонтажу є важливим завданням, якому й присвячена дана робота.

Експлуатаційна придатність (теж саме, що і функціональна придатність) – здатність об'єкту відповідати призначенню [2]. Необхідність у відновленні функціональної придатності пустотних плит, або їх ремонті чи підсиленні може виникати через перелік різноманітних чинників, зокрема:

- дефекти та/або пошкодження, що виникли унаслідок помилок проектування;
- дефекти, які виникли під час виготовлення;
- пошкодження, що виникли в процесі монтажу;
- пошкодження у процесі неправильної експлуатації;
- потреба у збільшенні навантаження;
- позапроектні впливи [3].

Дефекти та/або пошкодження унаслідок помилок проектування, або виготовлення можуть полягати у неврахуванні всіх можливих впливів, які діють на конструкцію протягом терміну її експлуатації. Тому, така конструкція може не відповідати вимогам міцності, жорсткості чи довговічності.

Помилки допущені під час виготовлення пустотних плит можуть погіршити характеристики будівельної конструкції, зокрема знизити її несучу здатність чи термін експлуатації [4]. До них можуть належати невідповідна міцність бетону конструкції (рис. 1.2), ділянки недостатнього ущільнення бетону, невідповідність армування проектному, відхилення геометричних розмірів тощо.

При монтажі збірні конструкції можуть отримати пошкодження у вигляді тріщин, сколів бетону та/або його розкришування через застосування неправильних, або несправних засобів монтажу, допущених помилок при монтажних роботах.



Рис. 1.2. Громадська будівля у м. Києві. Окремі ділянки змонтованих плит вирізані оскільки не відповідають проєктному значенню міцності

Пошкодження унаслідок неправильної експлуатації, як правило, проявляються у вигляді: тріщин (усередині прольоту чи у приопорній зоні) через перевантаження конструкцій; сколів бетону з оголенням армування через механічні впливи; корозії армування з подальшим зменшенням його перерізу та відшаруванням захисного шару бетону через системні замокання та/або впливів поперемінного заморожування та розморожування. Залежно від вказаних впливів плити можуть частково чи повністю втратити несучу здатність, а, як наслідок, і функціональну придатність.

До позапроєктних впливів відносять ті чинники, негативна дія яких не передбачена умовами нормальної експлуатації. Вони характеризуються широким різноманіттям природних чи техногенних впливів: дії температури / вогню; понаднормові статичні (перевантаження) та динамічні навантаження; замокання; дія хімічних речовин. Унаслідок таких впливів утворюються: сколи бетону з/без оголенням армування, тріщини, понаднормові прогини, розкришування, часткове, або повне руйнування.

До інших чинників, що знижують функціональну придатність пустотних плит, відносять відсутність належного захисту конструкцій від атмосферних чи хімічних впливів за їх наявності. Вони негативно діють як на бетон конструкції, так і на її

армування, і, як наслідок, знижується несуча здатність перерізу та збільшуються прогини конструкції. Корозія армування призводить до втрати перерізу арматури. Це може спричиняти настання другої чи, навіть, першої групи граничних станів для конструкції [5, 6].

При дії високих температур фізико-механічні показники погіршуються [7, 8]. Залежно від величини температури та тривалості її впливу, у бетоні можуть виникати значні внутрішні напруження, що у свою чергу призводить до утворення таких пошкоджень як тріщини, сколи, відшарування захисного шару бетону та втрата ділянок тіла конструкцій.

Іншим негативним чинником, є перевантаження конструкції плити. Це призводить до появи тріщин розтягнутої чи приопорної зон плити, розкришування бетону стиснутої зони, утворення у робочому армуванні шарнірів пластичності, появи надмірних прогинів чи повного руйнування конструкцій. Так само впливають на конструкцію й значні динамічні навантаження, однак, характерним для них є розкришування тіла бетону.

Зовнішній вигляд плит, що зазнали позапроектних впливів наведено на рис. 1.3.

Відповідно до [9], з метою визначення фактичного стану об'єкта та оцінки його відповідності основним вимогам до будівель і споруд, визначеним законодавством, та вжиття заходів для забезпечення надійності та безпеки під час його експлуатації, проводиться його технічне обстеження. Такому обстеженню підлягають у тому числі й об'єкти, що пошкоджені внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних дій або терористичних актів. Окрім того, перед виконанням капітального ремонту, реконструкції чи реставрації, відповідно до п. 8 [9], також обов'язково проводиться технічне обстеження об'єкту. Процес проведення обстеження регламентується нормативно-правовими актами [10, 11]. Результати проведеного обстеження є основою для розроблення документації на відновлення пошкоджених будівельних конструкцій, у тому числі й пустотних плит. За результатами обстеження надаються висновки щодо поточного фактичного технічного стану будівельних конструкцій та рекомендації на відновлення функціональної придатності обстежуваного об'єкту в цілому, та його конструкцій як складових частин.



а



б



в



г



д

Рис. 1.3. Різновиди пошкоджень пустотних плит: а – пошкодження внаслідок дії високої температури/ вогню; б – пошкодження внаслідок дії понаднормових динамічних навантажень (вибух); в – пошкодження внаслідок дії атмосферних впливів (системні замокання); г – пошкодження внаслідок перевантаження плити; д – пошкодження тіла внаслідок механічних впливів

Залежно від характеру та кількісних характеристик пошкоджень, які виявлені у процесі виконання обстеження, до них застосовують різні методи ремонту.

Для встановлення кількісних та якісних параметрів пошкоджень пустотних плит унаслідок позапроектних впливів було проаналізовано понад 80 звітів із технічних обстежень будівель та споруд, у тому числі і таких, що розроблені на об'єкти пошкоджені внаслідок військових дій, які знаходяться на території смт Бородянка міста Буча та Ірпінь, Києва, Житомирщини [12 – 14]. Відповідно до результатів проведених обстежень, із 84 пошкоджених об'єктів будівництва, 62 мають пошкодження конструкцій перекриття, зокрема у 45 випадках такі перекриття виконані із залізобетонних пустотних плит.

Відповідно до результатів аналізу звітів та наукової літератури [15, 16], було виявлено наступні дефекти та пошкодження конструкцій пустотних плит перекриття:

- дефекти та пошкодження бетону плит: сколи, наскрізні отвори, тріщини розтягнутої та/або приопорної зони, втрата ділянок тіла, розкришування;
- відшарування захисного шару бетону внаслідок корозії армування;
- понаднормові прогини плит;
- погіршення фізико-механічних властивостей матеріалів;
- часткове, або повне руйнування.

У сучасному світі, значна кількість об'єктів будівництва зведена в умовах ущільненої забудови [17]. Через це питання встановлення вантажопідйомних механізмів для виконання ремонтно-відновлювальних робіт є проблемним через наявність інших об'єктів будівництва, інфраструктури та зелених зон поблизу [18] (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Пошкоджена будівля, яка знаходиться в умовах ущільненої забудови [18]

Порушення усталеного середовища розвитку міста [19] є вартісним як у фінансовому плані, так і з точки зору тривалості та трудомісткості. Використання внутрішньобудинкових вантажопідйомних механізмів також може бути ускладненим через їх пошкодження внаслідок дії надмірні динамічних навантажень, які виникають при влучанні боєприпасів із подальшою їх детонацією, та відсутності електропостачання. Таким чином, технології, які передбачають демонтаж існуючих конструкцій із влаштуванням нових є недоцільними за зазначених умов. Доцільним може бути технологія відновлення функціональної придатності, яка не потребує використання вантажопідйомних механізмів і при цьому, для її виконання необхідна мінімальна кількість матеріалів.

1.2. Аналіз відомих методів відновлення функціональної придатності та підсилення залізобетонних пролітних конструкцій

У вітчизняній будівельній практиці користуються нормативним документом, який регламентує ремонт і підсилення несучих і огорожувальних конструкцій [20]. Європейська будівельна галузь використовує норматив [21]. У даних документах надано та структуровано матеріали і методи, які використовуються для ремонту та підсилення несучих будівельних конструкцій.

Відповідно до [22] та викладеного вище матеріалу, відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит може виконуватися шляхом ремонту їх пошкоджень, підсилення чи комбінацією даних методів.

Можливі методи ремонту залізобетонних пустотних плит, залежно від пошкоджень (відповідно до нормативних документів [20 - 22]) наведено у таблиці 1.1 (у таблиці виконано їх структурування від найменш значних пошкоджень до найбільш суттєвих).

Таблиця 1.1

Можливі методи ремонту залізобетонних пустотних плит, залежно від наявних пошкоджень

№	Тип пошкодження	Можливі методи ремонту
1	2	3
1	Сколи тіла конструкції	Відновлення першопочаткової геометрії конструкції із використанням ремонтних розчинів на цементній основі
2	Поверхнева корозія армування із відшаруванням захисного шару бетону	Очищення і захист армування від корозії, відновлення першопочаткової геометрії тіла конструкції із використанням ремонтних розчинів на цементній основі
3	Зменшення перерізу армування внаслідок корозії із відшаруванням захисного шару бетону	Очищення армування, встановлення додаткових арматурних стержнів (за перевірочним розрахунком), захист армування від корозії, відновлення першопочаткової геометрії тіла конструкції із використанням ремонтних розчинів на цементній основі
4	Тріщини конструкції, ширина розкриття яких, більша від допустимої	Ін'єктування тріщин полімерними матеріалами, їх зачеканювання ремонтними розчинами на цементній основі

Продовження табл. 1.1.

1	2	3
5	Розкришування бетону стиснутої зони	Прибирання незв'язаних частин тіла конструкції, демонтаж бетону зони найбільших стискальних напружень, відновлення першопочаткової геометрії конструкції із використанням високоміцних ремонтних розчинів на цементній основі
6	Погіршення фізико-механічних параметрів бетону	Виконання підсилення конструкції плити
7	Втрата ділянок тіла плит	Ремонт не регламентується
8	Втрата несучої здатності	

Зазначені методи ремонту застосовують після усунення причини виникнення пошкоджень.

Для пошкоджень, зазначених у п. 7 та п. 8 таблиці 1.1 ремонтно-відновлювальні роботи не регламентуються. У таких випадках (відповідно до нормативних документів), необхідно виконувати демонтаж конструкцій із їх заміною на нові. Однак, із точки зору техніко-економічного обґрунтування, це не завжди є доцільним заходом. Особливо у випадку розміщення пошкоджених конструкцій на верхніх поверхах. Оскільки роботи із демонтажу наявних та влаштування нових конструкцій можуть бути ускладненими, до того ж їх вартість зростає із кожним поверхом. Тому, для таких випадків доцільним є пошук рішення із відновлення функціональної придатності пошкоджених залізобетонних пустотних плит, навіть у випадку наявності значних пошкоджень.

У окремих випадках для продовження нормальної експлуатації будівлі, необхідно виконати підсилення несучих будівельних конструкцій. Як правило, такі роботи проводять або за потреби збільшення навантаження, або досягнення

конструкцією другої групи граничних станів (понаднормові прогини, виникнення тріщин шириною розкриття більшою, ніж встановлено нормативними документами, надмірні кути повороту конструкцій тощо).

У конкретному випадку потреби у ремонтно-відновлювальних роботах плит, вибір методу залежить від наступних чинників:

- тип будівельної конструкції (круглопустотна чи багатопустотна плита);
- фізико-механічні показники (клас міцності бетону та армування);
- просторово-геометричні параметри (ширина, довжина та товщина плити; наявність, розмір, форма та місцезнаходження отворів у тілі плити);
- можливість зміни просторового планування будівлі, конструкції якої ремонтуються;
- необхідність у відновленні чи збільшенні несучої здатності;
- умови експлуатації конструкції (необхідний ступінь вогнестійкості; агресивність середовища; температурно-вологісний режим).

Таким чином, для прийняття технічно та економічно обґрунтованих конструктивно-технологічних рішень з відновлення та/або підсилення пустотних залізобетонних плит, необхідно взяти до уваги значну кількість чинників, від кількісних та якісних характеристик пошкоджень до планово-просторового розташування таких конструкцій. Вихідні дані для розробки проектно-кошторисної документації на відновлення функціональної придатності як окремих конструкцій, так і загалом будівлі, містяться у звітах з технічного обстеження [23].

Існує значна кількість технологій ремонту залізобетонних пролітних (згинних) конструкцій, серед них як «класичні» технології (давно відомі, які набули широкого розповсюдження у будівельній практиці), у тому числі, що описані у раніше згаданих нормативних документах, так і новітні.

Слід відмітити, що дослідженням способів відновлення функціональної придатності конструкцій перекриттів займалися вітчизняні та закордонні вчені.

У своїй статті Antoine N. та ін. [24] експериментальним шляхом досліджували ремонт залізобетонних балок із значними пошкодженнями шляхом нанесення високоміцного розчину з сталевую фібрую та 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. У подальшому ці балки було відремонтовано шляхом нанесення високоміцного безусадочного ремонтного розчину на поверхню балок з додаванням сталеві фібри та без неї. Сталева фібра додавалася для потенційного покращення фізико-механічних характеристик ремонтного розчину. Таким чином фактично, створювали сорочку по периметру пошкоджених балок. На окремі балки ремонтний розчин наносили з 4-х сторін, на інші ж з 3-х. Крім того, окремі ремонтні розчини мали у своєму складі звичайний заповнювач, інші ж – заповнювач повторного використання.

Відповідно до результатів проведених досліджень, несуча здатність окремих балок підвищилася на 50 %, порівняно із першопочатковими даними. Встановлено, що додавання заповнювача повторного використання до ремонтного розчину не вплинуло на несучу здатність відремонтованих балок. Також автори виявили, що додавання сталеві фібри підвищило жорсткість балок та збільшило сприйняття навантаження, при якому почали з'являтися тріщини на поверхні ремонтного розчину, крім 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 такого методу 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.

Колектив авторів на чолі із Nur Ain Hamiruddin Nur Ain займався дослідженням технології схожої із попередньою, за винятком того, що підсилення пошкоджених

згинних залізобетонних елементів виконувалося шляхом нанесення високоміцного фібробетону на верхню (стиснуту) зону підсилюваного елемента [25]. Для визначення ефективності було створено залізобетонні балочки розмірами 500×200×80 мм (Д×В×Ш). Одну балочку було використано у якості контрольного зразку, по одній балочці було піддано впливу температури інтенсивністю 200 та 400 °С протягом 120 хв, дві балочки після аналогічного впливу температури в 200 та 400 °С були підсилені із використанням високоміцного фібробетону (товщиною 40 мм). Тестування балочок відбувалося шляхом їх навантаження у машині для визначення міцності при згині. При випробування фіксували навантаження та відповідний йому прогин. Експеримент продовжували до повного руйнування кожного із досліджуваних зразків.

Відповідно до результатів експерименту, 2 години впливу температури в 200 та 400 °С знизили жорсткість балок на 21.3 та 47.81 % відповідно. При цьому, після нанесення матеріалу підсилення, вдалося збільшити жорсткості цих же елементів до 147.81 та 310.73 % відносно контрольних зразків. Результати тестування наведені у таблиці 1.2.

Таке рішення із підвищення несучої здатності пошкоджених дією температури конструкцій є достатньо ефективним із огляду на одержані результати лабораторних експериментів, однак, дана технологія потребує подальшого дослідження у напівнатурних чи натурних умовах, оскільки для зразків значної довжини, при їх згині у перерізі виникають значні дотичні напруження, що можуть призвести до відшарування нанесеного матеріалу від основи. Окрім того, після застосування даної технології змінюються габаритно-просторові параметри приміщень, оскільки елемент підсилення розташований над верхньою гранню підсилюваної конструкції за рахунок внутрішнього простору приміщень. Іншим недоліком розглянутої технології є неможливість її застосування для ремонту чи підсилення конструкцій із наявними значними пошкодженнями.

Таблиця 1.2

Результати тестування балок [25]

Тип балочки	Максимальне навантаження, кН	Січна жорсткість, кН/мм
CS	72,30	13,41
NR200	71,74 (-0,77 %)	10,31 (-23,11 %)
NR400	66,42 (-8,13%)	8,62 (-35,72 %)
R200	74,51 (3,06 %)	13,16 (-1,86%)
RNC400	82,76 (14,47 %)	15,11 (12,68%)

Примітки:

1. CS – контрольний зразок;
2. NR200 та NR400 – балочки, що піддавалися температурному впливу в 200 та 400 °C відповідно;
3. R200 та RNC400 – балки, що піддані впливу температури в 200 та 400 °C із подальшим підсиленням

Іншою можливою технологією ремонту пошкоджених бетонних конструкцій на думку Puskas A, Corbu O. Köllő, Sz.A. є нанесення трикомпонентної епоксидної системи [26]. Дана технологія призначена для ремонту сколів, каверн та інших дефектів поверхні залізобетонних конструкцій.

Дослідження даної епоксидної системи відбувалося на бетонних кубиках, для яких спеціально утворено нерівності поверхні. Міцність бетону кубиків становила близько 30 МПа. Перед початком досліджень, їх витримували протягом 28 діб у вологонасиченому середовищі для набору міцності. Після чого було відновлено геометрію із використанням вищезгаданої трикомпонентної епоксидної системи та витримано перерву в 24 години для її полімеризації. У результаті відновлення, кожен із кубиків мав розміри 150×150×150 мм. В подальшому було визначено міцність на стиск виготовлених зразків. За результатами випробування кубиків отримано середнє значення міцності на стиск близько 38.4 МПа.

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, безусадковить, 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 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 чинником, що обмежує застосування епоксидних систем, є низька термо-/вогнестійкість [27], що потребує виконання додаткових заходів з мінімізації даного недоліку, наприклад запатентованим методом створення бар'єру між епоксидним матеріалом та високою температурою/полум'ям. [28].

Іншими можливими методами ремонту залізобетонних конструкцій з використанням епоксидних матеріалів є поверхневе просочення та епоксидно-просочувальний ремонт [29]. При поверхневому просоченні поверхню бетону покривають епоксидною смолою, що утворює захисну оболонку на поверхні конструкції і просочує її тіло на незначну глибину. У той же час, епоксидно-просочувальний ремонт забезпечує не лише покриття бетонної поверхні і її незначне просочення, а й заповнення нерівностей поверхні. Сукупно, обидва методи дозволяють у тому числі й склеїти тріщини тіла конструкції, однак не на всю їх глибину.

Поверхневе просочення та епоксидно-просочувальний ремонт окрім структурного відновлення забезпечують й захист бетонної поверхні від негативних впливів (дії агресивних середовищ та води), а окрім того, що є дуже важливим для довготривалої експлуатації конструкцій, від карбонізації бетону. Дослідження

показали, що застосування поверхневого просочення та епоксидно-просочувального ремонту дозволяє відновити несучу здатність згинних конструкцій, у тілі яких наявні тріщини.

Однак, такий метод ремонту не підходить для відновлення пошкодженого тіла залізобетонних конструкцій, що є обмежуючим чинником.

Питанням ремонту залізобетонних будівельних конструкцій займалася Плохута Р.О. [30]. Нею запропонований метод ремонту тріщин залізобетонних конструкцій шляхом їх просочення під тиском полімерними композиціями спеціальним пристроєм «Лоточок». Такі композиції заповнюють тріщину і після полімеризації склеюють її. Міцність полімерних композицій вища, ніж міцність бетону, а полімери, що використовувалися у дослідженнях, мають високі показники адгезії до бетонної поверхні. Сукупно, дані чинники забезпечують ліквідацію тріщини на структурному рівні, що означає унеможливлення повторного утворення тріщини у місці відремонтованої.

Ефективність даної технології перевірена як за результатами лабораторних досліджень, так і шляхом впровадження її у будівельну практику. Такий метод ремонту залізобетонних конструкцій дозволяє ремонтувати конструкції з тріщинами незначної ширини розкриття (до 0,45 мм), але його неможливо застосовувати для ремонту пустотних та пошкоджених конструкцій, у яких відсутні частини тіла конструкцій.

Колектив науковців на чолі із Mohamed A. Safan у статті [31] виклали результати дослідження з усунення протікань залізобетонних конструкцій із використанням ін'єктування поліуретанової піни у місця протікань.

Для дослідження ефективності використання технології ін'єктування поліуретанової піни у місця просочення вологи крізь конструкцію, було виготовлено залізобетонні ємності, які сполучені із датчиками тиску та гідронасосом. Зважаючи на неможливість виготовлення такої конструкції дослідного стенду суцільномонолітною, у місцях влаштування робочих швів бетонування було встановлено гідрошпонки.

Для проведення дослідження, у створену ємність під тиском 3 бари подавали воду і залишали на певний час. Для контрольного досліду, без використання поліуретанової піни, було виявлено численні місця протікання води крізь стінки стенду.

Після чого, місця протікання були заповнені поліуретановою піною для попередження просочення вологи крізь стінку. Для цього влаштовано отвори, у які виконали ін'єктування. Після чого провели перевірку залізобетонного резервуару тиском. Відповідно до результатів, випробування, вдалося суттєво знизити втрату води із резервуару, а, відповідно, і втрату тиску із часом. Результати експерименту наведено на рис. 1.5.

Відповідно до результатів, технологія заповнення дефектів поліуретановою піною, крізь які просочується волога, має вищу ефективність, ніж влаштована обмазувальна гідроізоляція чи відсутність заходів по гідроізоляції.

Незважаючи на ефективність такого методу у герметизації дефектів залізобетонних конструкцій, значним його недоліком є неможливість застосування для ремонту, підсилення чи відновлення геометрії будівельних конструкцій.

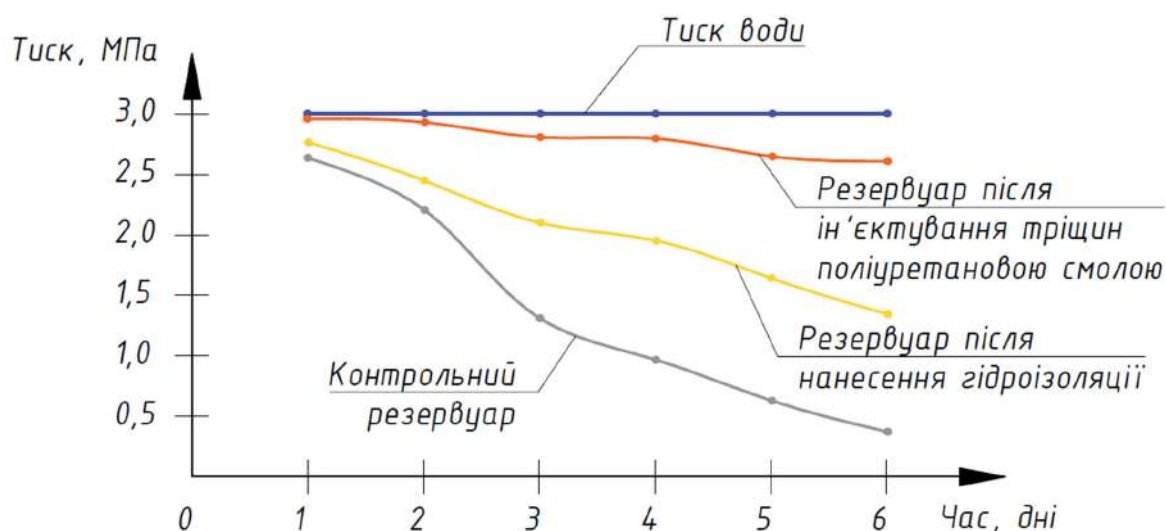


Рис. 1.5. Результати експериментальних досліджень з ін'єктування тріщин поліуретановою піною [31]

Іншим можливим способом виконання ремонту пошкоджених залізобетонних пролітних конструкцій є відновлення захисного шару шляхом вкладання ремонтної суміші в опалубку [32, 33]. 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 автором проведено ряд експериментальних досліджень. За результатами яких було підтверджено ефективність даного методу, зокрема новий бетон має високі показники зчеплення із тілом пошкодженої конструкції, що дозволяє забезпечити спільну роботу протягом терміну експлуатації. 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, при втраті тіла нижньої поверхні плити.

Існує й спосіб ремонту залізобетонних конструкцій, який представлений системним рішенням ПЦБ (Полімер Цемент Бетон) виробника будівельних матеріалів ТМ Ceresit [34]. Ця система розроблена для комплексного ремонту різних типів бетонних і залізобетонних конструкцій, які мають локальні дефекти і руйнування, не впливають на несучу здатність, і викликані умовами тривалої експлуатації або впливом механічних навантажень і корозійних процесів. Такий спосіб передбачає виконання п'яти послідовних робочих операцій спрямованих на відновлення пошкоджених залізобетонних конструкцій:

1. Підготовка поверхні (очищення, знепилення як поверхні бетону, так і поверхні армування);
2. Нанесення захисного та адгезивного шару на армування конструкції (за необхідності);
3. Влаштування контактного шару бетону;
4. Заповнення пустот і тріщин поверхні конструкції ремонтною сумішшю;

5. Вирівнювання поверхні пошкодженої конструкції ремонтною сумішшю.

На кожному етапі системою передбачено застосування спеціально розроблених матеріалів кожен з яких має своє функціональне призначення. Така система дозволяє надійно та швидко відновити незначні пошкодження залізобетонних конструкцій такі як сколи, каверни, корозія армування. При цьому вона не призначена для відновлення значно пошкоджених, або частково зруйнованих конструкцій. Крім того, дана система не передбачає встановлення додаткових арматурних стержнів взамін чи в додаток до суттєво пошкоджених корозією.

Крім ремонту залізобетонних конструкцій необхідно відмітити і конструктивно-технологічні рішення, які покликані підвищити несучу здатність пролітних (згинних) залізобетонних конструкцій. Одним з інноваційних методів, що активно використовується за кордоном, і останнім часом в Україні, є підсилення конструкцій шляхом наклеювання на них високоміцних елементів таких як вуглецеві тканини та/або ламелі. Наприклад ТМ «МАРЕІ» пропонує комплексне системне рішення, яке складається з ламелей CarboPlate та тканини MapeWrap, які приклеюються на підготовлену поверхню конструкції на спеціальні клеї [35]. Після наклеювання елементи підсилення частково сприймають зусилля, що діють в конструкції, тим самим збільшуючи її несучу здатність (рис. 1.6).

Схожі рішення є і в інших виробників, наприклад ТМ «Sika», яка у своїй лінійці рішень для підсилення пропонує матеріали на основі вуглецю: ламелі CarboDur [36] та волокно SikaWrap [37]. Принцип застосування цих матеріалів не відрізняється від попередньо розглянутого виробника, різняться лише фізико-механічні характеристики матеріалів.

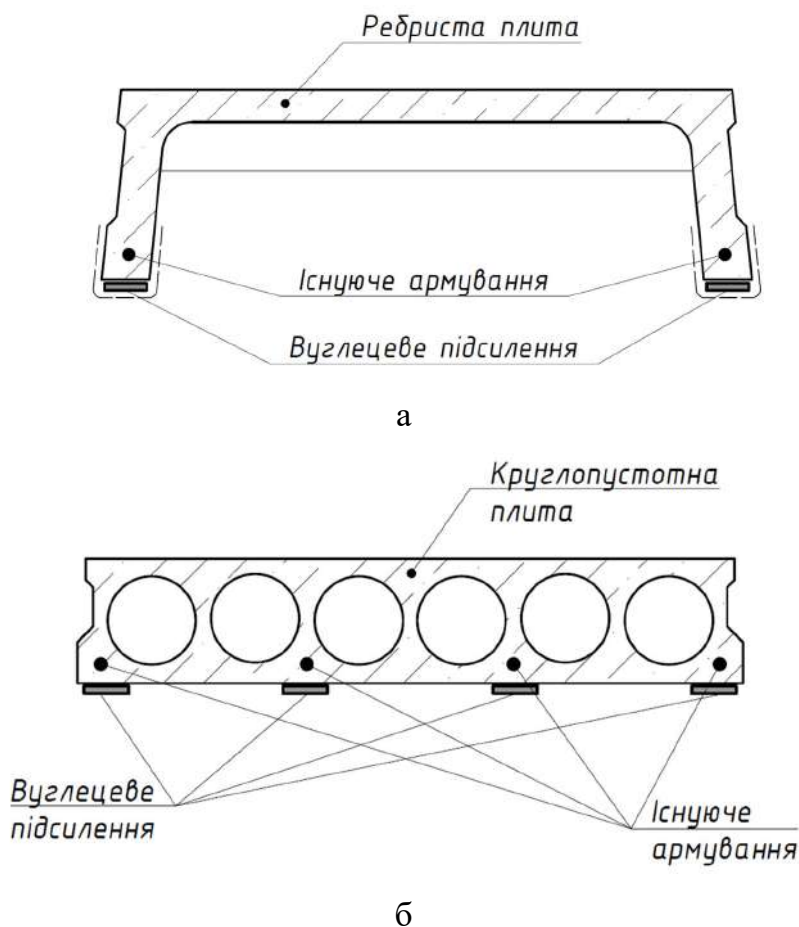


Рис. 1.6. Приклади підсилення збірних залізобетонних згинних елементів із використанням вуглецевих матеріалів [35]:

а – ребристих залізобетонних плит; б – круглопустотних залізобетонних плит

Підтвердженням ефективності відновлення функціональної придатності будівельних конструкцій з використанням вуглецевих матеріалів є публікація [38] у якій наводяться результати експериментальних досліджень відновлення несучої здатності залізобетонних плит, які були пошкоджені температурним впливом 600°C протягом 2 годин. Після виконання підсилення такої плити із використанням вуглецевих матеріалів було досягнуто підвищення несучої здатності до 158 % від першопочаткової несучої здатності та до 319 % у збільшенні жорсткості елемента.

Такий спосіб підсилення має ряд позитивних аспектів: дає можливість збільшити несучу здатність у кілька разів; фактично не збільшує вагу підсиленої конструкції та не змінює її просторово-габаритні параметри; простий у

використанні; не потребує специфічного обладнання; дозволяє виконувати роботи у короткі проміжки часу; низька трудомісткість та вартість робіт.

До недоліків такого рішення можна віднести наступні: не можна застосовувати на конструкціях зі значними пошкодженнями та/або деформаціями; висока вартість матеріалів; низька термо-/вогнестійкість, через використання клеїв на епоксидній основі, а отже необхідно вживати додаткових заходів із підвищення термо-/вогнестійкості конструкцій підсилення.

За опублікованими дослідженнями [39], підсилення згинних пролітних (згинних) залізобетонних елементів можливе із використанням скловолокна чи сталевих пластин, які приклеюють до нижньої (розтягнутої) зони балок із використанням епоксидних клеїв. У межах експериментальних досліджень було виготовлено 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.

Випробування дослідних зразків виконували шляхом їх встановлення на крайові опори із прикладанням зусилля в центрі балок. Експеримент проводили до руйнування балок.

У результаті експериментальних досліджень, було досягнуто суттєвого збільшення руйнівного навантаження для підсилених балок: для балки, підсиленої скловолокном (серія 2) – 300,4 %; для балок, підсилених 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 за критеріями, що і для методу, описаного в [38].

Також питанням відновлення функціональної придатності залізобетонних плит займалися Wan-Yang Gao та інші. Вони у своїй науковій публікації [40], виклали результати досліджень у яких експериментальним шляхом встановлювали

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, 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 усування наявних наскрізних пошкоджень конструкцій, які є частими при дії значних температур та вогню. Окрім того, дану технологію неможливо застосовувати для пошкоджених конструкцій. Перевагами даного способу є порівняно невисока вартість матеріалів підсилення, яка поєднується із суттєвим збільшенням несучої здатності конструкцій після влаштування підсилення.

До класичних способів збільшення несучої здатності, які у тому числі наведені у нормативній документації [20-22] та інших науково-технічних джерелах [41] належать: 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 тощо.

Зазначені методи апробовані на великій кількості об'єктів і успішно довели свою ефективність, однак, відповідно до [23], 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.

Окрім того, підсилення збірних залізобетонних згинних елементів можна виконувати й шляхом комбінації вищезгаданих методів. Один із таких описано у статті [42]. У даній статті описується виробнича потреба із виконання підсилення круглопустотної плити у експлуатованій будівлі. Потреба у цьому виникла через перевантаження плити у процесі її експлуатації. Через це, виникли пошкодження конструкції, зокрема поздовжні та поперечні тріщини розтягнутої зони. За результатами розрахунку прийнято рішення про виконання підсилення плити шляхом встановлення прокатних елементів усередину її порожнин із подальшим їх замонолічуванням. В подальшому виконували нарощування стиснутої зони плити та підведення поперечних балок.

Кожен із складових елементів такого підсилення є окремим способом підсилення конструкцій такого типу. Застосування їх поєднання дозволило суттєвим чином збільшити несучу здатність круглопустотної плити. Також до переваг застосованого підсилення відноситься порівняно невисока вартість матеріалів підсилення та простота технології, однак, дана комбінація методів підсилення не здатна відновити пошкоджену структурну цілісність тіла круглопустотної плити. При цьому збільшилося навантаження на горизонтальні та вертикальні несучі елементи будівлі (ригелі, колони, фундаменти) через збільшення власної ваги перекриття.

У випадку неможливості чи недоцільності застосування наявних технологій із ремонту чи підсилення залізобетонних конструкцій перекриття, колективом авторів серед яких Білик С.І. та Тонкачєєв Г.М. запропоновано який полягає у демонтажі пошкоджених круглопустотних плит і заміни їх на монолітні ділянки [43]. Така технологія заміни перекриттів може використовуватися при реконструкції будівель, чи капітальному ремонті. Технологія передбачає: демонтаж опорядження; встановлення переносних тумб під плиту, що підлягає розбиранню; демонтаж плити з поелементним опусканням часток конструкції; встановлення опалубки;

встановлення армування; вкладання бетонної суміші; догляд за бетоном; демонтаж опалубки.

Наведена технологія чудово підходить для демонтажу конструкцій, що вже не підлягають відновленню, та не підходить для конструкцій, які мають значні пошкодження, але через складність у демонтажі та видаленні будівельного сміття, потребу у подачі великих обсягів будівельних матеріалів і виробів на висотні поверхи, техніко-економічно доцільно відновити.

Таким чином, після проведеного аналізу існуючих технологій, комплексного рішення для відновлення пошкоджених залізобетонних пустотних плит (у тому числі й таких, що мають значні структурні пошкодження, через які повністю чи частково втрачено несучу здатність) не виявлено. А отже, розробка такої технології є актуальним завданням, що потребує нагального вирішення. У зв'язку з цим пропонується робоча гіпотеза – відновлення функціональної придатності пошкоджених залізобетонних пустотних плит можливе, шляхом: переопирання конструкцій, що втратили несучу здатність (за потреби); очистки та підготовки поверхні; встановлення додаткової арматури усередину їх порожнин із подальшим заповненням бетонною сумішшю. Передбачається, що даний метод дозволяє відновити / підвищити несучу здатність плити, а разом із заповненням внутрішніх порожнин, виконати ремонт пошкодженого / відсутнього тіла плити та відновлення її геометрії. Проте, вищенаведена робоча гіпотеза потребує доведення шляхом теоретичного та експериментального обґрунтування.

Такі дослідження повинні базуватися на виявленні впливу технологічних чинників на якісні показники відновленої конструкції. Виходячи із наведеного раніше, у першу чергу необхідно виявити чинники, що насамперед впливають на:

- а) однорідність заповнення порожнин;
- б) довжину розподілення бетонної суміші всередині порожнин;
- в) спільну роботу бетону заповнення порожнин та існуючого тіла плити.

Дослідження чинників, які впливають на формування технології є важливим етапом перед дослідженням технології відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит.

1.3. Встановлення конструктивно-технологічних чинників, які впливають на якість відновленої конструкції

Відомо, що конструктивні та технологічні чинники можуть впливати на якісні характеристики відновлених конструкцій, зокрема на несучу здатність, морозостійкість тощо. Саме тому, аналіз чинників, які безпосередньо впливають як на техніко-економічні показники процесу відновлення функціональної придатності, так і на якісні характеристики відновленої будівельної конструкції.

Оскільки, найбільш доцільно виконувати ремонт залізобетонних конструкцій із використанням цементних матеріалів (бетон, ремонтні розчини на цементній основі), тому виокремлення чинників виконуватиметься з припущенням, що відновлення функціональної придатності конструкції із використанням цементних матеріалів.

У монографії [44] авторами розглядається проблематика з'єднання між собою бетонів, які уклалися у різний час, і між якими утворився робочий шов бетонування. Цей шов, як зазначають автори, є ослабленим місцем, і при навантаженні конструкцій для яких характерним є робочий шов бетонування, такі конструкції можуть втрачати монолітність. Такі конструкції мають знижену міцність опору до зсуву, а крім того, через робочий шов бетонування можливе просочення вологи, знижується опір конструкції до впливу наднизьких та надвисоких температур, знакозмінних повторюваних навантажень, тощо. Такі проблеми є загрозою для забезпечення загальної міцності та стійкості як будівельних конструкцій окремо, так і об'єктів будівництва у загальному.

Технологічним заходом, який дозволяє усунути даний недолік, може бути склеювання укладених шарів бетону між собою. У монографії розглядаються технологічні чинники, які впливають на міцність клейового з'єднання, серед яких: вік нового бетону, міцність нового бетону, спосіб підготовки поверхні старого бетону, просторове положення стика, умови твердіння нового бетону, в'язкість та технологія нанесення акрилової композиції.

Дослідження впливу технологічних чинників на міцність клейового з'єднання виконували шляхом проведення лабораторних експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження проводилися на дію стискальних, зсувних та згинальних зусиль. Самі ж експерименти проводили на бетонних зразках.

Відповідно до результатів експериментів, вдалося встановити наступне:

- міцність клейового з'єднання зростає разом із зростанням віку нового бетону, при цьому, максимальну міцність зразки здобули на 28 день гідратації нового бетону (руйнування зразків відбувалося по тілу нового бетону (когезивне руйнування));

- міцність клейового з'єднання зростає разом із збільшенням міцності бетонів (руйнування зразків відбувалося по тілу нового бетону);

- спосіб очищення бетонної поверхні, який дозволяє отримати найвищі показники міцності зчеплення це очищення абразивним кругом, інші ж досліджувані способи (промивання водою, хімічний, термічний, механічний (за допомогою рубального молотка), механічний (за допомогою ручної бучарди)) дозволили отримати значення нижчі приблизно на 30 %;

- міцність з'єднання бетонів вища у випадку бетонування у вертикальному напрямку, при цьому, новий бетон має бути зверху старого;

- товщина клейового шару не впливає на міцність зчеплення шарів бетону;

- визначальним чинником умов зовнішнього середовища є забезпечення нормальних умов набору міцності нового бетону. Оточуючі умови не впливають на клей (руйнування зразків відбувалося по тілу нового бетону);

- найбільша в'язкість акрилової композиції, що є технологічно раціональною становить 15 см діаметр розпливу (визначено із використанням віскозиметром Суттарда), оптимальним же є значення в діапазоні 25-30 см діаметр розпливу;

- найбільш оптимальним є нанесення композиції для склеювання із використанням ручних пістолетів-розпилювачів чи безповітряних розпилювачів.

Таким чином, за результатами аналізу даного джерела можна зробити висновок, що робочий шов бетонування це слабе місце конструкції, тому, бажано, уникати їх наявності, або ж застосовувати технологічні рішення для усунення чи мінімізації недоліків, які із ними пов'язані.

Іншим чинником, що може вплинути на якісні показники залізобетонних конструкцій, це усадка бетонної суміші у процесі тужавлення цементного

тіста [45, 46]. Вона виникає через зменшення об'єму бетону у період першопочаткового набору міцності через втрату вологи. Це призводить до утворення внутрішніх напружень, і, коли міцність бетону нижча, за напруження виникають тріщини усадки. Окрім того, тріщини можуть мати й термічний характер у випадку бетонування масивних конструкцій через диференціацію температур ззовні та всередині, що знову ж таки, призводить до появи внутрішніх напружень. Також, усадка впливає на утворення тріщин по робочому шву бетонування, тим самим, може відбуватися відшарування свіжевкладеного бетону від старого чи утворення каналу для просочення вологи усередину конструкції.

Окрім того, така усадка може призвести до розшарування ремонтного бетону конструкції із основою, що призведе до втрати цілісності та можливої різномірності у роботі.

Розшарування об'єднаних шарів бетонів може відбутися і через їх недостатню міцність зчеплення. Колектив авторів на чолі із Vodnárová Lenka [47], експериментальним шляхом досліджував підготовку основи із використанням гідроструменевої обробки бетонної поверхні. Дані експериментальні дослідження були націлені на встановлення ефективності видалення поверхневих шарів бетону, що можуть бути пошкоджені внаслідок дії різних зовнішніх чинників.

Порівнювали якісні показники обробки поверхні після використання наступних типів вихідних насадок та режимів роботи гідроструменевої установки: класичний гідрострумінь із одинарним вихідним отвором із постійним потоком; ротаційний мультиотворний гідрострумінь із постійним та пульсуючим потоками; плоский отвір із постійним та пульсуючим потоками. Тиск потоку варіювався для кожного із варіантів підготовки поверхні від 30 до 350 МПа.

З аналізу результатів досліджень [47], можна зробити висновок, про те, що тип отвору гідроструменевої установки, тиск та наявність пульсації струменя впливають на якісні показники обробленої поверхні, а це в свою чергу покращує міцність зчеплення бетонів на межі робочого шва бетонування. Важливість міцності зчеплення бетонів на межі робочого шва розглянути вище.

Інший колектив авторів [48] досліджував технологічні аспекти виконання робіт із бетонування будівельних конструкцій.

Відповідно до наведеної у монографії інформації, для забезпечення встановлених проектною документацією вимог до монолітних конструкцій, необхідна сукупність реологічних властивостей, які формують кінцеву якість готової продукції. До таких властивостей можна віднести: міцність на стиск та вигин; морозостійкість; теплопровідність; стиранність; легкоукладання суміші; спосіб вкладання суміші; відсутність розшарування суміші у процесі її приготування; швидкість набору міцності тощо.

У науковій публікації [49] авторами експериментальним шляхом досліджуються високорухливі бетонні суміші (самоущільнювальні), які призначені для бетонування густоармованих залізобетонних конструкцій. У публікації зазначається, що такі бетонні суміші не лише забезпечують якісне заповнення опалубки і простору між арматурними елементами, а й мають ряд переваг перед звичайними бетонами, зокрема: висока легкоукладальність, висока міцність на стиск, висока морозостійкість та корозійна стійкість, висока довговічність та низька здатність до стирання. Окрім того, до переваг даного типу бетонної суміші відноситься й відсутність потреби в ущільненні після укладання, що зменшує трудомісткість.

Зважаючи на переваги самоущільнювальної бетонної суміші перед звичайним бетоном, можна зробити висновок, що її застосування доцільне при бетонуванні спеціальних конструкцій чи відновленні конструкцій із обмеженим доступом. Окрім того, у випадку наявності повітря у зоні контакту бетонів (стик старого і нового бетонів), знижується адгезія, як наслідок можливе просочення вологи по робочому шву бетонування.

Іншим же важливим технологічним чинником є необхідність ущільнення укладеного бетонної суміші [50]. У більшості випадків це технічно необхідний процес, який дозволяє прибрати повітря із тіла бетонної суміші, яке було захоплено у процесі приготування та транспортування. Таке повітря є небажаним у тілі бетону,

оскільки призводить до утворення порожнин, які в свою чергу можуть призвести до утворення тріщин, як наслідок втрата структурної цілісності.

Дослідження показують [51], що існують ефективні методи ущільнення укладеної бетонної суміші, наприклад стискання чи прокочування. Разом із тим, заходи з ущільнення бетонної суміші дозволяють виконувати її розподілення в межах опалубної форми. Незважаючи на це, заходи з ущільнення підвищують трудомісткість та тривалість робіт з укладання бетонної суміші, тому, при розробці нової технології, за можливості їх варто мінімізувати чи уникати.

Окрім ущільнення бетонної суміші, у процесі її укладання необхідно й розподіляти. У науковій статті [52] висвітлюється ефективність штикування як методу ущільнення та розподілення бетонної суміші.

В процесі аналізу науково-технічної літератури було виявлено конструктивно-технологічні чинники, які впливають на якісні параметри відновленої конструкції та формують технологію виконання робіт та структуровано у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Конструктивно-технологічні чинники, що впливають якісні параметри відновленої конструкції

№	Чинник	Джерело	Параметр
1	Наявність робочого шва бетонування	44	Монолітність конструкції, спільність роботи її елементів
2	Усадка бетонної суміші	45, 46	
3	Підготовка основи	47	Міцність зчеплення з основою, відшарування, трудомісткість, вартість, тривалість
4	Легкоукладальність	48, 49	Розподілення суміші, якісні показники відновленої конструкції, трудомісткість, тривалість, вартість
5	Спосіб розподілення	50, 51, 52	

Висновки до першого розділу

1. Відновлення функціональної придатності пошкоджених пустотних залізобетонних плит є актуальним завданням через значне поширення таких конструкцій у будівельній практиці, а також наявністю потреби відновлення їх функціональної придатності, у тому числі через військові дії на території нашої країни.

2. За результатами аналізу науково-технічної літератури виявлено основні чинники, які призводять до зниження функціональної придатності пустотних залізобетонних плит та появи їх дефектів і пошкоджень. Для відновлення функціональної придатності плит із такими дефектами і пошкодженнями необхідно виконати ремонт та/або підсилення.

3. Аналізом науково-технічної літератури конструктивно-технологічних рішень з питань ремонту та підсилення, комплексного рішення для відновлення пошкоджених залізобетонних пустотних плит (у тому числі й таких, що мають значні структурні пошкодження, через які повністю чи частково втрачено несучу здатність) не виявлено.

4. За результатами проведеного аналізу технологічних чинників, виокремлено такі, що можуть безпосередньо впливати на якісні параметри відновленої конструкції та на формування технології відновлення функціональної придатності пошкоджених залізобетонних плит, серед яких: наявність робочого шва бетонування, усадка бетонної суміші, підготовка основи, легкоукладальність, спосіб розподілення та ущільнення. Такі чинники необхідно дослідити в наступних розділах даної роботи.

5. Найбільш значимі результати першого розділу викладені у роботах [53, 54, 55].

Розділ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Оскільки в межах аналізу науково-технічної літератури не виявлено існуючих методів, які б дозволяли комплексно вирішити актуальне будівельне завдання сьогодення – відновлення функціональної придатності пошкоджених пустотних плит, тому, було поставлено мету – сформувати загальну методику досліджень, виконавши яку вдасться розробити необхідну технологію.

2.1. Формування загальної методики досліджень

Передбачається, що ефективну технологію відновлення функціональної придатності пошкоджених пустотних залізобетонних плит можна розробити базуючись на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень. При цьому теоретичні дослідження забезпечать наукове підґрунтя для виконання експериментальних. Пропонується експериментальні дослідження розділити на два блоки. В межах першого блоку виконати експериментальні дослідження в лабораторних умовах на модельних стендах, що імітують реальні умови. Отримані результати дадуть можливість встановити ефективні технологічні підходи, що забезпечать необхідну якість відновлених конструкцій. У межах другого блоку експериментальних досліджень буде перевірено у натурних умовах результати отримані в ході лабораторних досліджень.

Досягнення поставлених цілей можливе за умови послідовного виконання всіх етапів досліджень. Для цього розроблено загальну програму досліджень:

- на першому етапі виконано аналіз науково-технічної літератури із напрямку теми дослідження. У межах аналізу виокремлено чинники, що спричиняють дефекти та пошкодження будівельних конструкцій та конструктивно-технологічні чинники, що впливають на формування технології за напрямком дослідження, а також мають вплив на якісні характеристики відновлених залізобетонних плит;

- на другому етапі буде виконано ряд запланованих експериментальних досліджень, які передбачають встановлення їх впливу на технологію виконання

робіт по відновленню функціональної придатності пошкоджених залізобетонних плит, а також на якісні характеристики відновлених конструкцій. Зокрема, заплановано проведення таких експериментів:

- дослідження впливу консистенції бетонної суміші на довжину її розподілення;
- дослідження впливу способів розподілення бетонної суміші в порожнині на довжину її розповсюдження;
- встановлення усадки обраної бетонної суміші;
- визначення впливу способу підготовки контактної поверхні на міцність зчеплення із бетонною сумішшю заповнення порожнин.

- на третьому етапі буде проведено натурні експериментальні дослідження, які базуватися на даних, отриманих у результаті лабораторних досліджень. Цей етап необхідний для підтвердження попередньо прийнятих рішень із формування технології відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит;

- на четвертому етапі планується виконано остаточне формування технології відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит;

- на п'ятому етапі технологія відновлення функціональної придатності буде апробована в умовах реального об'єкту для відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит.

Для дослідження впливу консистенції бетонної суміші на довжину її розподілення буде протестовано три різні бетонні суміші:

- а) бетонна суміш загального призначення (готова бетонна суміш Siltek B-25);
- б) бетонна суміш із додаванням пластифікатора;
- в) бетонна суміш із додаванням суперпластифікатора.

Бетонна суміш із додаванням пластифікатору буде мати наступний компонентний склад (на 1 м³): цемент М-500 – 450 кг; пісок – 750 кг; щебінь фр. 5-10 – 800 кг; відсів фракції 0-10 – 250 кг; вода – 200 кг; пластифікатор – 5 кг.

Бетонна суміш із додаванням суперпластифікатору матиме наступну рецептуру: цемент (ПЦІ/А-Ш-400) – 480 кг; пісок (відсоток вологості $\leq 5\%$) – 800 кг; щебінь фракції 5-10 – 900 кг; відсів фракції 5-10 – 100 кг; вода – 255 л (кг); добавка *Dynaton SR3* – 7.2 кг [56]; добавка *Viscofluid SCC/10* – 4.8 кг [57].

Встановлення довжини розповсюдження бетонної суміші всередині порожнин круглопустотної плити буде виконано на макетах порожнин – пластикових трубах. Для виконання даних експериментів, пластикові труби буде розрізано у повздовжньому напрямку на дві половини. Для надання шорсткості внутрішній поверхні труб, вони будуть оброблені наждачним папером для імітації реальних порожнин залізобетонних плит. З метою полегшення оцінки даних про розповсюдження бетонної суміші всередині труб, на їх внутрішню поверхню буде нанесено вимірювальну шкалу для визначення довжини. у верхній частині труби поруч із одним із торців буде влаштовано отвір для укладання бетонної суміші. Оскільки експеримент повинен якнайповніше імітувати реальні умови виконання таких робіт при відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит, то всередині труб необхідно встановити арматурні каркаси, які будуть створювати додаткові перешкоди розповсюдженню бетонної суміші всередині плити. Утримання двох половин труби разом передбачене шляхом встановлення хомутів по довжині труби, а сам стик половинок труб, передбачено проклеїти клейкою стрічкою для попередження витікання водоцементної суспензії. Окрім того, з метою попередження витікання бетонної суміші у процесі проведення експерименту, по торцях труби необхідно встановити заглушки. Поблизу одного із торців, для вкладання досліджуваної бетонної суміші, у трубі буде влаштовано отвір діаметром близько 80 мм. Для полегшення вкладання, буде додатково використано лійку.

У такій конфігурації випробувального стенду передбачено проведення двох серій експериментальних досліджень: перша – направлена на встановлення найбільш оптимальної суміші для заповнення порожнин на найбільшу відстань; друга – на встановлення найбільш ефективного методу проштовхування бетонної суміші у процесі її укладання.

Перший експеримент буде проведено шляхом почергового вкладання бетонних сумішей в експериментальний стенд. Заповнення труб передбачене через отвір поблизу одного із торців. Вкладання бетонної суміші буде проводитися до тих пір, допоки суміш не порівняється із верхнім обрізом труби. Після вкладання сумішей, для кожної з них, буде витримано технологічну перерву для набору міцності. По завершенню набору міцності буде проведено розкриття труб і виконано фіксацію результатів експерименту із заповнення труби, зокрема довжину розподілення та відсоток заповнення перерізу труби по довжині.

Бетонна суміш, яка забезпечить найбільшу довжину розподілення, буде використано в другому експерименті. Процес проведення другого експерименту аналогічний першому, за винятком того, що між вкладанням порцій бетонної суміші, буде виконано її розподілення. Передбачено виконання розподілення шляхом вібрування та проштовхування. Вібрування буде виконуватися шляхом прикладання віброшліфувальної машинки до поверхні труби і ввімкненням її на 5-10 секунд. Більша тривалість вібрування може спричинити розшарування суміші. Простовхування буде виконуватися із використанням композитної арматури діаметром 12 мм, яка має періодичний профіль по довжині, шляхом надання їй зворотньо-поступальних рухів. Для обох випадків вкладання бетонної суміші буде проводитися допоки суміш не порівняється із верхнім обрізом труби. Після проведення експерименту буде витримано технологічну перерву для набору міцності. У подальшому буде виконано оцінку ефективності кожного із способів розподілення і обрано найбільш оптимальний.

Слід зазначити, що міцність бетону заповнення порожнин плит повинна бути вищою, ніж міцність бетону конструкції. Ця необхідність покликана тим, що модуль пружності бетону заповнення буде вищим, і, як наслідок, бетон заповнення буде швидше включатися у роботу, сприймаючи більші навантаження, тим самим розвантажуючи існуючу конструкцію плити, що може мати значні пошкодження.

Встановлення ефективності відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит буде виконано шляхом порівняльного аналізу залежності прогинів нової плити та відновленої від зовнішнього навантаження. Для

цього, нову плиту буде встановлено на опори і прикладено навантаження з поступовим його збільшенням (рис. 2.1). Під час цього буде визначатися фактичний її прогин. Експеримент проводитиметься до досягнення плитою першої групи граничних станів. Після втрати функціональної придатності передбачено виконати розвантаження та відновлення функціональної придатності плити за запропонованою технологією. У процесі відновлення буде виконано: очищення плити від незв'язних частин; встановлення плити в опалубку; влаштування штроб; підготовку внутрішньої поверхні пустот; встановлення арматурних каркасів із подальшим заповненням порожнин високотекучою самоущільнювальною бетонною сумішшю. Після набору міцності бетоном плиту буде істановлено на опори і повторно виконано її навантаження із встановленням прогинів. Експеримент буде продовжуватися до руйнування плити.

Одержані у процесі експериментального дослідження дані буде опрацьовано і на основі них зроблено висновок про ефективність застосування технології для відновлення функціональної придатності залізобетонних пустотних плит.

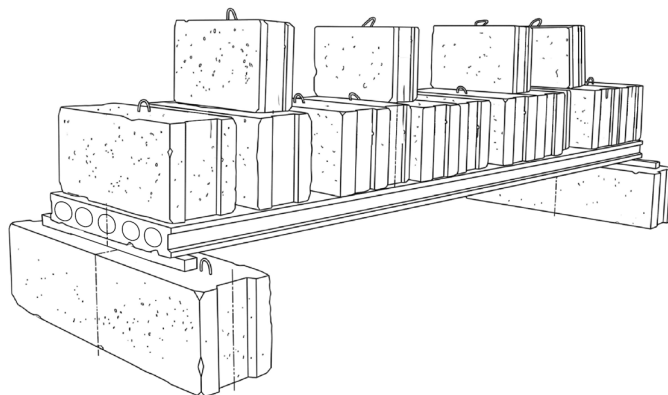


Рис. 2.1. Принциповий вигляд процес випробування плити

Визначення ефективності застосування зовнішнього підсилення розтягнутої зони залізобетонної пустотної плити для зменшення її прогинів у процесі експлуатації буде визначено за попередньою методикою. Відмінністю буде те, що плита не відновлюватиметься, а лише буде підсилена вуглецевими елементами.

Результати даного дослідження буде проаналізовано та розроблено висновок про ефективність застосування зовнішнього підсилення розтягнутої зони залізобетонної пустотної плити.

Останній натурний експеримент буде направлений на визначення ефективності підсилення плити на дію поперечної сили шляхом заповнення приопорних ділянок порожнин бетонним розчином. Для цього буде проведено перевірочний розрахунок, за результатами якого встановлено несучу здатність плити на дію поперечної сили. Після цього буде виконано підсилення приопорних ділянок плити, у процесі якого передбачено: влаштування штроби вздовж порожнин плити для приопорних зон; влаштування усередині порожнин пробок; через штроби заповнити приопорні зони бетонним розчином і витримати технологічну перерву для набору міцності бетоном. Після підсилення плиту буде встановлено на опори і навантажено таким чином, щоб у перерізі поперечна сила вкратно переважала розрахункову несучу здатність.

За результатами проведеного експерименту буде зроблено висновок про ефективність підсилення плити на дію поперечної сили шляхом заповнення порожнин приопорних зон.

2.2. Дослідження фізико-механічних показників будівельних матеріалів та конструкцій

Встановлення фактичних значень легкоукладуваності бетонної суміші за [58] виконано методом визначення осадки конуса (для жорстких сумішей) та розпливу конуса (для текучих сумішей). Для цього використано: конус нормальний, сталеву лінійку, металевий стержень та сталевий лист. Класифікація сумішей виконана відповідно до [59].

Випробування проводили у наступній послідовності. Перед експериментом, поверхні, які будуть дотичні до бетонної суміші підлягали очищенню та зволоженню. Конус встановлювали на сталевий лист і заповнили його досліджуваною бетонною сумішшю (бетонною сумішшю загального призначення). Пошарово виконали ущільнення штикуванням сталевим стрижнем. Після

штикування зрізали надлишок бетонної суміші, а конус повільно зняли у вертикальному напрямку.

Для встановлення значення осідання, конус ставили поруч із сформованою бетонною сумішшю і шляхом прикладання сталевго стержня до його верхнього обрізу лінійкою вимірювали відстань між стержнем та бетонною сумішшю. Виміряну величину округлювали із точністю до 1 см і приймали за значення осадки конуса.

Для текучих бетонних сумішей (суміші із додаванням пластифікатора та суперпластифікатора), після підняття конуса, виміряли діаметр «коржа», який утворився унаслідок розтікання бетонної суміші по сталевій пластині. Вимірювання діаметру «коржа» проводили у двох, взаємно перпендикулярних напрямках із визначенням середнього арифметичного значення. Дане значення і було прийняте за значення розпливу конуса.

За результатами дослідження встановлено наступне:

1. Бетонна суміш загального призначення має осідання конуса 45 мм, марка консистенції бетонної суміші за осадкою конуса S1 (рис. 2.2 (а)).
2. Бетонна суміш із додаванням пластифікатора має значення розпливу конуса 337,5 мм, марка консистенції бетонної суміші за розпливом конуса F1 (рис. 2.2 (б)).
3. Бетонна суміш із додаванням суперпластифікатора має значення розпливу конуса 810 мм, (марка консистенції бетонної суміші за розпливом конуса F6) (рис. 2.2 (в)).

Для бетону, який отримано із суміші з додаванням суперпластифікатору, визначено міцність на стиск руйнівними методами. Для цього виготовлено серію зразків із трьох кубиків. Їх розміри становили 100×100×100 мм.

Після набору кубиками розпалубної міцності, вони були витягнуті із форм і поміщені у вологонасичене середовище для набору міцності на 28 діб. При цьому, вологість оточуючого повітря становила не менше 95 %, а температура – $20 \pm 2^\circ \text{C}$.

Після набору проектної міцності провели випробування з визначення міцності руйнівним методом за [60]. Процес випробування зразків наведено на рис. 2.3.



а



б



в

Рис. 2.2. Результати визначення консистенції використаних бетонних сумішей:
а – бетонна суміш загального призначення; б – бетонна суміш із додаванням пластифікатора; в – бетонна суміш із додаванням суперпластифікатора



Рис. 2.3. Процес визначення міцності кубів

Відповідно до отриманих результатів, всі кубики мали нормальний характер руйнування за Додатком Е [60], а тому, результати випробування можна вважати достовірними.

Міцність зразків визначали за формулою (2.1):

$$f_{c, \text{cube}} = (\alpha F) / A \quad (2.1)$$

де α – коефіцієнт;

F – руйнівне навантаження, кН;

A – площа основи, мм².

Результати випробувань наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Результати випробувань зразків для визначення міцності бетону

№	Розміри зразка, мм	Площа основи, мм ²	Коефіцієнт α	Руйнівне навантаження F, кН	Міцність, МПа	
					Зразку	Середнє
1	2	3	4	5	6	7
1	100×100×100	10000	0,95	453,7	43,1	44,3
2				483,1	45,9	
3				463,0	44,0	

Для визначення усадки обраної бетонної суміші із неї буде виготовлено дві балочки, у спеціальних формах, довжиною по 256 мм кожна. На наступний день, після укладання бетонної суміші, балочки будуть витягнуті із форми і поміщені у вологонасичене середовище для гідrataції протягом 120 діб. По завершенню гідrataції, довжини балочок будуть повторно виміряні. За результатами вимірювання, буде зроблено висновок про усадочні властивості обраної бетонної суміші.

Визначення міцності зчеплення бетону заповнення порожнин та існуючого тіла плити передбачено виконувати за допомогою адгезіометра. Для цього, поверхню заздалегідь створених бетонних плиток, що імітуватимуть існуюче тіло бетону, буде підготовлено різними способами.

У подальшому, поверх підготованої поверхні, буде вкладена бетонна суміш і надано їй час на набір міцності. Після чого, до вкладеної бетонної суміші з допомогою епоксидного клею будуть приклеєні п'ятаки адгезіометра і надано час на полімеризацію клею. Для встановлення фактичного значення міцності зчеплення укладеного бетону із основою, матеріал навколо п'ятаків буде прорізано таким чином, щоб зайти в основу не менше, ніж на 5 мм. Для кожного із варіантів підготовки основи необхідно визначити середнє значення міцності зчеплення за результатом серії досліджень (рис. 2.4). Після виконання експерименту, отримані дані будуть опрацьовані і встановлено які варіанти підготовки основи є оптимальними.



Рис. 2.4. Процес визначення міцності зчеплення бетонів

Після проведення серії лабораторних досліджень, для перевірки правильності прийнятих конструктивно-технологічних рішень передбачено виконати натурні експериментальні дослідження.

Висновки до другого розділу

1. Для комплексного формування технології відновлення функціональної придатності пошкоджених пустотних плит розроблено загальну методика досліджень, яка включає в себе як теоретичні так і експериментальні дослідження. При цьому експериментальні дослідження розділено на лабораторні, з використанням стендів, що імітують реальні умови та натурні.

2. У межах лабораторних експериментальних досліджень передбачено: виявлення впливу консистенції бетонної суміші на довжину її розподілення; встановлення ефективності способів розподілення бетонної суміші в порожнині плити; встановлення усадки обраної бетонної суміші; визначення впливу способу підготовки контактної поверхні на міцність зчеплення із бетонною сумішшю заповнення порожнин.

3. Для перевірки правильності прийнятих конструктивно-технологічних рішень передбачено виконати натурні експерименти. Вони направлені на: встановлення ефективності запропонованої технології відновлення функціональної придатності пустотних плит; встановлення ефективності застосування зовнішнього підсилення розтягнутої зони залізобетонної пустотної плити для зменшення її прогинів у процесі експлуатації; визначення ефективності заповнення порожнин плити в межах приопорних зон для виконання підсилення на дію поперечної сили. За результатами кожного із натурних експериментів буде зроблено висновок про ефективність застосування технології в натурних умовах.

4. Обґрунтовано методики експериментальних досліджень та встановлено окремі фізико-механічні показники будівельних матеріалів з якими будуть виконуватися подальші дослідження.

5. Основні результати даного розділу викладено в роботах [53, 55].

Розділ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОШКОДЖЕНИХ ПУСТОТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ

Комплексний процес відновлення функціональної придатності залізобетонних пустотних плит складається із сукупності простих будівельних процесів. Аналізом науково-технічної літератури встановлено, що виконання таких процесів може супроводжуватися конструктивно-технологічними чинниками, які матимуть вплив як на сам процес, так і готовий продукт, зокрема на його якісні характеристики після виконання ремонтно-відновлювальних робіт. Саме з метою виявлення виду та ступеню впливу таких чинників на якісні показники відновлених пустотних плит передбачено виконати ряд теоретичних та експериментальних досліджень результати яких наведено у даному розділі.

3.1. Методика проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження технології відновлення функціональної придатності пошкоджених пустотних плит розділено на чотири етапи (три етапи передбачають дослідження у лабораторних умовах, четвертий – у натурних) для всеохоплюючого дослідження ключових технологічних чинників (рис. 3.1.). Серед чинників, що досліджувалися виокремлено наступні впливи: консистенція бетонної суміші на довжину її розподілення; спосіб розподілення бетонної суміші в порожнині плити на довжину її розповсюдження; спосіб підготовки контактної поверхні на міцність зчеплення з нею розчином заповнення порожнин; усадка бетонної суміші.

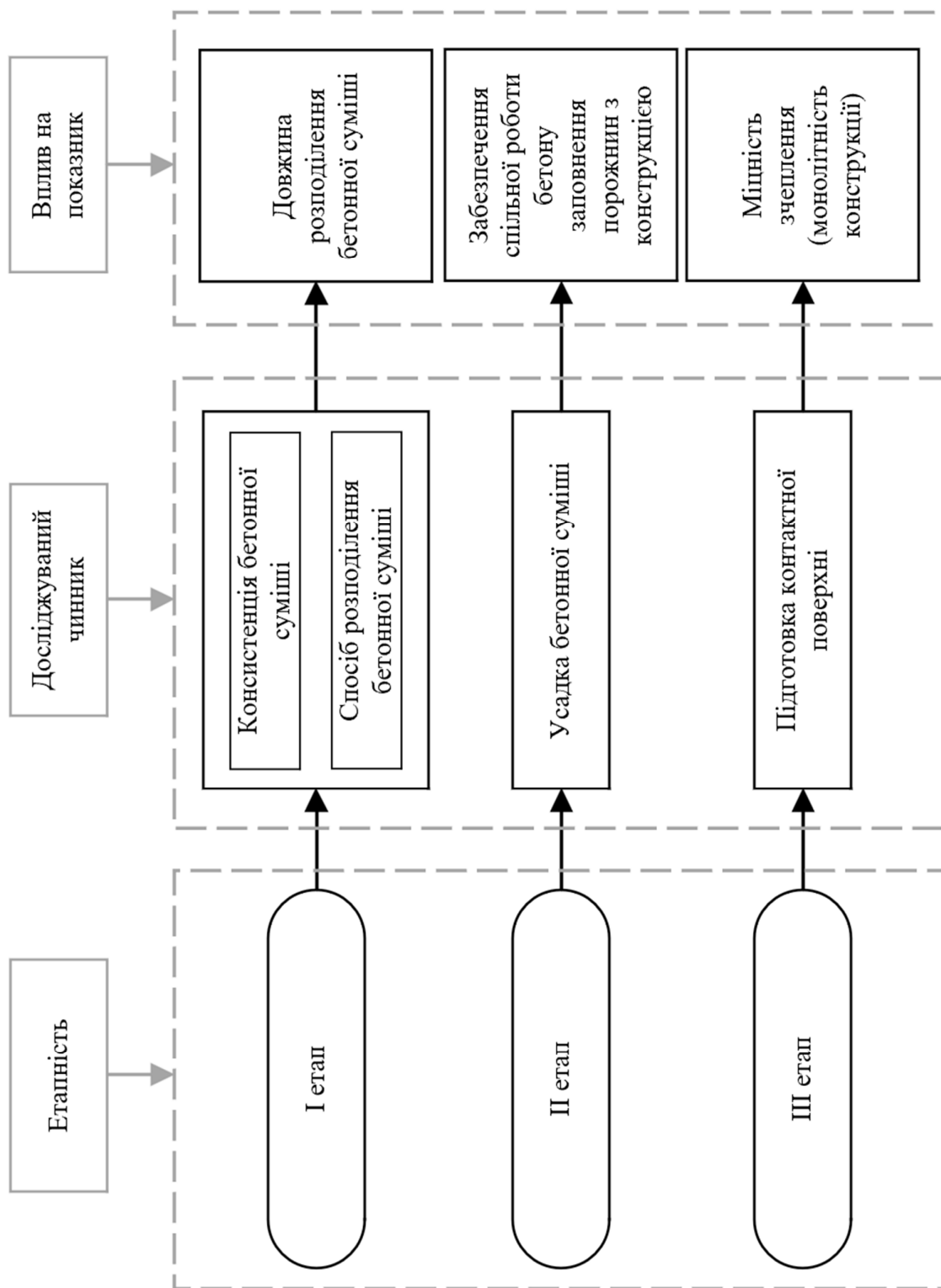


Рис. 3.1. Структурна схема експериментальних лабораторних досліджень з виявлення впливу конструктивно-технологічних чинників на технологію та якісні показники відновленої конструкції

Перший етап (I) експериментальних досліджень передбачає встановлення оптимальної консистенції та способів розподілення бетонної суміші для заповнення порожнин плити на відстань до 2 метрів (розрахунковий параметр) від місця її подавання. У першій частині даного етапу досліджень заплановано випробування трьох типів бетонних сумішей, які характеризувалися різною консистенцією: звичайна бетонна суміш (перший тип), бетонна суміш із додаванням пластифікатора (другий тип), бетонна суміш із додаванням суперпластифікатора (третій тип). У процесі експерименту, макети порожнин круглопустотної плити підлягатимуть заповненню різними бетонними сумішами. За результатами проведених експериментів буде встановлено залежності довжини розподілення бетонної суміші від її консистенції, а окрім того, обрано бетонну суміш для подальших досліджень. У другій частині передбачено виявити вплив способів розподілення суміші на оптимальну відстані по довжині макету порожнини від точки укладання. Такі дослідження буде виконано із бетонною сумішшю, яка покаже найкращий результат в попередньому дослідженні. За результатами експерименту буде встановлено найбільш оптимальний спосіб розподілення бетонної суміші по порожнині. Окрім того, в межах даного етапу буде визначено міцність на стиск бетону з обраної бетонної суміші.

Отримані результати досліджень будуть враховані при формуванні технології відновлення функціональної придатності пустотних плит.

На **другому** етапі (II) досліджень планується вивчення можливості забезпечення спільної роботи бетонної суміші заповнення порожнин, після її тужавлення, разом із тілом існуючої плити. Для цього буде визначено фактичну усадку бетонної суміші після закінчення процесу її гідратації. Для цього, із бетонної суміші планується виготовлення балочок фіксованого розміру, після набору міцності яких, буде встановлено зменшення їх лінійних розмірів. За результатами дослідження буде зроблено висновок про усадкові властивості обраної бетонної суміші та можливість її застосування при заповненні порожнин залізобетонних плит при їх відновленні.

Третій етап (III) експериментальних досліджень буде направлено на виявлення найбільш оптимального способу підготовки внутрішньої поверхні порожнин плит для забезпечення достатньої міцності зчеплення бетону заповнення з бетоном конструкції, для попередження розшарування матеріалів у процесі експлуатації. Всього, буде досліджено 8 різних способів підготовки поверхні. Крім того, передбачено виконати розрахунок для встановлення мінімально необхідного значення міцності зчеплення, та порівняно з ним отримані показники. За результатами етапу буде зроблено висновок про можливість застосування окремих методів підготовки поверхні бетону конструкції, що забезпечують необхідну міцність зчеплення шарів.

У межах **четвертого** етапу (IV) буде проведено натурні дослідження з використанням повноцінних пустотних залізобетонних плит перекриття. Даний етап поділено на три підетапи, у межах кожного з яких буде проведено окреме експериментальне дослідження. На підетапі IV.I буде перевірено ефективність відновлення функціональної придатності пошкодженої пустотної плити шляхом встановлення додаткового армування і заповнення порожнин плити і втрачених частин бетонною сумішшю. Для цього, буде випробувано навантаженням нову плиту довжиною 6 метрів (встановлено залежність між моментом, що виникає у перерізі плити та її прогином), після чого, плиту буде пошкоджено. Відповідно до плану дослідження, буде відновлено функціональну придатність пошкодженої плити запропонованою технологією та проведено повторне випробування її навантаженням. У результаті буде зроблено висновки про ефективність запропонованої технології.

В межах підетапу IV.II буде виконано експериментальне дослідження ефективності застосування зовнішнього підсилення для підвищення опору перерізу дії згинального моменту шляхом наклеювання високоміцних вуглецевих елементів (вуглецевих ламелей) на розтягнуту зону плити. Такі елементи сприймають частину зусилля розтягу, що діє у перерізі, тим самим підвищують несучу здатність, а їх високий модуль пружності дозволяє значним чином зменшити прогин плити у процесі її навантаження. Для встановлення несучої здатності непідсиленої плити

спочатку буде виконано її навантаження до допустимого прогину, після чого навантаження зніметься. Після повернення плити до горизонтального положення її буде підсилено та виконано повторне навантаження. За результатами експерименту буде зроблено висновок про ефективність застосування підсилення розтягнутої зони пролітної конструкції зовнішнім армуванням.

У межах підетапу IV.ІІІ буде встановлено можливість застосування запропонованої технології для підсилення приопорної зони плити на дію поперечної сили. Насамперед буде проведено розрахунок фактичної несучої здатності непідсиленої плити на дію поперечного зусилля. Після чого, відповідну плиту буде підсилено і випробувано навантаженням. Експеримент вважатиметься успішним у випадку, якщо поперечна сила, що діятиме у перерізі плити, буде кратно вищою, ніж за розрахунком і конструкція не досягне першого граничного стану. За результатами проведеного експерименту буде зроблено висновок про ефективність застосування технології для підсилення пустотних плит на дію поперечної сили.

3.2. Дослідження довжини розповсюдження бетонної суміші всередині порожнини плити залежно від її консистенції та методів її розподілення

Метою даного етапу експериментальних досліджень було досягнення якомога більшого розповсюдження бетонної суміші усередині пустоти. Це необхідно для зменшення довжини штроб, які передбачено влаштувати по верхній грані плити, а відповідно, зниження загальної трудомісткості робіт з виконання відновлення та зменшення тривалості. Самі штроби необхідні для встановлення арматурних каркасів та вкладання бетонної суміші. При цьому, змінними параметрами були: консистенція бетонної суміші та можливі методи її проштовхування.

Проведення експериментальних досліджень відбувалося із використанням пластикових труб внутрішнім діаметром 150 мм, що імітують порожнини круглопустотних залізобетонних плит (159 мм).

У першій частині першого етапу експериментальних досліджень передбачено вкладати бетонну суміш через спеціально влаштований отвір поблизу одного із

торців труби із фіксацією довжини її розповсюдження та відсотку заповнення по довжині розповсюдження. Для можливості багаторазового використання труби та полегшення оцінки отриманих результатів експериментальних досліджень (встановлення довжини та відсотку розподілення бетонної суміші) трубу було розрізано вздовж та тимчасово скріплено половинки разом, а в торцях встановлено заглушки для попередження витікання бетонної суміші.

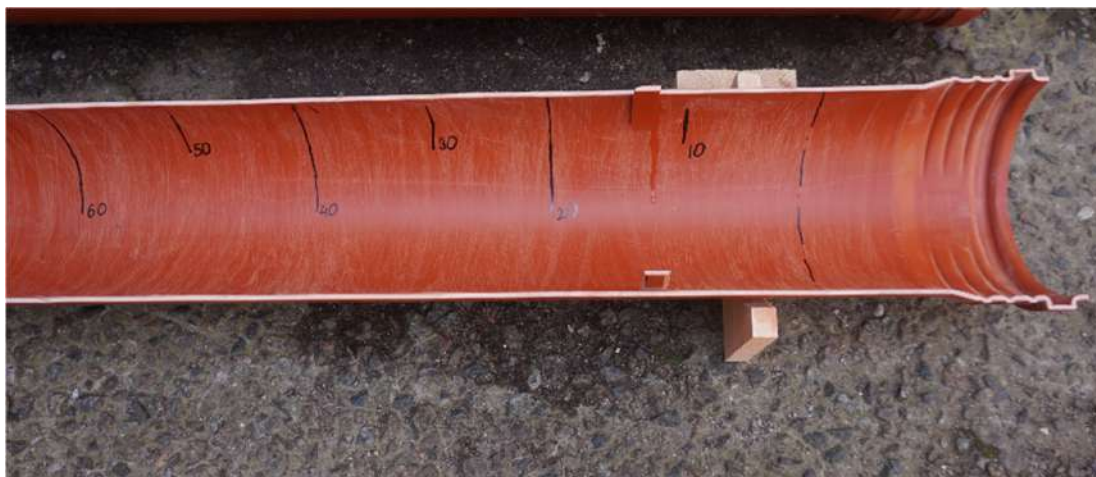
З огляду на те, що внутрішня поверхня порожнин плит має незначні нерівності/шороховатість, а поверхня пластикових труб є гладкою, для імітування поверхні пустот плити, внутрішню поверхню пластикових труб обробили наждачним папером, у результаті чого на їх поверхні з'явилися шороховатості. Також, в межах підготовки пластикових труб до проведення експериментальних досліджень, на їх внутрішню поверхню було нанесено градувальні позначки (поділки з кроком 10 см) для спрощення оцінки отриманих результатів.

Контроль наповненості труби у процесі експериментів за допомогою щупа, який пропускали у трубу через отвір діаметром 12 мм. Отвір влаштовано біля протилежного торця труби від отвору, через який вкладали бетонну суміш.

Для максимального наближення експериментів до реальних умов виконання відновлення функціональної придатності пустотних плит, усередині труби встановлювали арматурний каркас із композитного армування. В результаті чого створювався додатковий супротив вільному розтіканню бетонної суміші у процесі її укладання. Загальний вигляд труб для проведення першого етапу експериментальних досліджень наведено на рис. 3.1.



а



б

Рис. 3.1. Загальний вигляд труб для проведення першого етапу експериментальних досліджень: а – зовнішній вигляд; б – внутрішня поверхня

Кожну із сумішей вкладали через отвір у верхній частині труби і витримували технологічну перерву, необхідну для набору розопалубної міцності. Після чого розбирали трубу та оцінювали результати. Результати заповнення труб залежно від типу суміші наведено на рис. 3.2.

Дані, що були одержані за результатом проведення першої частини першого етапу експериментальних досліджень наведено в таблиці 3.1.



а



б



в

Рис. 3.2. Результати заповнення труб бетонними сумішами:
а – бетонна суміш загального призначення; б – бетонна суміш із додаванням пластифікатора; в – бетонна суміш із додаванням суперпластифікатора

Таблиця 3.1

Результати заповнення труб бетонними сумішами

Тип бетонної суміші	Довжина розповсюдження бетонної суміші, см										
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
	Заповнення, %										
Суміш №1 (звичайна бетонна суміш)	100	100	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Суміш №2 (бетонна суміш із введеними пластифікаторами)	100	100	99	0	-	-	-	-	-	-	-
Суміш №3 (бетонна суміш із введеними суперпластифікаторами)	100	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10

За результатами проведення першої частини першого етапу експериментальних досліджень побудовано графіки відсотку заповнення порожнини по довжині труби залежно від використаної бетонної суміші (рис. 3.3), та залежність довжини розподілення бетонної суміші у трубі від розливу конуса (рис. 3.4).

Дані експериментального дослідження показують, що із підвищенням легкоукладальності зростає довжина розповсюдження бетонної суміші, таким чином, для загальнобудівельної суміші довжина розподілення становить 40 см, для бетонної суміші із додаванням пластифікатора – 60 см (приріст становить 50 % порівняно із попереднім варіантом), для бетонної суміші із додаванням суперпластифікатора – 200 см (приріст становить 500 % від першого варіанту). Окрім того, можна зробити висновок, що зі збільшенням розливу конуса в два рази, розподілення бетонної суміші всередині труби збільшується майже в три рази.

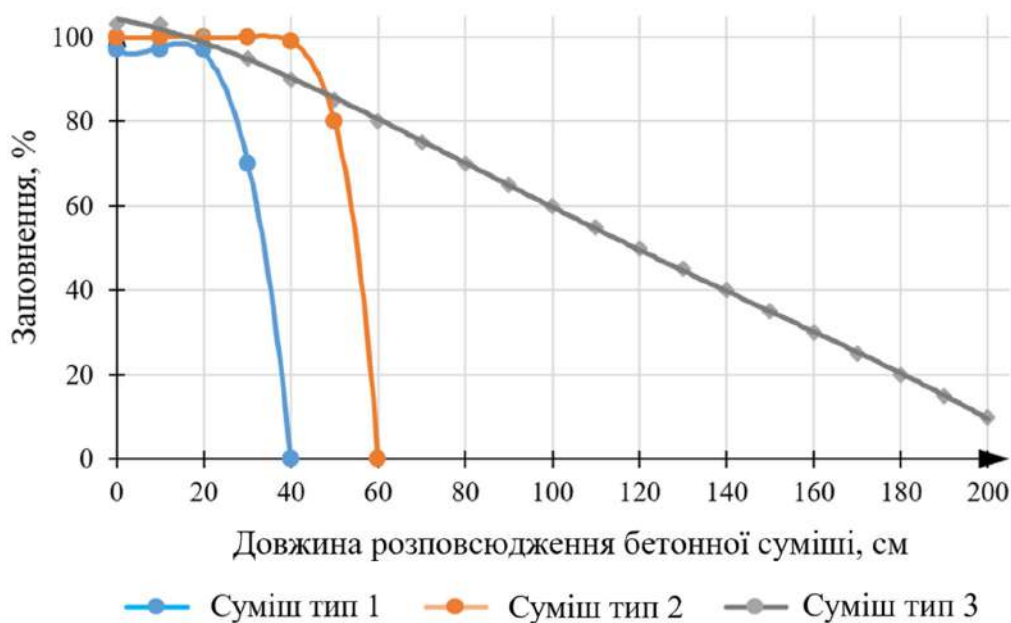


Рис. 3.3. Графіки відсотків заповнення порожнин по довжині труб залежно від використаної бетонної суміші

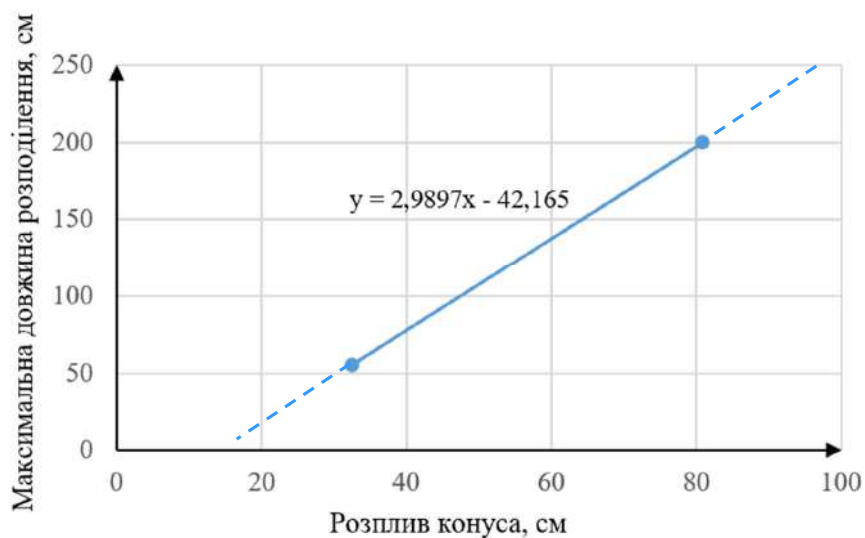


Рис. 3.4. Графік залежності довжини розподілення бетонної суміші у трубі від розливу конуса

За результатами проведеного експерименту, бетонна суміш із додаванням суперпластифікатора дозволила досягнути довжини розподілення в 200 см, що є найкращим результатом. Незважаючи на це, показники заповнення поперечного

перерізу порожнини по довжині, дозволяють припустити, що лише на ділянці в 20 % від загальної довжини стенду, бетонна суміш буде працювати спільно із тілом залізобетонної плити через недостатність заповнення поперечного перерізу порожнини (у найбільш віддаленій точці заповнення порожнини становить близько 10 %). Недостатність заповнення поперечного перерізу порожнини призведе до відшарування бетону заповнення порожнини від тіла плити, через що, втратиться спільна робота двох матеріалів і очікуваний позитивний ефект від заповнення порожнини буде нівельований.

Жодна із досліджуваних сумішей не дала бажаного результату по заповненню поперечного перерізу порожнини. Незважаючи на це, ймовірно, бажаних результатів вдасться досягти сукупним впливом властивостей матеріалів та технологією, зокрема із застосуванням методів розподілення (проштовхування) суміші.

Тому, для подальших експериментальних досліджень, було обрано суміш із додаванням суперпластифікатора (тип 3), оскільки саме вона дозволяє виконати заповнення перерізу порожнини у найбільш віддалених ділянках.

У другій частині першого етапу експериментальних досліджень було встановлено найбільш ефективний метод розподілення бетонної суміші всередині порожнин плити. Під ефективністю мається на увазі забезпечення заповнення поперечного перерізу порожнини близького до 100 % на всій довжині передбачуваної ділянки.

У межах даної частини дослідження, заплановано виконати три серії експериментальних досліджень дві із яких передбачали використання різних способів розподілення бетонної суміші (вібруванням та проштовхуванням), а одна була контрольною (без розподілення).

Для імітації порожнини залізобетонної круглопустотної плити було так само використано пластикові труби, однак діаметром 110 мм для зменшення матеріалоємності дослідження.

У якості джерела вібрацій використовували віброшліфувальну машину, яку прикладали до поверхні труби у процесі її заповнення. Вібрації, що створювалися у процесі, сприяли розповсюдженню бетонної суміші по довжині труби. Для

проштовхування бетонної суміші у процесі експериментальних досліджень застосовували стрержень композитної арматури, оскільки вона гнучка і має періодичний профіль, що, має допомогти покращити розподілення суміші. Процес вкладання та розподілення бетонної суміші всередині порожнини наведено на рис. 3.5.



а



б

Рис. 3.5. Процес розподілення бетонної суміші в порожнині плити:

а – із використанням віброшліфувальної машини;

б – із використанням проштовхування арматуриною

Фотографії результатів даних досліджень наведені на рис. 3.6.



а



б



в

Рис. 3.6. Результати експериментальних досліджень із заповнення труб із додатковими заходами розповсюдження суміші: а – контрольний експеримент; б – розподілення із використанням прошовування; в – розподілення із використанням вібрування

Результати експерименту занесено до таблиці 3.2. За цими даними побудовано залежність заповнення перерізу труб бетонною сумішшю від способу її розподілення (рис. 3.7).

Таблиця 3.2

Результати експериментальних досліджень з заповнення труб при різних способах розподілення бетонної суміші

Спосіб розподілення суміші	Довжина розповсюдження бетонної суміші, см										
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
	Заповнення, %										
Без розподілення	100	97	95	92	90	88	85	80	75	72	70
Проштовхуванням	100	100	100	100	100	100	98	96	95	92	90
Вібрування	100	100	100	100	100	100	100	98	96	93	91

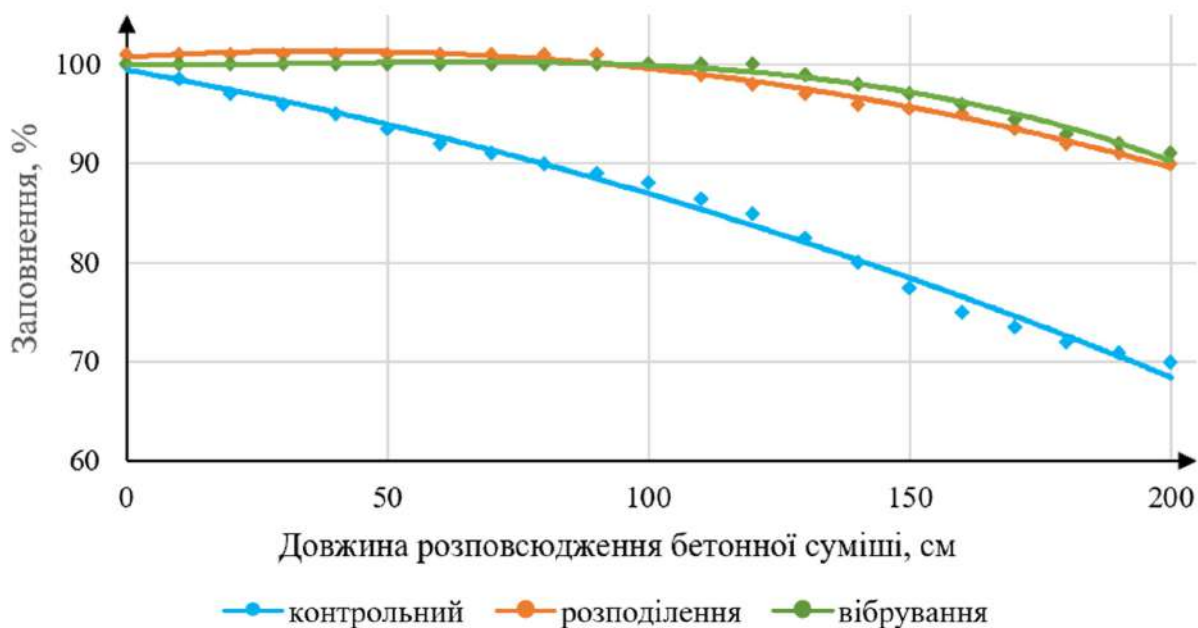


Рис. 3.7. Графіки залежностей заповнення перерізу труб від способу розподілення суміші

Відповідно до результатів дослідження, способи розподілення суміші дозволили суттєво збільшити відсоток заповнення перерізу труби для найбільш віддаленого перерізу з 70 % (контрольний зразок) до 90 та 91 % для проштовхування та вібрування відповідно. Окрім того, стовідсоткове заповнення перерізу труби

зберігається на довжину до 100 см для проштовхування та до 120 см для вібрування. Незважаючи на те, що вібрування показало вищий відсоток заповнення, різниця даного методу із проштовхуванням є мінімальною (1-2 %) і знаходиться на межі статистичної похибки, а тому, можна вважати, що їх ефективність однакова.

Запропонована технологія, що і досліджується, ефективно дозволить відновлювати функціональну придатність пустотних плит лише за умови, що порожнини будуть заповнені на 100 % перерізу. Для одержання даного результату, було удосконалено методику заповнення порожнин наступним чином. У найвіддаленішій точці від місця подавання суміші, влаштувати невеликий отвір діаметром 50-80 мм, через який подати невеликий обсяг суміші для остаточного заповнення порожнини (за необхідності). Після чого виконати штикування суміші через цей отвір для унеможливлення утворення розшарування. При цьому додаткові отвори будуть використані для контролю заповнення порожнини. У поєднанні запропонованих заходів вдасться створити однорідну монолітну структуру поєднання двох матеріалів (існуючого бетону плити та укладеної бетонної суміші).

3.3. Дослідження усадки обраної бетонної суміші у процесі її набору міцності

З аналізу науково-технічної літератури відомо, що звичайна бетонна суміш у процесі тужавлення має усадку [63]. Це пов'язано з наявністю значного обсягу води в її об'ємі та подальшим її випаровуванням чи всмоктуванням у бетон існуючої конструкції. Це може призвести до відсутності з'єднання між ремонтним розчином та бетоном конструкції, що у свою чергу унеможливить спільну роботу елементів у межах однієї конструкції, що є недопустимим. Такий чинник може негативно вплинути на якість відновленої пустотної плити, а отже, не можна допустити його прояву у реальних умовах виконання робіт. У зв'язку з цим було проведено експериментальні дослідження із визначення усадки для суміші №3. Оскільки саме з цією сумішшю було отримано найкращі результати у попередніх дослідженнях.

Випробування проводили за методикою, подібною до тієї, що описана в [64]. Для цього, з суміші з додаванням суперпластифікатору було виготовлено дві

прямокутні балочки, початкова довжина яких становила 256 мм. Після набору початкової міцності вони були розпалублені для подальшого зберігання для остаточного набору міцності бетону протягом 120 діб. Зберігали бетонні балочки у вологонасиченому середовищі при вологості 60 ± 5 % і температурі $20^\circ \pm 2^\circ$ С.

Після чого було повторно виміряно загальну довжини балочок, яка становила 255 мм. Процес виготовлення та вимірювання балочок наведений на рис. 3.8.



а



б



в

Рис. 3.8. Процес виготовлення та вимірювання балочок після їх гідратації:
а – балочки у процесі виготовлення; б, в – визначення довжини балочок після їх
гідратації

Таким чином, фактична усадка бетонної суміші становить:

$$\left(1 - \frac{255}{256}\right) \times 100\% = 0.39\%$$

У загальноприйнятій будівельній практиці, усадка бетонної суміші не повинна перевищувати межі в 3 %. Зважаючи на отримані результати, даний склад бетонної суміші із суперпластифікатором (суміш тип 3) можна вважати безусадочним. Використання такої бетонної суміші забезпечить спільну роботу елементів відновлення з існуючим бетоном плити, завдяки властивості суміші зберігати свої геометричні розміри, а, отже, без відшарування від існуючого бетону при наборі міцності.

3.4. Дослідження впливу способів підготовки поверхні на міцність зчеплення шарів бетону

Міцність зчеплення між бетоном заповнення порожнин та бетоном плити є важливим для забезпечення спільної роботи згинальних залізобетонних конструкцій, оскільки при дії згинального моменту виникають дотичні напруження у тілі конструкції плити. При збільшенні моменту, так само відбувається збільшення дотичних напружень, що, може призвести до проковзування бетону заповнення порожнин плити із бетоном плити, що є неприпустимим. Саме тому, забезпечення надійної міцності зчеплення між двома матеріалами – важлива складова для технології відновлення функціональної придатності пустотних плит.

Для дослідження міцності зчеплення між бетоном заповнення та бетоном плити було обрано різні варіанти підготовки основи, які можна виконати в умовах обмеженого простору порожнини круглопустотної плити. Серед них:

- 1) знепилення;
- 2) знепилення та зволоження;
- 3) механічна обробка та знепилення;
- 4) механічна обробка, знепилення та зволоження;
- 5) знепилення із подальшим нанесенням епоксидного ґрунту Marex Eporip;

- б) механічна обробка, знепилення із подальшим нанесенням епоксидного ґрунту Marei Epogip;
- 7) знепилення із подальшим нанесенням суміші Marefer 1k;
- 8) механічна обробка, знепилення із подальшим нанесенням суміші Marefer 1k;

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено бетонні плитки із бетону марки, аналогічного до того, що використовується для виготовлення залізобетонних пустотних плит. Клас міцності на стиск становив С20/25. Загальний вигляд бетонних плиток для випробовування міцності зчеплення наведено на рис. 3.9.



Рис. 3.9. Зовнішній вигляд бетонних плиток для визначення міцності зчеплення

Після виготовлення плиток, їх поверхня була розмічена на зони кожна з яких була підготовлена різними способами (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Бетонна плитка із різною підготовкою поверхні

Після підготовки поверхні, на неї вклали шар бетонної суміші №3. Після витримання технологічної перерви для набору міцності бетоном, було проведено випробування із визначення міцності зчеплення. Для цього, на поверхню зразків на епоксидний клей наклеєно сталеві пластини, і виконано прорізання основи навколо них. Після цього, за допомогою адгезіометра створювали зусилля відриву та фіксували його результат.

Результати визначення міцності зчеплення бетонів для кожного із способів підготовки основи, наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати визначення міцності зчеплення бетонів для різних способів
підготовки основи

№	Номер серії дослідів	Спосіб підготовки основи	Міцність, МПа		Тип відриву
			Зразка	Середня по серії	
1	2	3	4	5	6
1	1	Знепилення	1,54	1,71	адгезивний (по стику шарів бетону)
2			1,72		
3			1,88		
4	2	Знепилення та зволоження	1,36	1,52	адгезивний (по стику шарів бетону)
5			1,51		
6			1,70		
7	3	Механічна обробка та знепилення	2,54	2,39	когезивний (по бетону основи)
8			2,48		
9			2,15		
10	4	Механічна обробка, знепилення та зволоження	2,51	2,40	когезивний (по бетону основи)
11			2,27		
12			2,42		
13	5	Знепилення із подальшим нанесенням епоксидного ґрунту Мареї Ерогір	1,08	1,28	адгезивний (по стику шарів бетону)
14			1,41		
15			1,34		
16	6	Механічна обробка, знепилення із подальшим нанесенням епоксидного ґрунту Мареї Ерогір	1,37	1,48	адгезивний (по стику шарів бетону)
17			1,46		
18			1,62		

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6
19	7	Знепилення із подальшим нанесенням суміші Мареі Марефер 1к	1,86	1,85	когезивний (по бетону основи)
20			1,92		
21			1,78		
22	8	Механічна обробка, знепилення із подальшим нанесенням суміші Марефер 1к	1,98	2,04	адгезивно- когезивний
23			2,02		
24			2,14		

Зовнішній вигляд зразків після визначення міцності зчеплення бетонів наведено на рис. 3.11.

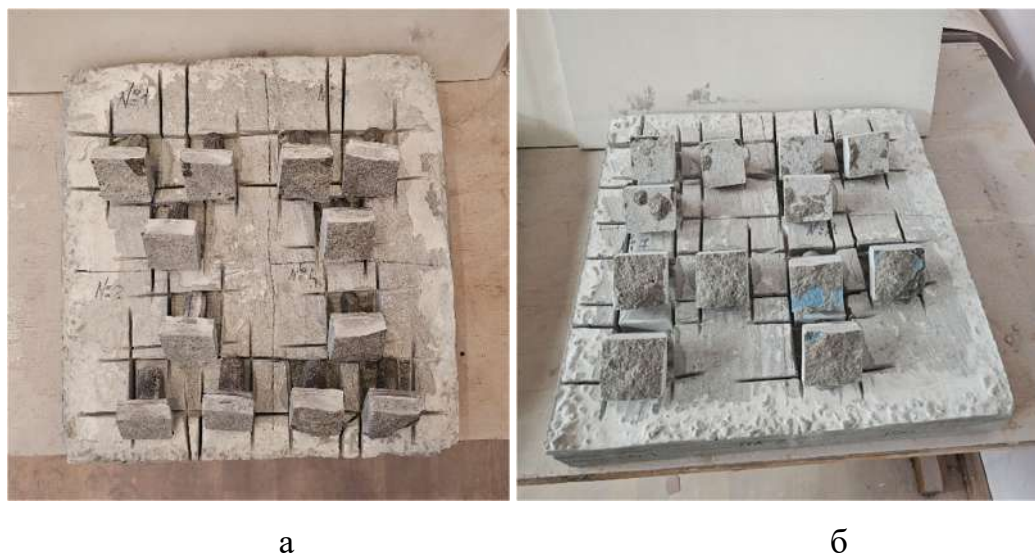


Рис. 3.11. Загальний вигляд зразків після випробування:

а – серії № 1-4; б – серії № 5-8

Для більш наочного представлення отриманих даних, було побудовано стовпчасту діаграму (рис. 3.12).

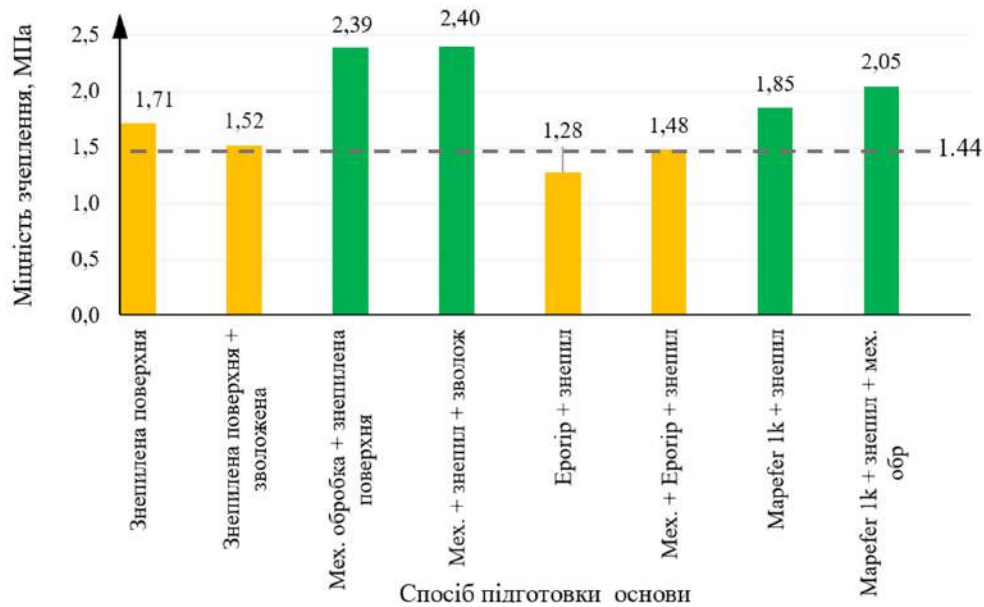


Рис. 3.12. Стовпчаста діаграма міцностей зчеплення бетонів при різних способах підготовки основи. 1,44 – розрахункове значення міцності зчеплення бетонів. Зеленим кольором виділені значення, які мали когезивний тип розриву, помаранчевим – адгезивний

За результатом експерименту із визначенням міцності зчеплення бетонних поверхонь із різними способами підготовки отримали наступні результати: середнє значенням міцності зчеплення при знепиленні поверхні становить 1.71 МПа, тип відриву – адгезивний по стику шарів бетону; значення міцності зчеплення при знепиленій та зволоженій поверхні становить 1.51 МПа, тип відриву – адгезивний по стику шарів бетону; значення міцності зчеплення при механічній обробці та знепиленні становить 2.4 МПа, тип відриву – когезивний по бетону основи; значення міцності зчеплення при механічній обробці, знепиленні та зволоженні становить 2.39 МПа, тип відриву – когезивний по бетону основи; значення міцності зчеплення при знепиленні і нанесенні епоксидного ґрунту Ерогір 1.28 МПа, тип відриву – адгезивний по стику шарів бетону; значення міцності зчеплення при механічній обробці та знепиленні із нанесенням епоксидного ґрунту Ерогір 1.48 МПа, тип відриву – адгезивний по стику шарів бетону; значення міцності зчеплення при знепиленні і нанесенні суміші Марефер 1к становить 1.85 МПа, тип відриву –

когезивний; значення міцності зчеплення при механічній обробці, знепиленні і нанесенні суміші Marefer 1k становить 2.04 МПа, тип відриву – когезивний.

Виконуючи аналіз одержаних результатів, можна сказати, що найвище значення міцності зчеплення отримано після виконання механічної обробки, знепилення та зволоження, а також виконання механічної обробки та знепилення (близькі значення із розбіжністю менше 1 %). Також, високим значення міцності зчеплення характеризується дослідження зі знепиленням із нанесенням суміші Marefer 1k та механічною обробкою у поєднанні із знепиленням і нанесенням суміші Marefer 1k (значення міцності зчеплення нижчі за механічну обробку із знепиленням на 23 та 15 % відповідно). Можна зробити висновок про те, що способи підготовки поверхні, для яких характерний когезивний розрив основи при випробуванні (показані зеленим кольором на рис. 3.12), мають високу міцність зчеплення. Деяко нижчі показники зчеплення для зразків зі знепиленням із нанесенням суміші Marefer 1k та механічною обробкою у поєднанні із знепиленням і нанесенням суміші Marefer 1k. Це можна пояснити нижчою міцністю бетонної плитки основи, оскільки розриви були саме по ній.

Використання епоксидного ґрунту показало найнижчі значення міцності зчеплення у комбінації із знепиленням та механічною обробкою і знепиленням (значення нижчі механічної обробки із знепиленням на 47 та 38 % відповідно).

Інші способи підготовки основи також мали адгезійний тип розриву (на рис. 3.12 позначені помаранчевим кольором). Через це їх значення міцності зчеплення нижчі за ті варіанти підготовки основи, для яких характерним є когезивний тип розриву.

За результатами визначення міцності зчеплення було отримано широкий діапазон значень. Для того, щоб оцінити придатність різних способів підготовки поверхні до застосування в разі підсилення пошкодженої плити, необхідно встановити, які напруження діятимуть на межі бетону плити та бетонного заповнення. Після чого, необхідно порівняти розрахункове значення із отриманими експериментальними показниками міцності зчеплення. Для цього, знайдемо значення напружень, що діють у перерізі шляхом розрахункового моделювання

круглопустотної плити, що сприймає корисне та постійні навантаження, як для квартири житлового будинку за [65].

У якості вихідних даних приймаємо типову залізобетонну пустотну плиту товщиною $t = 220$ мм, шириною $b = 1200$ мм, довжиною $L = 6000$ мм, діаметр порожнини $d = 190$ мм, діюче навантаження $q = 3$ кН/м².

Тоді максимальний момент, що діє в перерізі:

$$M_{\max} = \frac{q b L^2}{8} = \frac{3 \times 1.2 \times 6^2}{8} = 16.2 \text{ кНм}$$

Момент опору перерізу:

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{1.2 \times 0.22^2}{6} = 0,00968 \text{ м}^3$$

Максимальні нормальні напруження у перерізі:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{16.2}{0.00968} \times 10^{-3} = 1.67 \text{ МПа}$$

Напруження у перерізі в місці з'єднання бетону плити з бетоном заповнення порожнин (3.6):

$$\sigma = \frac{\sigma_{\max} d}{t} = \frac{1.67 \times 190}{220} = 1.44 \text{ МПа}$$

Таким чином, найбільші нормальні напруження по місцю з'єднання бетону плити та бетону заповнення порожнин становить 1.44 МПа.

Порівнюючи дане розрахункове значення із встановленими міцностями зчеплення, можна зробити висновок, що для досліджуваного навантаження на плиту, всі способи підготовки бетонної основи задовольняють вимогам зчеплення, за винятком способу №5 (1,28 МПа), який полягає у знепиленні поверхні із подальшим нанесенням епоксидного ґрунту Marex Epopip.

Однак, за результатами експериментальних досліджень, при застосуванні окремих способів підготовки поверхні, тип розриву при визначенні міцності зчеплення, був адгезивним. Це вказує на можливість розшарування таких бетонів у процесі експлуатації або позапроектних впливів. Тому, такі способи на практиці застосовувати не рекомендовано. Рекомендовано застосування лише тих способів, при яких розрив при визначенні міцності зчеплення був когезивним.

3.4. Дослідження технології відновлення функціональної придатності пустотних плит у натурних умовах

У попередніх підрозділах викладено результати ряду експериментальних досліджень з виявлення впливу конструктивно-технологічних чинників на якість відновлених пустотних плит. Також отримані результати досліджень дають можливість сформулювати технологію відновлення функціональної придатності таких плит з забезпеченням їх якісних показників. Досліджені показники та їх вплив та рекомендовані їх значення для відновлення функціональної придатності пустотних плит наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Досліджені чинники та їх рекомендовані значення

№	Досліджений чинник	Рекомендоване значення чинника
1	Консистенція бетонної суміші	Марка бетонної суміші за розпливанням конуса – F6, діаметр розпливання конуса 810 мм
2	Спосіб розподілення бетонної суміші	Відбрування чи проштовхування
3	Підготовка контактної поверхні	Механічна обробка, знепилення та зволоження; механічна обробка та знепилення; знепилення із нанесенні суміші Mapefer 1k; механічна обробка у поєднанні із знепиленням і нанесенням суміші Mapefer 1k

Натурні дослідження технології відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит будуть проведені із рекомендованими параметрами чинників, які одержано за результатами лабораторних експериментальних досліджень. Перевірку технології в умовах, наближених до реальних, виконано відповідно до розробленої програми досліджень, що наведена у розділі 2.

На даному підтапі (IV.I) передбачено дослідити ефективність запропонованої технології відновлення функціональної придатності пустотних плит в натурних умовах.

У якості дослідної конструкції було обрано нову пустотну залізобетонну плиту заводського виготовлення (ПК60-10-8) з наступними параметрами: довжина – 6,0 м, ширина – 1,0 м, висота – 0,22 м, розрахункове навантаження – 7,85 кПа.

Плиту встановили на опори, які були шарнірно-рухомого та шарнірно нерухомого типів. Для обмеження прогину плити після вичерпання її несучої здатності, було встановлено залізобетонний упор в середині її прольоту. Проліт плити після монтажу на опори становив 5,85 метри. Перед випробуванням плиту було оглянуто на наявність дефектів чи пошкоджень та встановлено, що вони відсутні.

Схема випробування плити наведена на рис. 3.13.

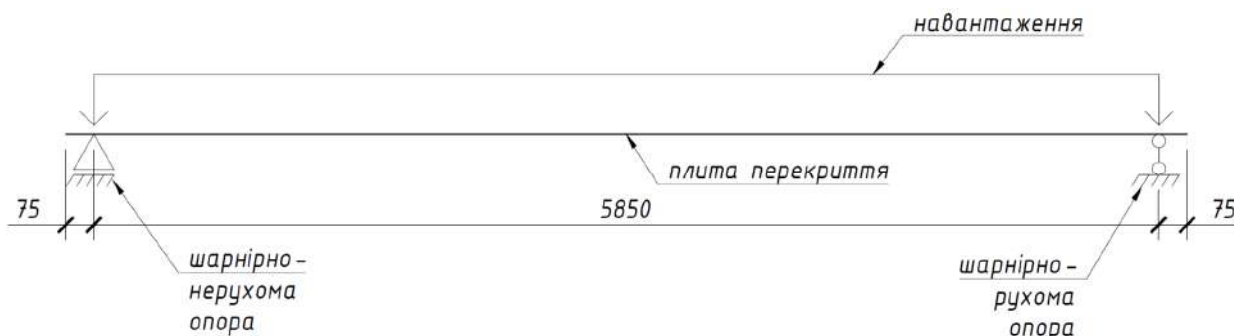


Рис. 3.13. Схема випробування плити

У подальшому виконували визначення експлуатаційних характеристик дослідної залізобетонної плити шляхом поетапного її завантаження

залізобетонними блоками. Перенесення та встановлення вантажу виконували за допомогою кран-балки.

На кожному із етапів навантаження плити, додавали по 200 або 400 кг та визначали її прогин. При цьому блоки встановлювали у кілька ярусів. Процес навантаження плити наведено на рис. 3.14.



Рис. 3.14. Процес навантаження плити

При цьому, відповідно до нормативних документів [66], вертикальний граничний прогин для плити, довжиною 6 метрів становить $1/200$ прольоту (таблиця 1, п.2 (а)), що дорівнює 29 мм.

Втрата несучої здатності плити відбулося через утворення пластичного шарніру в нормальному перерізі середньої третини прольоту плити, через що, армування не в змозі було сприйняти зовнішнє навантаження.

Зовнішній вигляд плити після завершення випробування наведено на рис. 3.15.



Рис. 3.15. Зовнішній вигляд плити після випробування

При падінні плити на упор в її центральній частині, відбулося повне розкришування бетону (рис. 3.16). Таким чином, плита набула критичних (суттєвих) пошкоджень та потребує відновлення. Слід зазначити, що класичними існуючими методами відновити функціональну придатність пустотної плити з такими пошкодженнями неможливо. Також слід наголосити, що при такому пошкодженні на об'єктах будівництва плита відразу впаде та вже не підлягатиме відновленню. Відновленню підлягатимуть плити, які знаходяться у значно кращому стані і при цьому знаходяться у своєму проектному положенні (можливо з понаднормовими прогинами). Тобто вдале відновлення функціональної придатності саме цієї пошкодженої плити вказуватиме на гарантовану можливість відновлення подібних конструкцій у кращому стані.

За результатами огляду плити встановлено, що повністю відсутня середня третина конструкції завдовжки 1,7 метри.

Частини зруйнованої плити, що залишилися, вклали в опалубку, в якій і виконуватиметься її відновлення.

У першу чергу у верхній полиці плити, вздовж її пустот, влаштували штроби через які в подальшому встановлювали арматурні каркаси. Крім цього, через них розподіляли бетонну суміш усередині пустот, тим самим забезпечуючи повне заповнення нею порожнин.



Рис. 3.16 – Зовнішній вигляд плити після очищення від зруйнованого матеріалу

Відповідно до результатів досліджень виконаних раніше (п. 3.4) для забезпечення достатньої адгезії між бетонним розчином заповнення пустот та існуючим тілом плити було виконано підготовку їх внутрішньої поверхні. Вона полягала в механічній обробці поверхні, її знепиленні та нанесенні суміші Mapei Mapefer 1k.

Після процесу підготовки порожнин плити у них встановлювали арматурні каркаси. Кількості та діаметри арматурних стержнів були попередньо розраховані у програмі «Арбат» програмного комплексу «Scad Office». У межах розрахунку прийнято постулат про те, що існуюче армування не бере участі в сприйнятті внутрішніх зусиль, що діють в перерізі, через те, що у процесі навантаження у ньому утворився шарнір пластичності (матеріал арматурних стержнів почав працювати за межами пружних деформацій).

Розрахунок необхідного армування для відновлення плити проводився відповідно до вимог діючих нормативних документів, зокрема [5, 62, 65, 67]. Це необхідно для врахування особливостей роботи плити як згинного залізобетонного елемента, а також врахування всіх особливостей залізобетону як композитного матеріалу для виготовлення несучих будівельних конструкцій.

Вихідними даними для розрахунку були:

- довжина прольоту $l = 5,7$ м;

- ширина плити $b = 1,0$ м;
- товщина плити $h = 220$ мм;
- захисний шар бетону $a = 45$ мм;
- розрахункове навантаження $q = 7,85$ кПа (як розрахункове гарантоване навантаження, яке здатна витримати плита);
- клас міцності арматури – А500С;
- клас міцності бетону – С32/40 (для бетону заповнення порожнин).

Розрахунок необхідного армування плити наведено у Додатку Б до даної роботи.

Відповідно до результатів розрахунку плити, підібране армування розтягнутої зони плити становить $5\emptyset 12$ для приопорних третин плити і $10\emptyset 16$ для центральної третини плити.

З урахуванням всіх конструктивно-технологічних вимог, запроєктовано та виготовлено плоскі арматурні каркаси, армування яких підібрано за результатами розрахунку. Креслення виготовлених арматурних каркасів наведено на рис. 3.17.

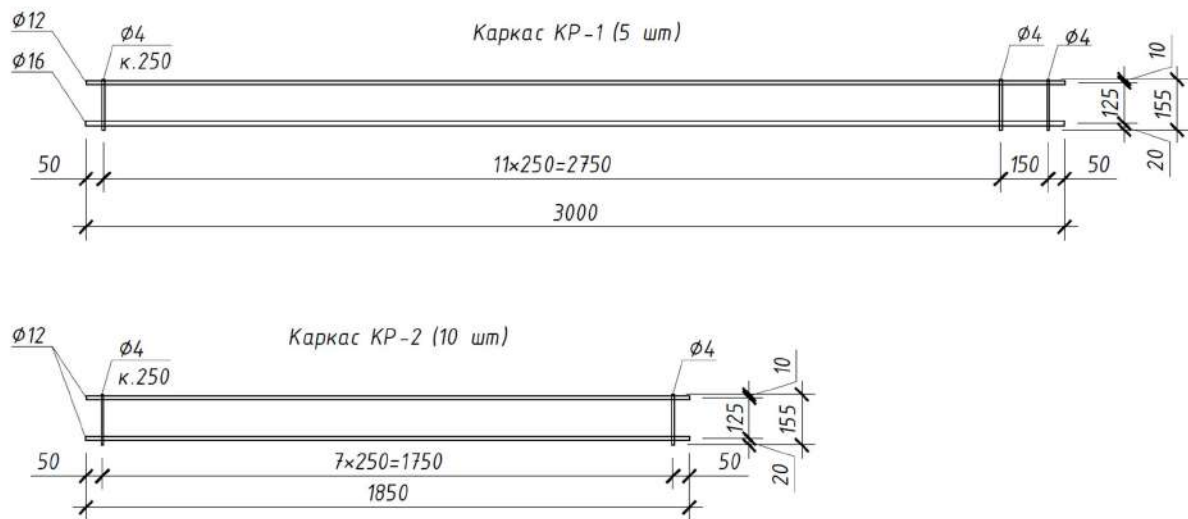
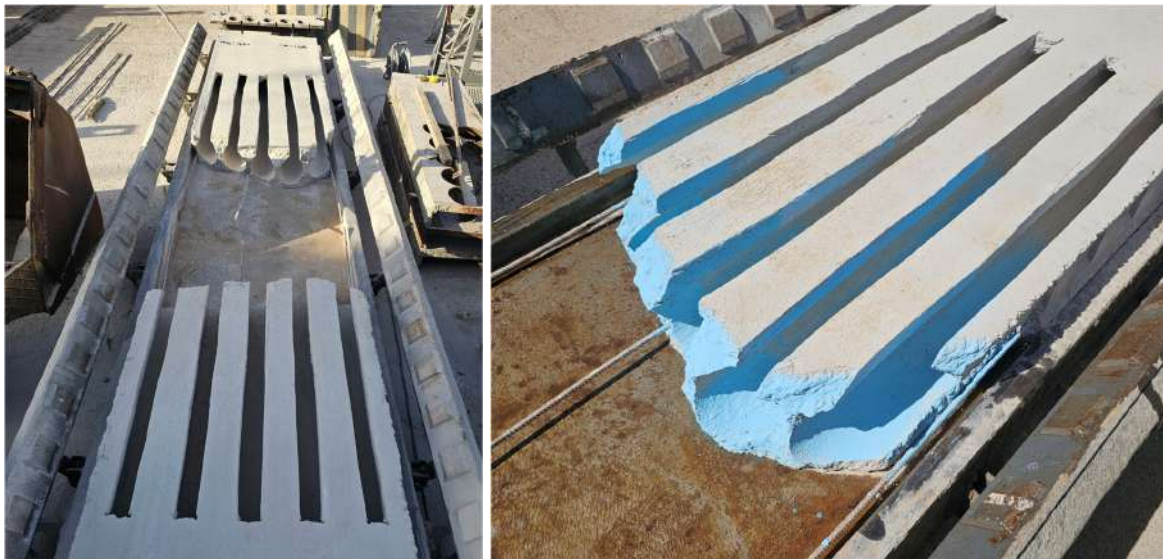


Рис. 3.17. Креслення арматурних каркасів необхідних для відновлення плити

Виготовлені каркаси встановлено у раніше підготовлені порожнини плити через штроби. По довжині, каркаси з'єднано зварюванням, що необхідно для передачі зусиль розтягу/стиску по довжині арматурних стержнів.

У подальшому виконано закривання всіх торцевих отворів плити, а також нещільностей у місцях примикання плити до опалубної форми із використанням монтажної піни. Це необхідно для попередження витікання бетонної суміші заповнення, через нещільності конструкції. Процес підготовки плити до заповнення бетонним розчином наведено на рис. 3.18.



а

б



в

Рис. 3.18. Процес підготовки плити до заповнення бетонною сумішшю:
а – вкладання елементів плити у опалубку та прорізання штроб; б – механічна обробка внутрішньої поверхні порожнин та нанесення антикорозійної суміші;
в – заповнення торців отворів та встановлення виготовлених арматурних каркасів

Для заповнення пустот та порожнин (втрачені ділянки) плити, було використано розчин, що показав найкращі результати при лабораторних дослідженнях (п. 3.2).

Для заповнення пустот та порожнин плити було використано близько 0.9 м^3 бетонної суміші. Зважаючи на попередні дослідження з встановлення ефективності методів розподілення бетонної суміші всередині порожнин, було використано проштовхування бетонного розчину у процесі його укладання.

Для попередження швидкого випаровування вологи з свіжовкладеного розчину, плиту було накрито поліетиленовою плівкою. У процесі тужавлення та набору міцності бетоном виконували догляд за ним протягом 28 діб, шляхом зволоження зовнішньої поверхні та попередження її висихання за [68]. Процес бетонування та догляду за бетоном заповнення порожнин та пустот наведено на рис. 3.19.



а

б

Рис. 3.19. Зовнішній вигляд плити після бетонування:

а – заповнення плити бетонним розчином; б – процес догляду за бетоном

Після відновлення функціональної придатності пустотної плити, знову провели випробування на сприйняття нею згинального моменту. Процес повторного випробування відновленої плити наведено на рис. 3.20.



Рис. 3.20. Процес повторного випробування відновленої плити

Відновлену плиту випробовували за тією ж методикою, що і нову, а саме – на кожному із етапів навантаження плити, додавали по 200, 400 або 500 кг ваги залізобетонних блоків. При цьому блоки встановлювали у кілька ярусів. Після кожного із етапів навантаження визначали прогин пустотної залізобетонної плити.

Досягти I чи II групи граничних станів у процесі проведення експерименту не вдалося, оскільки були відсутні навантажувальні блоки у достатній кількості. Однак, сумарне навантаження на плиту становило 10 800 кг, що у 1.7 рази більше, ніж витримала плита заводського виготовлення. У кінці дослідження, набутий прогин плити становив 22 мм (допустимий 29 мм), при цьому, момент, що сприймався перерізом плити становив 104,3 кНм. У середньому, плитою сприймалося навантаження 2438 кг/м².

Результати випробувань плити наведено у порівняльній таблиці 3.5, схему випробування із основними величинами фіксації наведено на рис. 3.21.

Таблиця 3.5

Результати експериментальних досліджень із навантаження плити до та після відновлення

№ етапу завантаження	Приріст навантаження етапу F, кН	Положення центру ваги навантаження, відносно початку плити l, м	Момент, що діє в перерізі M, кНм	Нова плита		Відновлена плита	
				Прогин d ₁ , мм	Примітки	Прогин d ₂ , мм	Примітки
1	2	3	4	5	6	7	8
1	4	3,16	5,8	6		0	
2	4	2,69	10,80	8		0	
3	4	2,21	15,60	8		0	
4	4	3,64	19,62	10		1	
5	4	4,11	23,37	10		1	
6	4	1,74	26,58	13	утворення волосяних тріщин розтягнутої зони	1	
7	4	4,59	29,30	19		2	
8	4	1,26	31,60	91		3	
9	4	0,79	33,30	91		3	
10	4	5,06	34,78	22		4	
11	4	2,92	40,63	37		4	
12	4	2,45	45,54	45		7	
13	4	3,40	50,43	56		9	
14	4	1,97	54,38	82		9	
15	4	3,08	59,91	137		9	
16	2	1,50	61,41	153		-	
17	2	4,35	62,91	189		-	
18	2	1,50	64,41	-	руйнування плити	10	
19	2	4,35	65,91	-		11	
20	5	0,90	68,16	-		14	
21	5	4,94	70,43	-		14	
22	5	4,25	74,43	-		14	
23	5	1,59	78,41	-		17	
24	5	3,59	84,13	-		18	
25	5	2,26	89,71	-		19	утворення волосяних тріщин розтягнутої зони
26	5	2,92	97,02	-		22	
27	5	2,92	104,3	-		22	

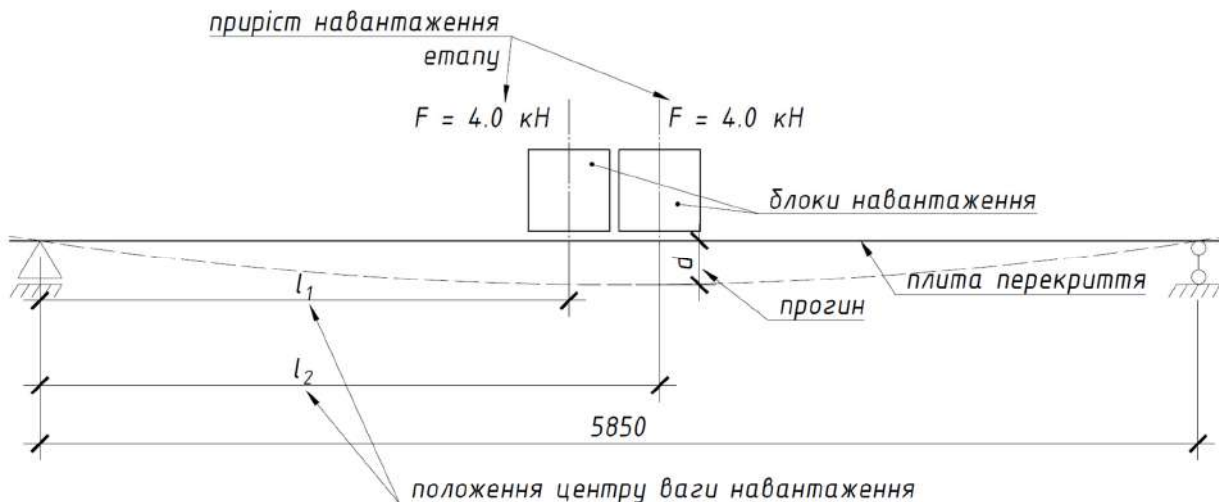


Рис. 3.21. Схема проведення експерименту із позначенням основних величин вимірювання

Для полегшення сприйняття даних, що наведені у таблиці вище, було побудовано графік залежностей прогину від моменту сил у перерізі плити (рис. 3.22).

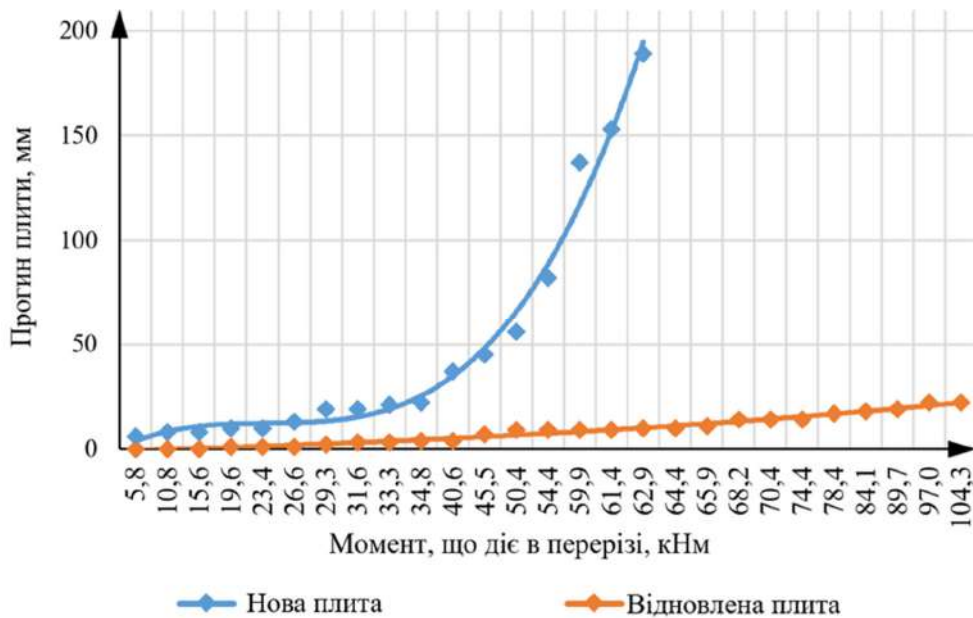


Рис. 3.22. Графік залежностей прогину плит від моменту, що на них діє

Як видно із графіку (рис. 3.22), після виконання відновлення плити її жорсткість суттєво зросла, чим пояснюються значно менші прогини, порівняно із новою, а також значно більш пізній етап утворення тріщин розтягнутої зони.

Відповідно до графіку, спочатку залежність «прогин-момент» має близький до лінійного характер, тобто, арматура плити працює в межах пружних деформацій. Після досягнення моменту в 30-40 кНм, графік починає набувати експоненційного характеру, що свідчить про появу пластичних деформацій у армуванні. Така зміна характеру графіку свідчить про наближення 1-го граничного стану.

На противагу графіку залежності прогину від моменту для нової плити, графік відновленої плити має характер близький до лінійного на всіх стадіях навантаження. Таким чином, можна сказати, що елементи конструкції плити працювали в межах пружних деформацій. Незважаючи на середнє навантаження в 2438 кг/м^2 , досягти втрати несучої здатності плити не вдалося.

За результатами наведених експериментальних досліджень, можна із упевненістю стверджувати, що технологія відновлення функціональної придатності пустотних плит шляхом встановлення додаткового армування із подальшим заповненням пустот високорухливою бетонною сумішшю є ефективною та може застосовуватися на реальних об'єктах будівництва.

На підетані (IV.П) передбачено дослідити ефективність застосування зовнішнього підсилення розтягнутої зони залізобетонної пустотної плити для зменшення її прогинів у процесі експлуатації.

Для плит прольотом понад 6,0 метрів, при відновленні їх функціональної придатності (за умови необхідності виконання ремонту значних пошкоджень із частковою чи повною втратою несучої) здатності доцільним є конструктивно-технологічні заходи, які допоможуть зменшити прогини таких плит у процесі експлуатації. Наприклад, у випадку надмірних прогинів на поверхні опорядження, що нанесено на розтягнуту зону перерізу, можуть утворитися тріщини. Або ж, при надмірних прогинах, на перегородки, які знаходяться під плитою, можуть спиратися плити, а оскільки перегородки не розраховані на сприйняття зусиль, то в

їх тілі можуть утворюватися тріщини, або ж перегородки можуть втрачати стійкість із площини.

Експериментальні дослідження полягали у порівнянні прогинів плити до підсилення зовнішнім вуглецевим армуванням та після.

Для проведення дослідження, було обрано круглопустотну плиту ПК40-10-8, яку встановили на опори (шарнірно-рухома та шарнірно нерухома). Проліт плити після монтажу її на опори становив 3.7 метри. Перед випробуванням плиту було оглянуто на наявність дефектів чи пошкоджень та встановлено, що вони відсутні.

Схема випробування плити наведена на рис. 3.23.

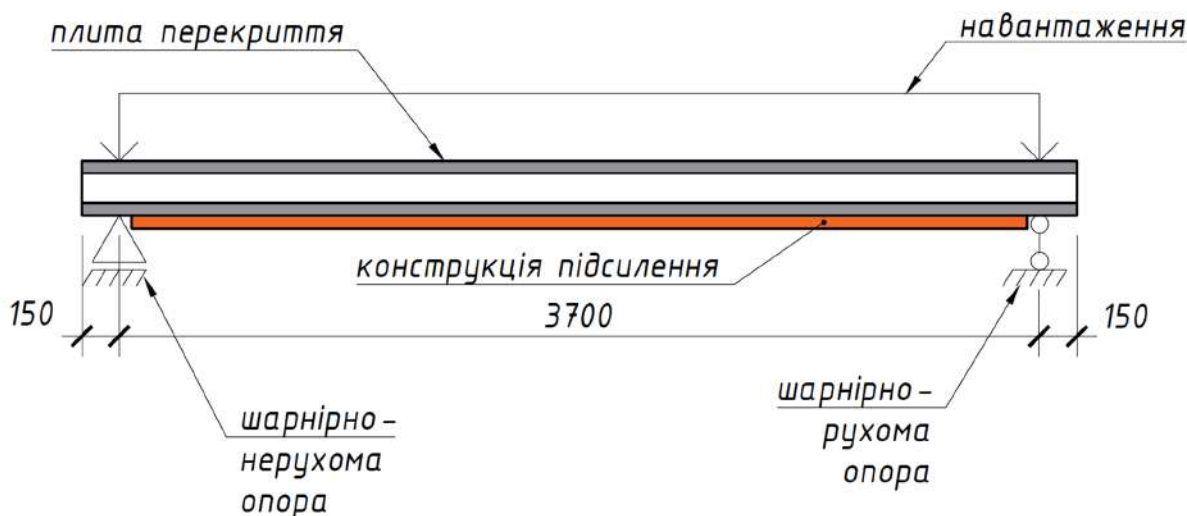


Рис. 3.23. Схема випробування плити

Навантаження плити виконували поетапно, шляхом встановлення залізобетонних блоків на верхню її площину. Перенесення вантажу виконували за допомогою кран-балки.

На кожному із етапів навантаження плити, додавали по 400 кг ваги залізобетонних блоків та визначали її прогин. Процес навантаження плити наведено на рис. 3.24.



Рис. 3.24. Процес навантаження плити

Експеримент проводили до досягнення плитою прогину в 19 мм ($1/200$ прольоту плити). Сумарне навантаження на плиту перекриття у момент досягнення необхідного значення прогину становило 5000 кг, у цей час, переріз сприймав момент 35,32 кНм, у середнє значення навантаження складало 825 кг/м^2 . Після розвантаження плити, по її розтягнутій зоні виявили тріщини.

Після проведення експерименту, плиту розвантажили і виконали комплекс заходів з підсилення її розтягнутої зони вуглецевими ламелями.

Для цього, виконали розмічування місць наклеювання вуглецевих елементів підсилення і підготували поверхню плит у цих межах. Підготовка полягала у шліфуванні поверхні (із використанням кутової шліфувальної машинки із насадкою у вигляді сталеві щітки) до оголення крупного заповнювача. Ця дія необхідна для видалення шару менш міцного бетону.

Вигляд підготовленої поверхні під приклеювання вуглецевих елементів зовнішнього підсилення наведено на рис. 3.25.



Рис. 3.25. Зовнішній вигляд підготовленої поверхні під приклеювання вуглецевого підсилення

Після цього, на підготовлену поверхню нанесли необхідні шари для приклеювання вуглецевих ламелей. Загальна конструкція системи підсилення наведена на рис. 3.26.

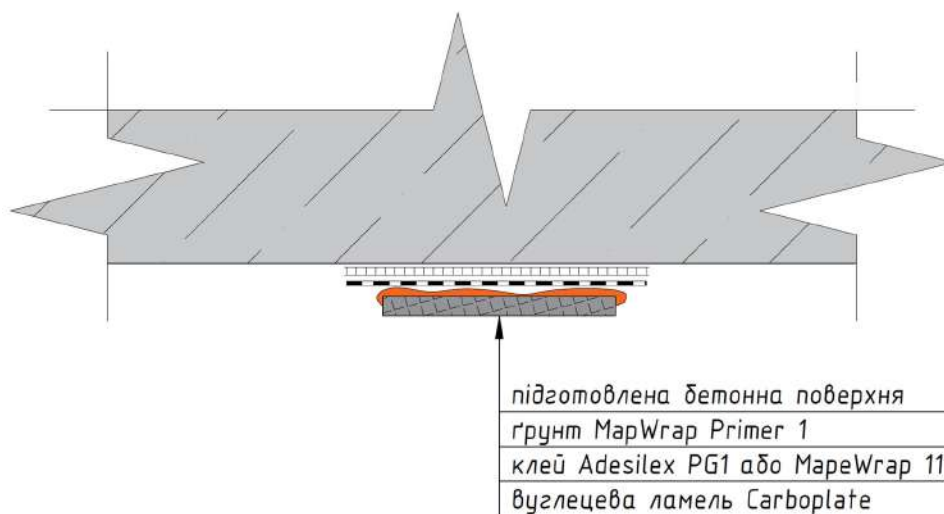


Рис. 3.26. Загальна конструкція підсилення із використанням вуглецевих ламелей Carboplate

Для фіксації (анкерування) кінців ламелей використали смуги із вуглецевої тканини. Це необхідно для попередження відшарування ламелей від основи, оскільки це призводить до виключення елементів підсилення із роботи. Відповідно до науково-технічної літератури, розвиток такого відшарування починається саме із кінцевих зон ламелей [69]. Загальна конструкція влаштування смуг із вуглецевої тканини наведена на рис. 3.27.

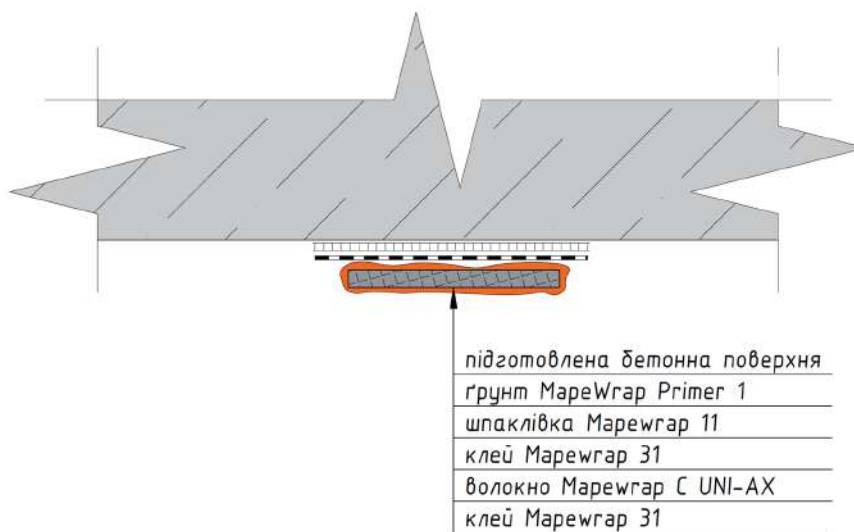


Рис. 3.27. Загальна конструкція влаштування анкерувальних смуг з вуглецевої тканини МареWrap C UNI-AX

Загальний вигляд влаштованої конструкції підсилення наведений на рис. 3.28.

Після витримування технологічної перерви для полімеризації елементів системи підсилення, було виконано повторне навантаження пустотної плити. Сумарне навантаження на плиту становило 8300 кг (рис. 3.29), у цей момент в перерізі діяв момент 49,14 кНм, у середнє значення навантаження становило 1148 кг/м².

Результати випробувань плити наведено у порівняльній таблиці 3.6.



Рис. 3.28. Загальний вигляд плити, підсиленої вуглецевим армуванням



Рис. 3.29. Процес випробування підсиленої плити

Для полегшення сприйняття даних, що наведені у таблиці вище, було побудовано графік залежностей прогину від моменту сил у перерізі плити (рис. 3.30).

Таблиця 3.6

Результати експериментальних досліджень із навантаження плити до та після підсилення

№ етапу заванта- ження	Приріст наванта- ження етапу F, кН	Положення центру ваги навантаження, відносно початку плити l, м	Момент, що діє в перерізі M, кНм	Нова плита		Підсилена плита	
				Прогин d ₁ , мм	Примітки	Прогин d ₂ , мм	Примітки
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1	4	1,89	3,70	0		0	
2	4	1,40	6,44	0		1	
3	4	2,36	9,18	0		2	
4	4	2,84	10,93	1		3	
5	4	0,94	12,77	2		4	
6	4	0,46	13,67	2		4	
7	4	3,31	14,47	2	утворення волосяних тріщин	6	
8	4	1,89	18,17	7		6	
9	4	1,40	20,91	10		7	
10	4	2,36	23,64	13		9	
11	4	2,84	25,40	14		9	
12	4	0,94	27,24	14		9	
13	2	0,46	27,69	16		10	
14	2	3,31	28,09	16		-	
15	4	1,40	30,83	18		13	
16	4	2,36	33,57	19		14	
17	4	2,84	35,32	20	досягнення II гр. гр. станів	14	
18	4	0,94	37,16	-		14	
19	5	1,65	41,20	-		18	
20	5	2,31	44,75	-		23	
21	5	1,98	49,14	-		25	

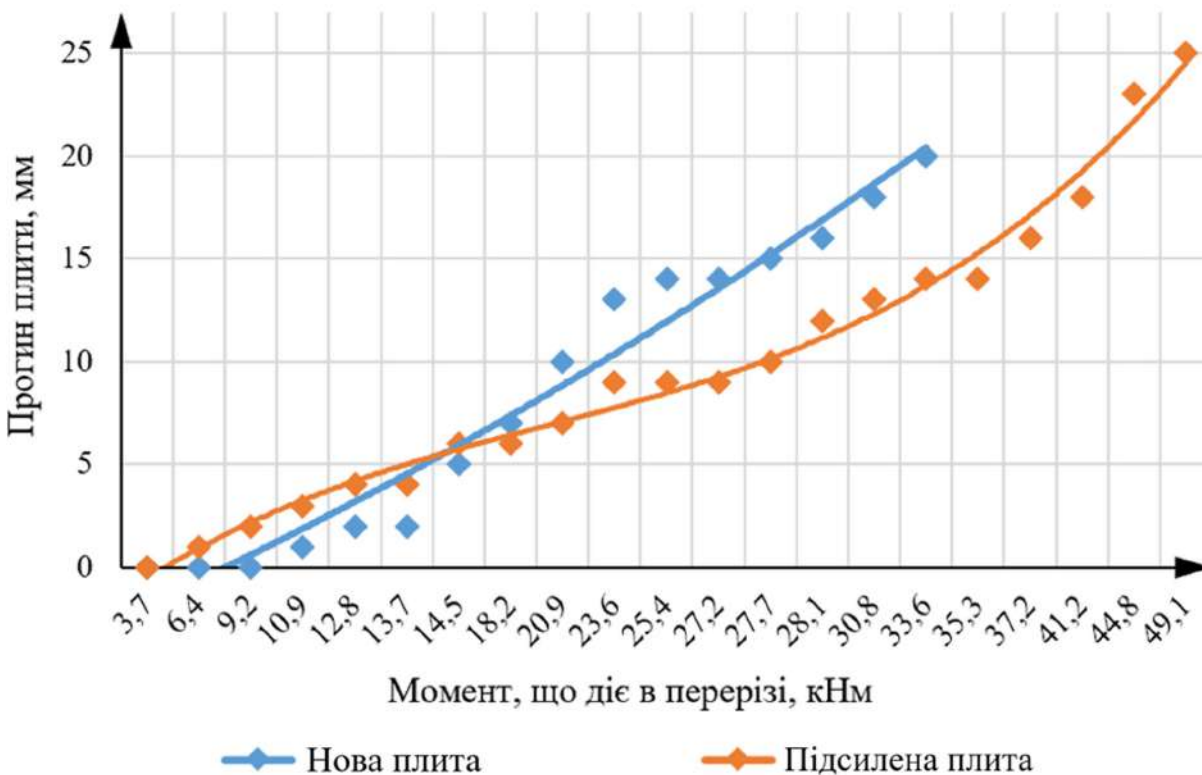


Рис. 3.30. Графік залежності прогину плити від моменту

Як видно із графіку, підсилення плити із використанням вуглецевих ламелей дозволило знизити прогини і підвищити згинальну жорсткість на 28 %. Аналізуючи поведінку графіків, можна сказати, що кожен із них має характер близький до лінійного, що свідчить про пружну роботу матеріалів під час виконання експериментів. Графік залежності «прогин – момент» для підсиленої плити відразу почав зростати, на відміну від графіку для нової плити, бо плита вже мала структурні пошкодження, зокрема нормальні тріщини перерізу, через це, переріз вже був ослабленим, але, не зважаючи на це, після досягнення моменту близько 15 кНм, підсилена плита почала набувати менших прогинів, ніж не підсилена [70, 71].

Результати проведеного дослідження дозволяють із упевненістю стверджувати, що використання вуглецевого підсилення для зменшення прогинів пустотних залізобетонних плит у процесі їх експлуатації є ефективним та може застосовуватися на реальних об'єктах будівництва. Незважаючи на це, таке

підсилення не є термо- вогнестійким, а тому його застосування є обмеженим. Однак, дану проблему можна вирішити шляхом влаштування захисної гіпсокартонної системи, яка складається з каркасу, обшитого двома шарами вогнестійкого гіпсокартону, усередину якого вкладають утеплювач [28]. Це дозволяє суттєво збільшити термо- вогнестійкість конструкції вуглецевого підсилення. Даний метод розроблений та запатентований колективом авторів, включно із автором даної роботи.

На даному підетапі (IV.Ш) передбачено дослідження ефективності заповнення порожнин плити в межах приопорних зон для виконання підсилення на дію поперечної сили.

У якості плити було обрано пустотну залізобетонну плиту довжиною 4,0 метри, шириною 1,0 метр, висотою 220 мм, розрахункове навантаження 7,85 кПа, її маркування – ПК60-10-8.

У межах проведення експерименту виконали заповнення порожнин приопорних ділянок плити. Заповнення порожнин виконували через штроби виконані у верхній грані плити. Схема проведеного експерименту наведена на рис. 3.31.

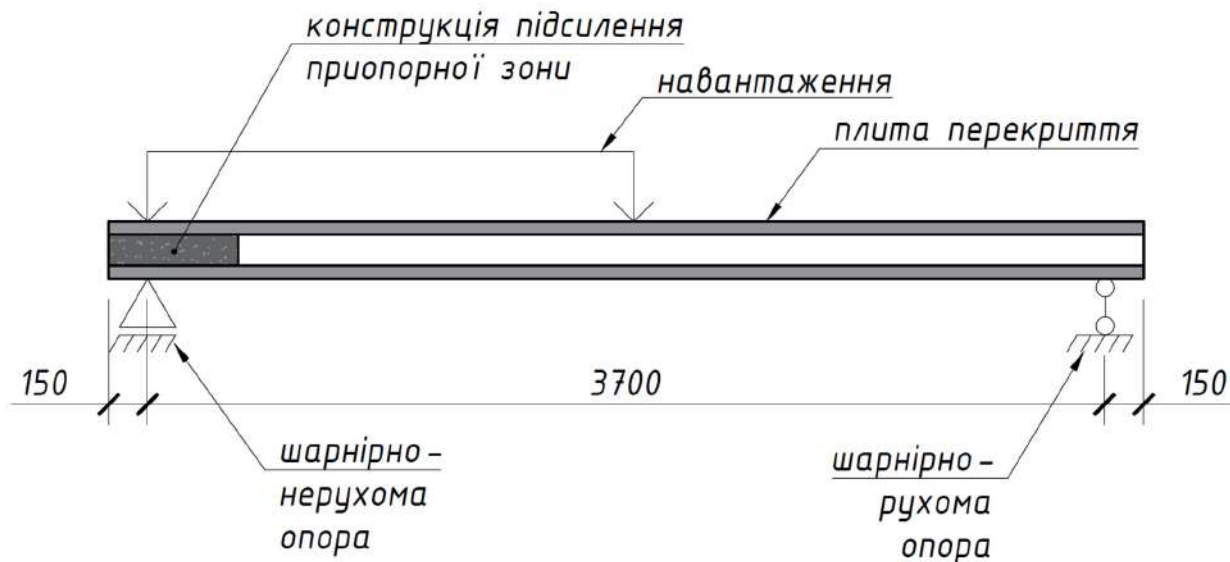


Рис. 3.231. Схема проведення експерименту з підсилення приопорних зон плити

Для забезпечення достатньої адгезії між бетоном заповнення порожнин та існуючим тілом плити, було виконано підготовку внутрішньої поверхні плити. Вона полягала в механічній обробці поверхні і її знепиленні. Окрім того, для попередження витікання бетонної суміші за межі припорних ділянок, у порожнинах встановили пробки із монтажною піни. Процес підготовки плити перед заповненням бетонною сумішшю наведено на рис. 3.32.



Рис. 3.32. Процес підготовки плити перед заповненням бетонною сумішшю

Після виконання підготовчих робіт, безпосередньо перед укладанням бетонної суміші, внутрішню поверхню порожнин було зволожено. Для заповнення припорних ділянок порожнин плити, було використано розчин, що показав найкращі результати при лабораторних дослідженнях (п. 3.2).

Укладання бетонної суміші виконували через штроби, контролюючи рівномірність її розподілення та суцільність заповнення порожнин.

Після заповнення приопорних ділянок, виконували догляд за свіжеукладеним бетоном шляхом зволоження його зовнішньої поверхні для попередження висихання за [68] до набору міцності протягом 28 діб. Процес бетонування та догляду за бетоном заповнення порожнин наведено на рис. 3.33.



а



б

Рис. 3.33 – Зовнішній вигляд плити після бетонування:

а – заповнення плити бетонною сумішшю; б – процес догляду за бетоном

Для встановлення фактичної несучої здатності плити на дію поперечної сили до виконання підсилення провели перевірочний розрахунок. Відповідно до вимог діючих нормативних документів, зокрема [5, 62, 65, 67].

Вихідними даними для розрахунку були:

- довжина прольоту $l = 3,7$ м;
- ширина плити $b = 1,0$ м;
- товщина плити $h = 220$ мм;
- захисний шар бетону $a = 35$ мм;
- клас міцності арматури – А500С – поздовжньої; А240С – поперечної;
- клас міцності бетону – С16/20.

Встановлення розрахункової несучої здатності плити наведено у додатку Б.1 до роботи.

Відповідно до результатів розрахунку, значення несучої здатності плити по сприйняттю поперечної сили становить 29,4 кН (3 т) на кожному зі сторін. Для того, щоб експеримент можна було вважати успішним, у процесі його виконання поперечна сила, що діє у перерізі плити має кратно перевищити несучу здатність.

Для проведення експерименту, плиту встановили на опорний стенд, який представляв шарнірно-рухому та шарнірно-нерухому опори і виконали її навантаження. При чому, навантаження зосереджували з однієї сторони плити. Це дозволило досягти якнайбільшого значення поперечної сили без суттєвого приросту моменту. Процес навантаження плити наведено на рис. 3.34.



Рис. 3.34 – Процес навантаження плити

Відповідно до результатів експерименту, сумарне навантаження на плиту становило 7 500 кг, при цьому, максимальне поперечне зусилля, що виникло у перерізі плити становило 56,8 кН, що у 1,93 рази більше, ніж несуча здатність плити на дію поперечної сили. При проведенні експерименту не зафіксовано появи тріщин чи інших дефектів, які б свідчили про недостатню несучу здатність перерізу.

Тому, зважаючи на отримані результати, можна із упевненістю стверджувати, що підсилення плити на дію поперечної сили шляхом замоноличування приопорних зон є ефективним та може застосовуватися на реальних об'єктах будівництва.

Висновки до третього розділу

1. Розроблено методику експериментальних досліджень у лабораторних та натурних умовах. За нею передбачено встановити залежності між чинниками, які формують технологію і мають безпосередній вплив та якісними показниками відновлених конструкцій.

2. Виявлено залежності реологічних властивостей бетонних сумішей та методів їх розподілення на довжину розповсюдження всередині порожнин плити та повноти заповнення їх перерізу. Зокрема встановлено, що зі збільшенням легкоукладальності бетонної суміші збільшується довжина її розповсюдження всередині порожнин плити. Зроблено висновок, що збільшення розпливу конуса в два рази призводить до збільшення довжини розподілення усередині порожнини плити майже у три рази. Для заповнення порожнин плити рекомендовано використовувати спеціально розроблену бетонну суміш із розпливом конуса 810 мм та маркою консистенції F6. Вона дозволяє досягнути розподілення суміші всередині плити на довжину в 200 см.

3. Встановлено, що використання методів розподілення (проштовхування та вібрування) дозволили підвищити заповнення перерізу порожнини з 70 до 90 – 91 % відповідно на відстані в 200 см від місця вкладання бетонної суміші. Одержані дані дали можливість удосконалити методику заповнення порожнин таким чином, що у найвіддаленішій точці від місця подавання суміші, влаштувати невеликий отвір діаметром 50-80 мм, через який подати невеликий обсяг суміші для

остаточного заповнення порожнини (за необхідності). Такі заходи дозволять повністю заповнити внутрішній простір порожнин бетонною сумішшю і досягти спільності роботи разом із тілом плити.

4. Обрану бетонну суміш було перевірено на усадку в процесі набору нею міцності. Відповідно до результатів, усадка бетонної суміші із додаванням суперпластифікаторів становить 0,39 %. Тому, можна зробити висновок, що використання даної бетонної суміші забезпечить спільну роботу елементів відновлення з існуючим бетоном плити, завдяки властивості суміші зберігати свої геометричні розміри.

5. Дослідження способів підготовки основи показали, що застосування окремих з них не забезпечує достатньої міцності зчеплення двох шарів бетону, при цьому тип розриву адгезивний. Це вказує на можливість розшарування таких бетонів у процесі експлуатації або позапроектних впливів, тому, такі способи на практиці застосовувати не рекомендовано. Рекомендовано застосування лише тих способів, при застосуванні яких розрив при визначенні міцності зчеплення був когезивним, серед яких: механічна обробка, знепилення та зволоження (міцність зчеплення 2,4 МПа), механічна обробка та знепилення (міцність зчеплення 2,39 МПа), знепилення із нанесенні суміші Marefer 1k (міцність зчеплення 1,85 МПа), механічна обробка у поєднанні із знепиленням і нанесенням суміші Marefer 1k (міцність зчеплення 2,05 МПа).

6. Перевірка дослідженої технології відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит у натурних умовах показала ефективність не тільки для ремонту суттєво пошкоджених плит, а й для їх підсилення (вдалося досягти підвищення несучої здатності у понад 1,7 рази). Тому, можна із упевненістю стверджувати, що технологія відновлення функціональної придатності пустотних плит шляхом встановлення додаткового армування із подальшим заповненням пустот високорухливою бетонною сумішшю є ефективною та може застосовуватися на реальних об'єктах будівництва.

7. Результати випробування пустотної плити, підсиленої вуглецевими ламелями, вказують на збільшення її згинальної жорсткості на 28 %, порівняно із

новою плитою. Таким чином, проведені дослідження дозволяють із упевненістю стверджувати, що використання підсилення з вуглецевих елементів для зменшення прогинів пустотних залізобетонних плит у процесі їх експлуатації є ефективним та може застосовуватися на реальних об'єктах будівництва.

8. Проведений експеримент із встановлення ефективності підсилення приопорних зон плити на дію поперечної сили дозволив збільшити несучу здатність перерізу у понад 1,93 рази. Тому, зважаючи на це, можна із упевненістю стверджувати, що підсилення плити на дію поперечної сили шляхом замонолічування приопорних зон є ефективним та може застосовуватися на реальних об'єктах будівництва.

9. Основні результати даного розділу викладено в роботах [19, 70, 71].

Розділ 4

ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОШКОДЖЕНИХ ПУСТОТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ

4.1. Технологія відновлення функціональної придатності залізобетонних пустотних плит

Відповідно до матеріалів, що викладені у п.1.1, встановлено, що залізобетонні пустотні плити можуть мати різні структурні дефекти та пошкодження, які негативним чином впливають на їх функціональну придатність. Серед таких дефектів та пошкоджень наступні (рис. 4.1): похилі та нормальні тріщини силового характеру шириною розкриття більше, ніж встановлено нормативними документами; лущення та роздроблення бетону стиснутої зони; втрата ділянок тіла бетону нижньої та/або верхньої зони; втрата структурної цілісності.

Їх виникнення, як правило, спричинене дією наступних чинників: надмірні динамічні навантаження; дія високих температур/вогню; дія атмосферних впливів; перевантаження плити.

Наведені дефекти та пошкодження вказують на втрату несучої здатності плити, або на суттєве її зниження. Крім того, часто спостерігається зміна та/або втрата просторово-габаритних параметрів.

Для відновлення функціональної придатності пустотних плит із такими структурними дефектами чи пошкодженнями, доцільним є застосування технологій, які будуть найбільш ефективними у кожному конкретному випадку. Блок-схема системи вибору технології відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит наведена на рис. 4.2. Вихідними даними для неї є проведене технічне обстеження.

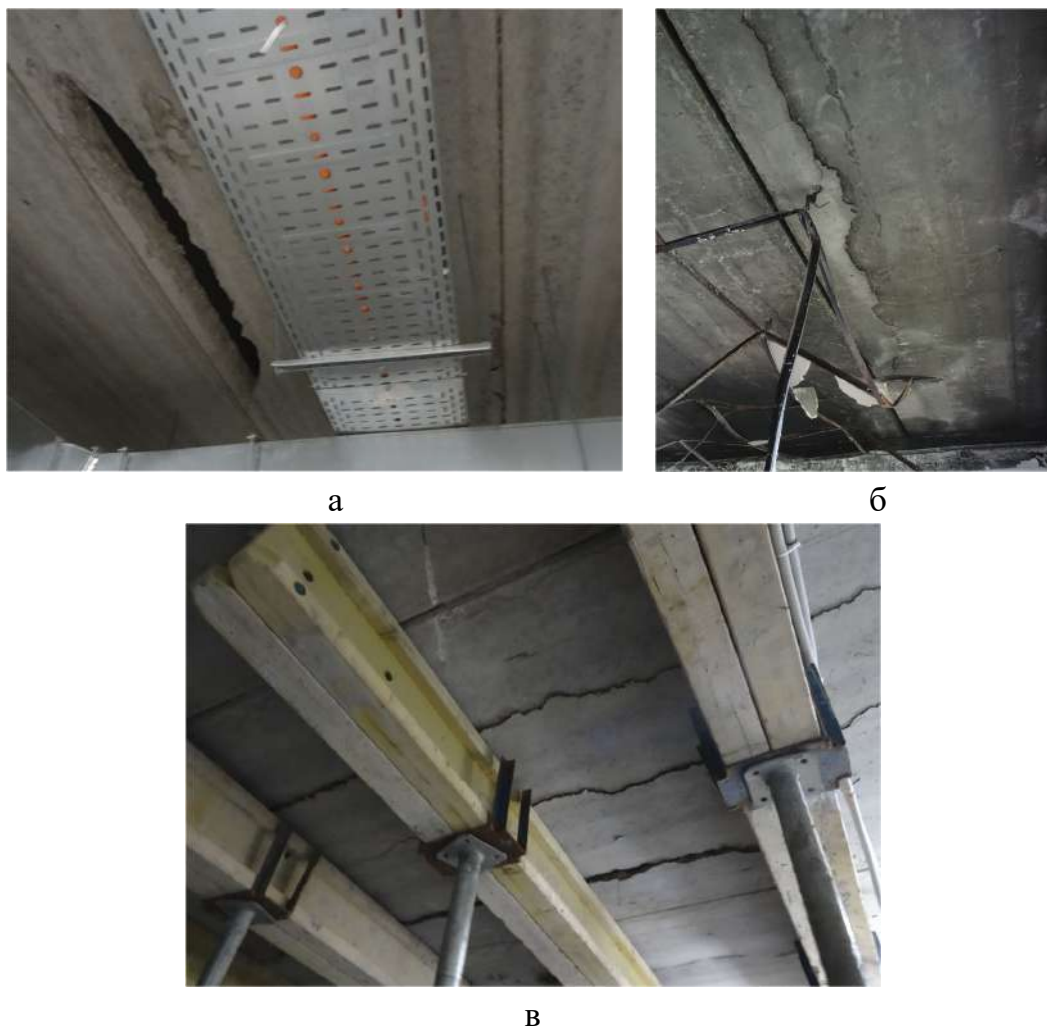


Рис. 4.1. Зовнішній вигляд характерних структурних пошкоджень пустотних плит:
 а – втрата ділянок тіла бетону нижньої зони; б, в – втрата структурної цілісності

Блок-схема (рис. 4.2.) демонструє алгоритм прийняття рішення при виборі способу відновлення функціональної придатності пустотної залізобетонної плити, або її підсилення різними методами: відновлення встановленням арматурних каркасів усередину порожнин плити і їх заповнення високорухливою самоущільнювальною бетонною сумішшю; підсилення плити шляхом замонолічування припорних зон; підсилення плити шляхом наклеювання зовнішнього армування з вуглецевих елементів. У випадку відсутності дефектів та пошкоджень, що суттєво знижують несучу здатність або ж жорстких обмежень щодо прогинів, пропонується використовувати плиту за цільовим призначенням без потреби виконання будь-яких робіт.

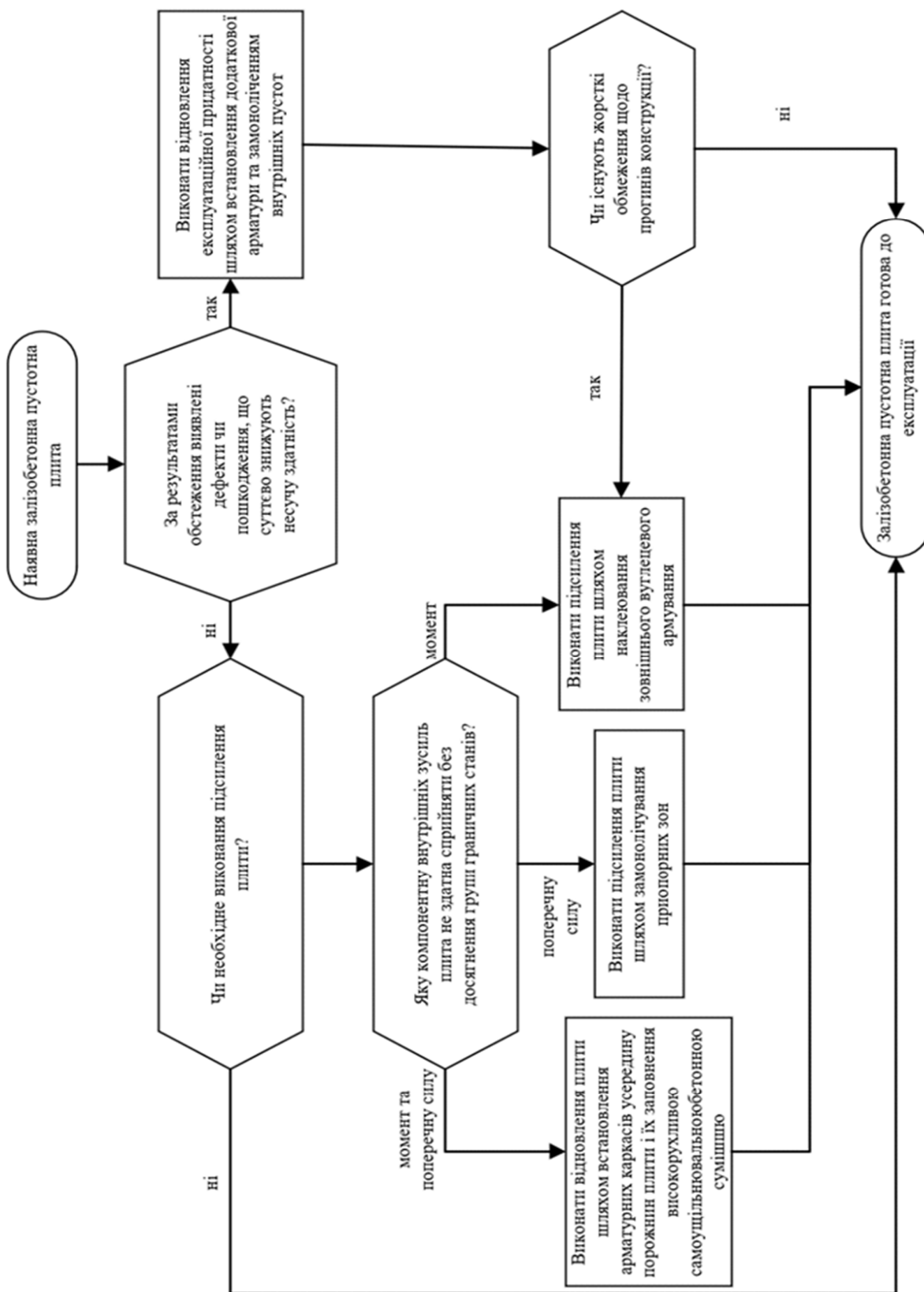


Рис. 4.2. Блок-схема системи вибору технології відновлення функціональної придатності, або підсилення порожніх залізобетонних плит

Способи відновлення функціональної придатності пустотних плит із різними типами пошкоджень наведена у таблиці. 4.1.

Таблиця 4.1

Способи відновлення пошкоджених пустотних плит із різними типами пошкодження

№	Причина виникнення пошкодження	Характеристика пошкодження	Способи відновлення експлуатаційної придатності
1	2	3	4
1	Пошкодження від динамічного впливу, падіння конструкцій чи перевантаження (без втрати структурної цілісності)	Надмірні прогини, тріщини нормальних перерізів, утворення шарнірів пластичності в арматурі	<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити інвентарні стійки та піддомкратити плиту до горизонтального положення; 2. Влаштувати штроби по верхній грані, виконати підготовку поверхні бетону порожнин, встановити арматурні каркаси; 3. Заповнити порожнини високорухливою безусадковою бетонною сумішшю та виконати догляд за бетоном протягом 28 діб; 4. Демонтувати інвентарні стійки. 5. Виконати підсилення плити вуглецевими матеріалами (за необхідності).
2	Вплив вогню/температури	Погіршення властивостей матеріалів (бетону, арматури), надмірні прогини, тріщини нормальних перерізів	<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити інвентарні стійки та піддомкратити плиту до горизонтального положення; 2. Виконати очищення тіла плити від незв'язаних частин матеріалів; 3. Влаштувати штроби по верхній грані, виконати підготовку поверхні бетону порожнин, встановити арматурні каркаси; 4. Заповнити порожнини високорухливою безусадковою бетонною сумішшю та виконати догляд за бетоном протягом 28 діб; 5. Демонтувати інвентарні стійки; 6. Відновити геометрію плити із використанням ремонтних розчинів.

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
3	Надмірні динамічні чи термічні навантаження	Структурні пошкодження (втрата частин тіла, сколи, отвори плити, тощо), утворення шарнірів пластичності в арматурі, погіршення властивостей матеріалів, тріщини нормальних перерізів	<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити опалубку та піддомкратити плиту до горизонтального положення; 2. Виконати очищення тіла плити від незв'язаних частин матеріалів; 3. Влаштувати штроби по верхній грані, виконати підготовку поверхні бетону порожнин, встановити арматурні каркаси; 4. Заповнити порожнини та втрачені частини тіла плити високорухливою безусадковою бетонною сумішшю та виконати догляд за бетоном протягом 28 діб; 5. Демонтувати опалубку; 6. Виконати підсилення плити вуглецевими матеріалами (за необхідності).
4	Надмірні динамічні чи термічні навантаження (доступ до плити тільки знизу)	Структурні пошкодження (втрата частин тіла, сколи, отвори плити, тощо), утворення шарнірів пластичності в арматурі, погіршення властивостей матеріалів, тріщини нормальних перерізів	<ol style="list-style-type: none"> 1. Піддомкратити плиту до горизонтального положення; 2. Виконати очищення тіла плити від незв'язаних частин матеріалів; 3. Влаштувати штроби по нижній грані, виконати підготовку поверхні бетону порожнин, встановити арматурні каркаси; 4. Встановити опалубку; 5. Заповнити порожнини та втрачені частини тіла плити високорухливою безусадковою бетонною сумішшю через отвори в опалубці із використанням бетононасосу, виконати догляд за бетоном протягом 28 діб; 6. Демонтувати опалубку; 7. Виконати підсилення плити вуглецевими матеріалами (за необхідності).

Як видно із таблиці 4.1, найбільш складна технологія відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит це відновлення плити із наявними структурними пошкодженнями у вигляді втрати частин тіла, сколів та отворів плити. Тому, далі детально викладено особливості саме такої технології

відновлення, яка сформована на основі результатів наукових досліджень, які викладені у розділі 3.

Відновлення пустотних плит із суттєвими структурними пошкодженнями передбачено шляхом встановлення додаткового армування у її порожнини із подальшим їх заповненням безусадковою бетонною сумішшю з високою рухомістю. Слід відмітити, що запропонована і досліджена технологія дозволяє в той же час і відновлювати геометрію пошкоджених плит.

Конструктивне рішення на таке відновлення розробляється у проєктній документації на основі розрахунків із урахуванням діючих навантажень та фізико-механічних і геометричних характеристик існуючої плити, кількісних та якісних показників дефектів та пошкоджень, а також врахуванням характеристик матеріалів відновлення для плити. При цьому враховують збільшення навантаження на нижчерозташовані несучі конструкції (ригелі, колони, стіни, фундаменти).

Технологія відновлення пустотних плит із суттєвими структурними пошкодженнями складається із наступних процесів:

1. Підготовчі роботи;
2. Відновлення пустотних плит;
3. Завершальні роботи.

1. Підготовчі роботи.

До підготовчих робіт належать:

- підготовка будівельного майданчику та обладнання.
- підготовка плит до відновлення.

Підготовка будівельного майданчика та обладнання.

На даному етапі визначають ділянки де будуть виконуватися будівельно-монтажні роботи та виконують їх огороження і встановлення обмежувальних / вказівних знаків. Визначають методи доставки / приготування (виготовлення), подавання та використання матеріалів і конструкцій. Обирають оптимальні машини, механізми, обладнання та інвентар і встановлюють місця їх тимчасового розміщення / складування з подальшим розміщення на будівельному майданчику

та в зоні виконання робіт. Визначають та облаштовують зони складування, зони зварювання та укрупнення / складання.

Наприклад, якщо для відновлювальних робіт потрібні опалубні конструкції, їх подавання у зону монтажу можливе наступними методами: поштучне переміщення робітниками; піднімання на необхідну висоту «краном у вікно», або ж краном «Піонер» через вікно; стріловим краном через вікно.

Виготовлення ремонтної суміші можливе безпосередньо в зоні її використання електричними бетонозмішувачами невеликої ємності (100 – 300 л). У такому випадку компоненти для суміші можна доставляти у зону використання ручними, або електричними візками та/або з підійманням на потрібну висоту «краном у вікно», краном «Піонер», або стріловим краном.

Також можлива доставка на будівельний майданчик вже готової ремонтної суміші. У такому випадку її подавання у зону використання можливе: бетононасосом (у разі великих обсягів робіт, або неможливості використання інших методів); стріловим краном та баддею через вікно; малими ємностями та краном «у вікно» чи «Піонер»; ручними чи електричними візками (у разі малих обсягів робіт).

Підготовка пустотних плит до відновлення.

У першу чергу під плити із структурними пошкодженнями обов'язково встановлюють інвентарні розвантажувальні стійки, за потреби, з балками. Після чого виконують розвантаження пошкоджених конструкцій від будь-яких предметів чи сміття та виконують демонтаж підлоги і стяжки. У випадку відсутності чи пошкодження нижньої поверхні тіла плит, виконують монтаж опалубки для нижньої грані плити. Місця примикання опалубних щитів герметизують для попередження витікання бетонної суміші у процесі бетонування, а самі щити змазують опалубним мастилом для полегшення їх демонтажу після виконання робіт.

За необхідності, за допомогою інвентарних стійок надають плиті від'ємного прогину (до 15 мм) для включення в роботу доданого армування та зменшення фактичного прогину плити у процесі навантаження та експлуатації.

У подальшому виконують підготовку конструкцій плит до відновлення. Вона полягає у видаленні: пошкоджених ділянок тіла плит, незв'язаних частин матеріалів зі зниженою міцністю, забруднень, що можуть знизити адгезію тощо.

Такі роботи доцільно проводити із використанням ручного електричного інструменту, наприклад, легкого перфоратору та/або кутової шліфувальної машини з відрізними, або шліфувальними дисками по бетону. Також можливе використання пікоструменевого, або гідроструменевого обладнання.

Також необхідно виконати очищення внутрішніх поверхонь порожнин та контактних поверхонь від пилу із використанням стиснутого повітря.

2. Відновлення пустотних плит.

Комплексний процес відновлення пустотних плит складається з наступних простих:

- влаштування штроб вздовж порожнин;
- закупорення торців порожнин (за потреби);
- нанесення адгезійної суміші (підготовка основи);
- встановлення арматурних елементів;
- заповнення порожнин плити бетонною сумішшю.

Влаштування штроб вздовж порожнин.

Насамперед на плити наносять розмітку під штроби згідно місць визначених у проєкті.

За допомогою кутової шліфувальної машини з диском для різання бетону вздовж порожнин влаштовують поздовжні штроби. Вони потрібні для подальшого встановлення арматурних елементів та подачі бетонної суміші. Їх довжина не може бути меншою, ніж довжина найдовшого арматурного каркасу, який вставляється у порожнини плити із запасом по 50 мм на кожен зі сторін. У разі заповнення порожнин плит бетонною сумішшю із маркою за розливом конуса F6 та використанням самоущільнювальної бетонної суміші (далі – СУБ), штроби можна не доводити до торців плити на 1500 - 1700 мм. Для контролю заповнення порожнин і їх можливого дозаповнення, необхідно влаштувати додаткові отвори якомога ближче до торців плити.

Типова схема розташування штроб та додаткових отворів наведена на рис. 4.3.

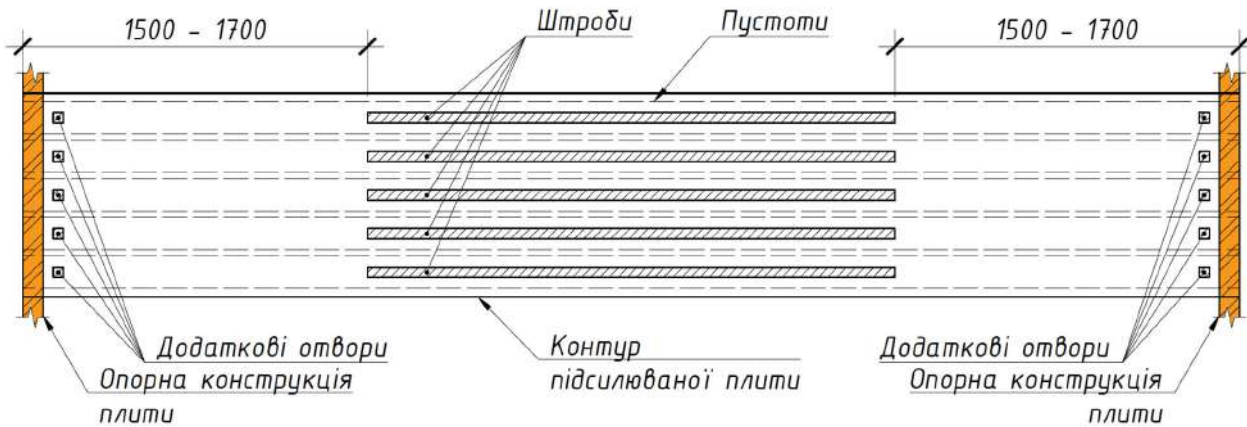


Рис. 4.3. Типова схема влаштування штроб та отворів на верхній грані плити

Ширина штроб для пустотних плит визначається із умови її достатності для виконання підготовки внутрішньої поверхні порожнин плити, встановлення каркасів та укладання бетонної суміші, але у будь-якому випадку, її ширина повинна бути не менше 50 мм. Штроби повинні розміщуватися по осі порожнин плит так, як це показано на рис. 4.3 та 4.4.

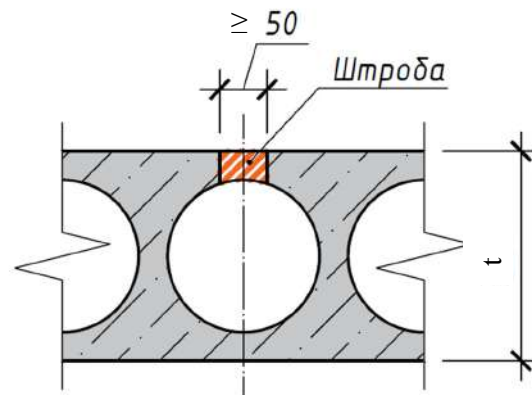


Рис. 4.4. Фрагмент поперечного перерізу плити із вказанням місця влаштування штроб

Проектними рішеннями на відновлення плит можна передбачати заповнення бетонною сумішшю не всіх порожнин, в такому випадку, і штробы влаштовують не на всіх порожнинах.

Закупорення торців порожнин.

Торці порожнин плити обов'язково повинні бути закупорені для попередження витікання бетонної суміші у процесі її вкладання. Для цього доречно використовувати монтажну піну, яку необхідно подати у торець плити через додатковий отвір.

Нанесення адгезійної суміші.

Для забезпечення надійної адгезії між бетонною сумішшю, що буде вкладено та тілом існуючої плити на її контактні поверхні потрібно нанести антикорозійний розчин *Mapofer 1k Zero* [72] (такий розчин окрім антикорозійних властивостей покращує і адгезивні). Перед нанесенням розчину, поверхня підлягає обов'язковому знепиленню компресором. Нанесення антикорозійного розчину передбачене в зоні дії найбільших моментів, тобто в межах центральної третини прольоту плити. Нанесення антикорозійного розчину передбачене із використанням малярної кисті.

Встановлення арматурних елементів.

Після підготовки внутрішньої поверхні порожнин виконують монтаж додаткової робочої арматури у вигляді плоских арматурних каркасів. Параметри армування визначаються за результатами розрахунку для кожного із випадків відновлення окремо. Для найбільш розповсюдженої довжини плит в 6 метрів, найбільш доцільно виконувати армування трьома сегментами по довжині. Таке рішення рекомендується виходячи з можливості/ зручності у встановленні 2-х з них у порожнини через штробы з заведенням у торцеві ділянки без прорізів (рис. 4.5 (в)). Приклад армування порожнин наведено на рис 4.5 (а).

Не допускається встановлення арматурних стержнів чи каркасів безпосередньо на тіло бетону в нижній частині порожнин без забезпечення мінімального зазору в 15 мм для обволікання бетонною сумішшю армування і включення його в роботу.

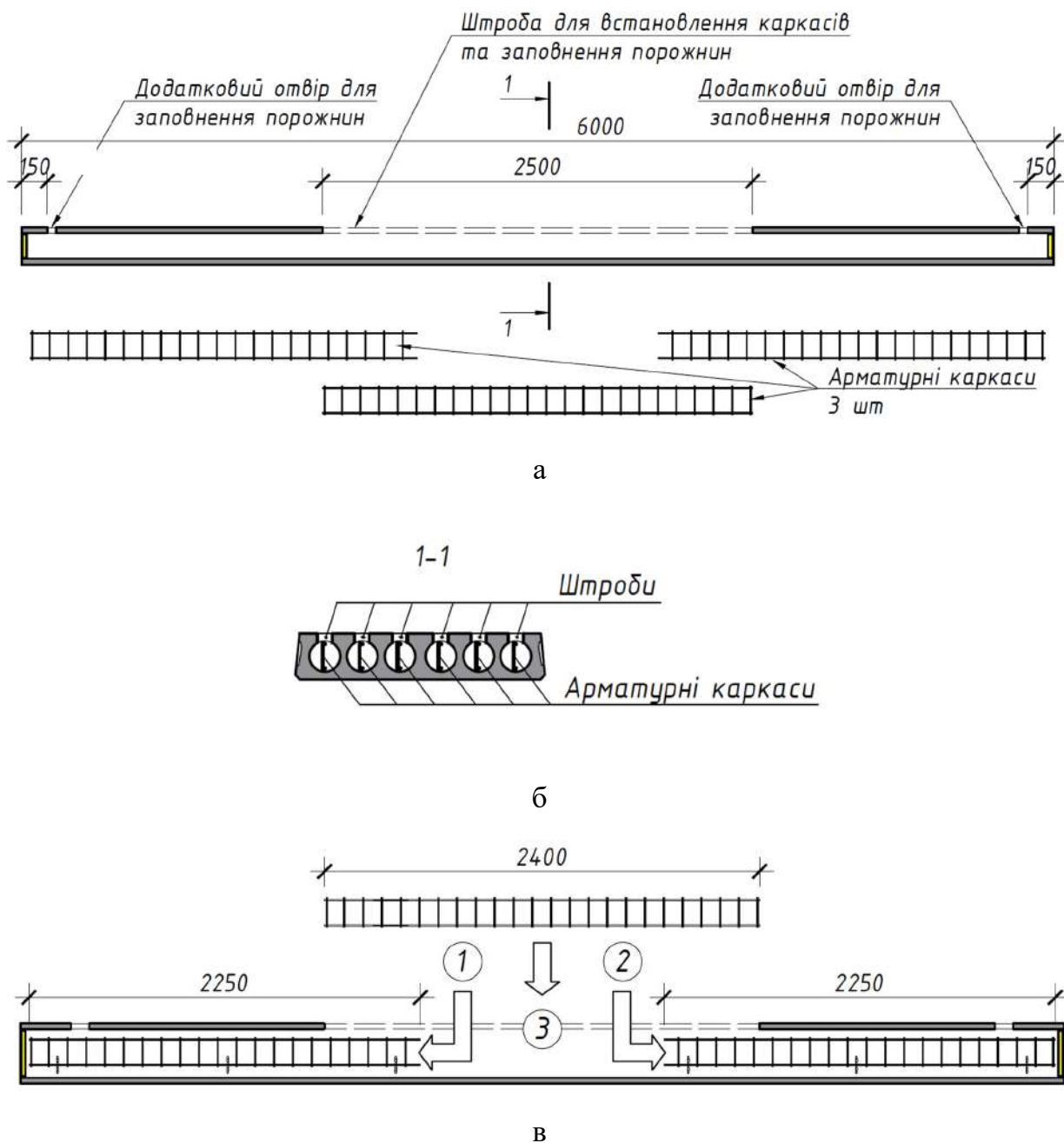


Рис. 4.5. Приклад армування порожнин плити довжиною 6 метрів:
 а – поздовжній розріз; б – поперечний розріз; в – приклад послідовності
 встановлення арматурних каркасів плити

Заповнення порожнин плити бетонною сумішшю.

На наступному етапі відновлення пустотних плит передбачено заповнення порожнин бетонною сумішшю. Перед вкладанням бетонної суміші, внутрішня поверхня порожнин плити підлягає обов'язковому зволоженню (та, що покрита

антикорозійною сумішшю, і та, що не покрита нею). Зволоження порожнин найбільш доречно виконувати розпиленням.

У випадку наявності структурних пошкоджень плити, через які можливе витікання бетонного розчину заповнення порожнин плити, необхідно змонтувати опалубку (замість інвентарних стійок) і виконати герметизацію місць її примикання до тіла відновлюваної плити.

Заповнення порожнин плит рекомендовано виконувати із використанням високорухливої самоущільнювальної бетонної суміші, марки за розпливом конуса F6 (розплив конуса 810 мм). Марка міцності бетону на стиск, приймається не нижче марки бетону плити.

Бетонну суміш можна виготовити безпосередньо на будівельному майданчику, використати суху будівельну суміш або ж замовити готову з необхідними реологічними властивостями (компонентний склад необхідної бетонної суміші наведено у розділі 2).

Іншим варіантом є використання сухої будівельної суміші Maregrout Hi-Flow (Colabile) Zero [73], однак для отримання необхідних властивостей, у процесі її приготування необхідно додати 30 % за масою митого заповнювача фракції 5-10 мм.

Заповнення порожнин виконується через раніше влаштовані штробы у верхній площині плити. Для вкладання бетонної суміші у штробу, доцільно використовувати спеціально виготовлену конусну лійку (рис. 4.6).

У процесі укладання виконують розподілення бетонної суміші у порожнині із використанням методу проштовхування. Для цього доцільно застосовувати композитну арматуру діаметром 10 – 16 мм. Під час укладання розчину контролюють заповненість порожнин у торцевих зонах через додаткові отвори. За необхідності, через ці отвори виконують дозаповнення порожнин таким чином, щоб бетонна суміш повністю заповнила внутрішній простір порожнин, влаштованих штроб і додаткових отворів до верхньої поверхні плити.

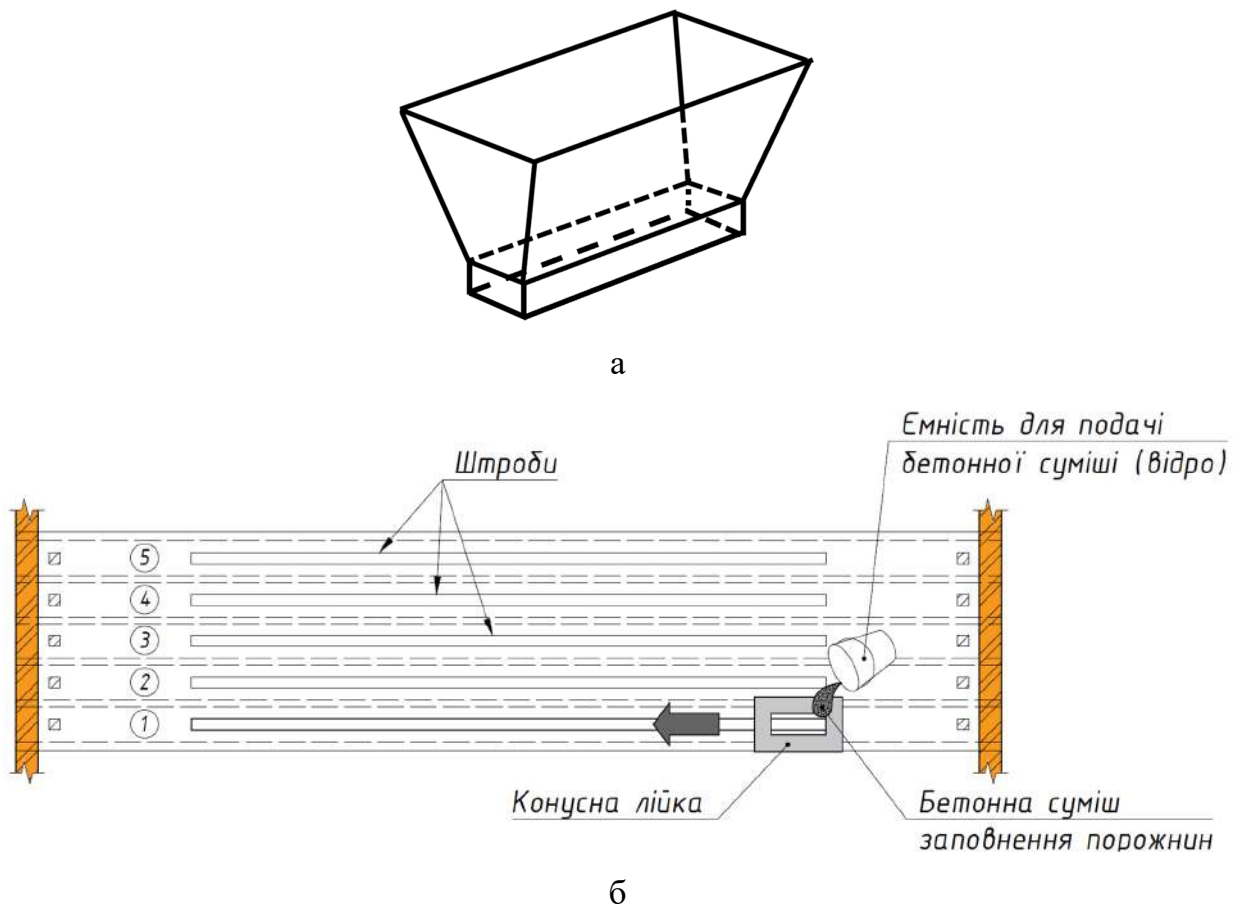


Рис. 4.6. Укладання бетонної суміші із використанням конусної лійки:
 а – загальний вигляд конусної лійки; б – технологічна схема укладання бетонної суміші із використанням конусної лійки

У випадку використання готової суміші, рекомендовано її подавати із використанням бетононасосу (через вікно, або по сходовій клітині) або ж баддею через вікно.

Для уникнення розшарування СУБ суміші, у процесі укладання не виконують її вібрування. Зовнішній вигляд плити із заповненими порожнинами наведено на рис. 4.7.



Рис. 4.7. Зовнішній вигляд плити із заповненими порожнинами

Догляд за бетоном після його укладання проводити відповідно до [68], зокрема протягом терміну набору міцності захищати його поверхню від висихання шляхом своєчасного зволоження.

3. Завершальні роботи.

Після набору міцності бетоном в 70 % можна переходити до завершальних робіт, зокрема демонтувати опалубку та інвентарні стійки. Після цього, за потреби, виконують опорядження бетонної поверхні. Необхідно зауважити, що проєктне навантаження до конструкції допускається прикладати лише після досягнення бетоном 100 % міцності, тобто не раніше, ніж через 28 діб (залежно від умов бетонування).

4.2. Технологія підсилення приопорних зон залізобетонних пустотних плит.

Підсилення приопорних зон залізобетонних пустотних плит передбачене шляхом заповнення порожнин плит у зонах їх обпирання.

Технологія підсилення приопорних зон пустотних плит складається із тих же процесів, що і при відновленні:

1. Підготовчі роботи;
2. Підсилення приопорних зон пустотних плит;
3. Завершальні роботи.

1. Підготовчі роботи.

Всі підготовчі роботи є аналогічними до наведених у п. 4.1.

2. Підсилення приопорних зон пустотних плит.

Комплексний процес підсилення приопорних зон пустотних плит складається з наступних простих:

- влаштування штроб вздовж порожнин;
- обмеження зони заповнення порожнин;
- підготовка основи;
- заповнення порожнин плити бетонною сумішшю.

Влаштування штроб вздовж порожнин.

Влаштування штроб виконують після встановлення розмірів ділянки підсилення приопорних зон. Цей параметр підлягає розрахунку, але в будь-якому випадку, довжина заповнення порожнини у напрямку прольотної частини плити від опори не може бути меншою, ніж подвійна товщина самої плити. Розміри штроб підбирають таким чином, щоб можливо було влаштувати пробки для обмеження розтікання розчину заповнення порожнин.

Безпосереднє влаштування штроб виконують такими ж методами як описано в п. 4.1.

Типова схема розташування ділянки підсилення наведена на рис. 4.8.

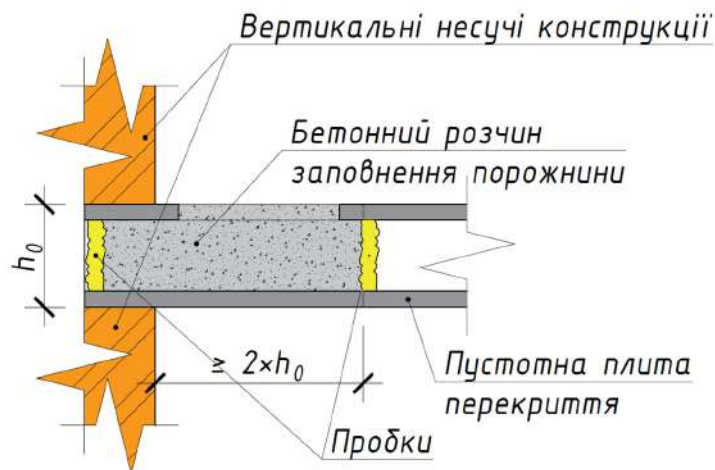


Рис. 4.8. Типова схема розташування ділянки підсилення

Ширина штроб для пустотних плит визначається із умови її достатності для виконання підготовки внутрішньої поверхні порожнин плити, встановлення каркасів та укладання бетонної суміші, але у будь-якому випадку, її ширина повинна бути не менше 50 мм. Штробы повинні розміщуватися по осі порожнин плит так, як це показано на рис. 4.4.

Проектними рішеннями на підсилення приопорної зони плити може передбачатися заповнення бетонною сумішшю не всіх порожнин, то ж в такому випадку, і штробы влаштовують не на всіх порожнинах.

Обмеження зони заповнення порожнин.

Торці порожнин плити обов'язково повинні бути закупорені для попередження витікання бетонної суміші у процесі її вкладання. Для цього доречно використовувати монтажну піну, яку необхідно подати у торець плити влаштовану штробу.

Підготовка основи.

У якості підготовки внутрішньої поверхні порожнин, ці поверхні підлягають знепиленню компресором.

Заповнення порожнин плити бетонною сумішшю.

На наступному етапі підсилення приопорних ділянок пустотних плит передбачено заповнення порожнин бетонною сумішшю. Перед вкладанням бетонної суміші, внутрішня поверхня порожнин плити підлягає обов'язковому зволоженню.

Заповнення порожнин плит рекомендовано виконувати із використанням бетонної суміші, марки за розпливом конуса не нижче F5 (розплив конуса понад 560 мм). Марка міцності бетону на стиск, приймається не нижче марки міцності бетону плити. Рекомендований максимальний розмір заповнювача повинен становити не більше 15 мм.

Укладання бетонної суміші виконувати так, як описано в п. 4.1.

У процесі укладання виконують розподілення бетонної суміші у порожнині із використанням методу вібрування. Укладена бетонна суміш повинна повністю заповнити порожнини і штробы до рівня верхньої площини плити.

4.3. Апробація результатів досліджень у будівельній практиці

Отримані результати теоретичних та експериментальних досліджень були апробовані на одному із об'єктів будівництва у Київській області, що пошкоджений внаслідок позапроектних впливів. На ньому виконано відновлення експлуатаційної придатності 3-х пошкоджених попередньо напружених пустотних плит, доступ до яких був лише знизу. Плити, що підлягали відновленню мали пошкодження нижньої поверхні, зокрема руйнування тіла нижньої зони, розтріскування тіла плити, втрата структурної цілісності, втрата попереднього натягу окремих канатів тощо (рис. 4.9).

Відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит виконано шляхом встановлення додаткового армування і заповнення порожнин високорухливим бетонним розчином. До проведення робіт, виконано розрахунок плит для встановлення потреби у додатковому армуванні.



а



б

Рис. 4.9. Зовнішній вигляд пошкодженої плити:

а – нижня поверхня; б – внутрішній простір

Вихідними даними для розрахунку були: ширина плити $b = 1200$ мм; товщина плити $h = 400$ мм; проліт плити (між опорами) $L = 11\,700$ мм; захисний шар бетону $a = 40$ мм.

За результатами проведеного розрахунку встановили кількісні та якісні характеристики додаткового армування, яке необхідне для сприйняття навантажень, які діють на плити.

Креслення на відновлення функціональної придатності плити наведені на рис. 4.10.

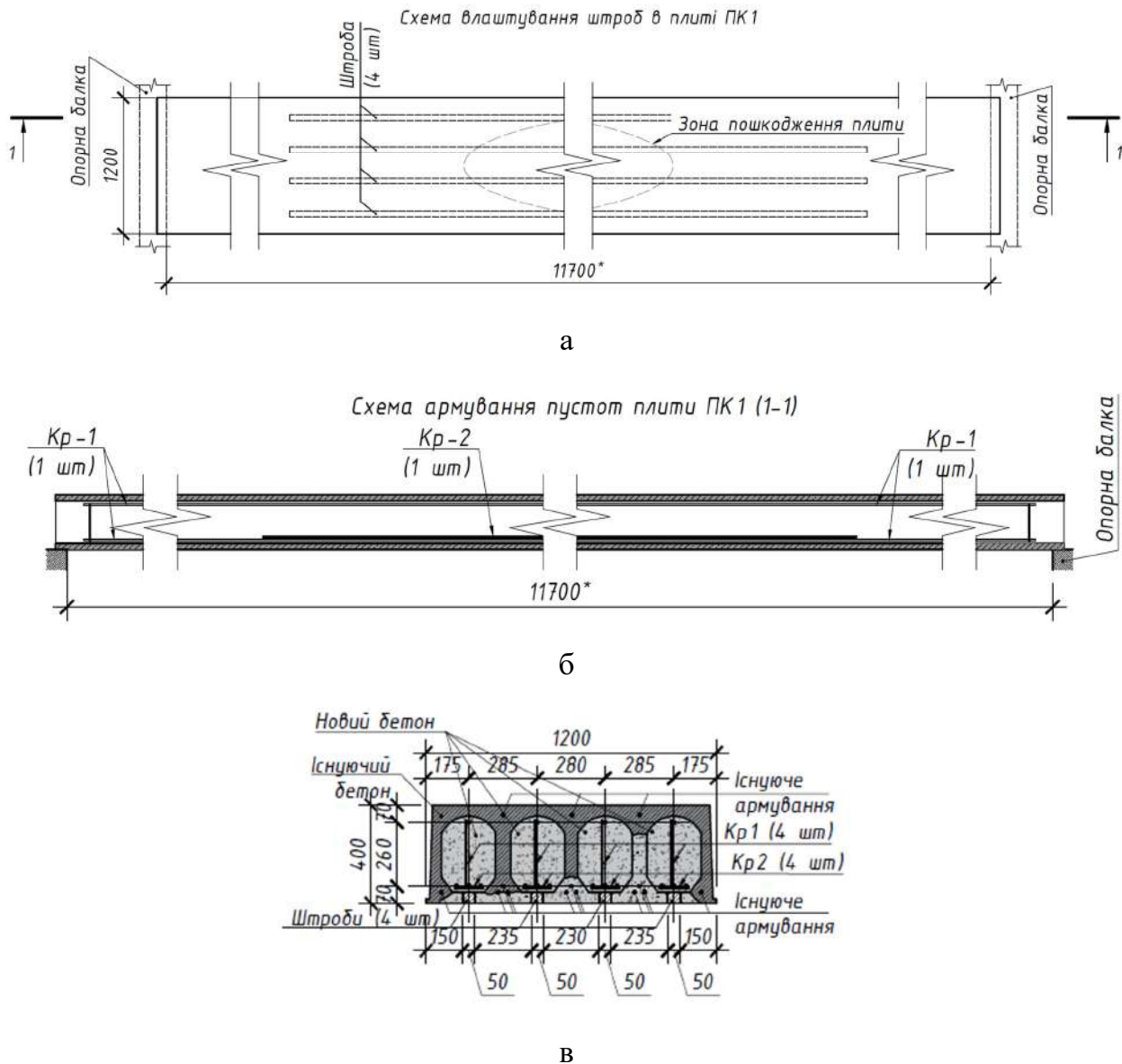


Рис. 4.10. Креслення на відновлення функціональної придатності пустотної плити: а – план плити; б – поздовжній розріз; в – поперечний розріз

У процесі відновлення функціональної придатності плит виконали: встановлення розвантажувальних стійок; демонтаж пошкоджених частин; підготовку внутрішньої поверхні перед бетонуванням; встановлення арматурних каркасів; встановлення опалубки; заповнення пустот плит бетонним розчином через отвори влаштовані у верхній грані із використанням бетононасосу; витримування технологічної перерви для набору міцності бетону; демонтаж опалубки та стійок. Процес виконання відновлення функціональної придатності наведено на рис. 4.11.

Для виконання робіт з відновлення експлуатаційної придатності пустотних плит саме на даному об'єкті, було адаптовано технологію, а саме: бетонування виконувалося через отвори у верхній частині плити, а встановлення каркасів та підготовка внутрішніх поверхонь – через штробив в нижній грані. Даний факт ілюструє високу адаптивність технології для забезпечення необхідних якісних характеристик відновлених конструкцій, що є важливим.



а

б

Рис. 4.11. Процес відновлення функціональної придатності пустотних плит:

а – плита після очищення від пошкодженого бетону;

б – зовнішній вигляд плити після бетонування перед демонтажем розвантажувальних стійок

Після виконання відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит, виконують системні огляди та геодезичний моніторинг конструкцій. Відповідно до них, пошкоджень чи надмірних деформацій у процесі експлуатації не виявлено. Це є підтвердженням ефективності застосованої технології. Довідка про апробацію наведена у додатку А.1.

У межах іншого впровадження у м. Києві (додаток А.2), виконали підсилення 2-х залізобетонних круглопустотних плит довжинами по 5,9 метрів та шириною 1,0 та 1,2 м. Необхідність у підсиленні виникла через необхідність збільшення навантаження. За результатами проведеного перевірконого розрахунку, плита не здатна була сприйняти згинальний момент та поперечну силу від проєктного навантаження без досягнення груп граничних станів.

Підсилення виконувалося аналогічним чином, як і для попереднього випадку. Креслення на підсилення плит наведено на рис. 4.12.

Після відновлення експлуатаційної придатності та навантаження плит, системно виконують огляди та геодезичні вимірювання з метою виявлення можливих пошкоджень чи понаднормових прогинів. Пошкоджень чи надмірних прогинів, які б вказували на зниження експлуатаційної придатності відновлених плит не виявлено, тому, можна зробити висновок про ефективність застосованої технології.

Висновки до четвертого розділу

1. У межах розділу, розроблено алгоритм прийняття рішення при виборі способу відновлення функціональної придатності пустотної залізобетонної плити, або її підсилення різними методами. Вихідними даними для алгоритму є проведене технічне обстеження, встановлені пошкодження конструкції плит та необхідні якісні показники відновленої конструкції.

2. Остаточо сформовано технологію відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит шляхом: встановлення інвентарних стійок (або, за необхідності, опалубки); влаштування штроб; підготовки внутрішньої поверхні пустот; встановлення арматурних каркасів із подальшим заповненням порожнин високотекучою самоущільнювальною бетонною сумішшю; після набору міцності бетоном виконують демонтаж інвентарних стійок чи опалубки.

3. Сформовано технологію підсилення приопорних ділянок пустотних плит на дію поперечної сили. Дана технологія реалізується через набір наступних процесів: влаштування штроб в межах ділянки підсилення; влаштування пробок для попередження витікання бетонної суміші; підготовки внутрішньої поверхні порожнин; заповнення приопорних ділянок порожнин бетонною сумішшю.

4. Виконали апробацію розробленої технології відновлення експлуатаційної придатності пустотних залізобетонних плит шляхом встановлення додаткової арматури та заповнення порожнин високорухливою самоущільнювальною бетонною сумішшю на двох об'єктах. За результатами відновлення функціональної придатності, технологія зарекомендувала себе із позитивної сторони, а тому, рекомендовано її застосування на будівельних об'єктах.

5. Основні результати даного розділу викладено в роботах [19].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що пустотні плити перекриття мають значне поширення у будівельній практиці нашої країни. З огляду на наявність військових дій на території нашої країни та потребу у відновленні пошкоджених будівель в цілому та окремих будівельних конструкцій як їх складових частин, питання відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит є актуальним завданням.

2. На основі аналізу науково-технологічної літератури та звітів із обстеження виокремлено типові дефекти та пошкодження, які притаманні збірним залізобетонним пустотним плитам. Для кожного із видів дефектів та пошкоджень виокремлено можливі методи їх ремонту, відповідно до вимог нормативної документації. Зроблено висновок про обмежену область застосування кожного із способів ремонту і відсутність комплексного підходу до відновлення функціональної придатності залізобетонних пустотних плит.

3. За результатами аналізу науково-технічної літератури виокремлено конструктивно-технологічні чинники, які безпосередньо впливають на якісні показники відновленої конструкції та формують технологію відновлення функціональної придатності пошкоджених залізобетонних пустотних плит. До таких чинників можна віднести: наявність робочого шва бетонування; усадка бетонної суміші; підготовка основи; легкоукладальність бетонної суміші та спосіб її розподілення.

4. Розроблено загальну методику досліджень, яка включає в себе як теоретичні, так і експериментальні дослідження. При цьому експериментальні дослідження розділено на лабораторні, з використанням стендів, що імітують реальні умови та натурні. Обґрунтовано методики експериментальних досліджень та встановлено окремі фізико-механічні показники будівельних матеріалів з якими будуть виконуватися подальші дослідження.

5. За результатами лабораторних досліджень виявлено, що зі збільшенням легкоукладальності бетонної суміші збільшується довжина її розповсюдження всередині порожнин плити. Зроблено висновок, що для заповнення порожнин

плити рекомендовано використовувати бетонну суміш із розпливом конуса 810 мм та маркою консистенції F6. Вона дозволяє досягнути розподілення суміші всередині плити на довжину в 200 см. Окрім того, встановлено, що використання методів розподілення (проштовхування та вібрування) дозволили підвищити заповнення перерізу порожнини з 70 до 90 – 91 % відповідно на відстані в 200 см від місця вкладання бетонної суміші. Досліджено, що усадка обраної бетонної суміші становить 0,39 %, тому, її використання забезпечить спільну роботу елементів відновлення з існуючим бетоном плити, завдяки властивості суміші зберігати свої геометричні розміри. За результатами дослідження впливу способів підготовки основи на міцність зчеплення, рекомендовано застосування лише тих способів, при яких розрив при визначенні міцності зчеплення був когезивним, серед яких: механічна обробка, знепилення та зволоження, механічна обробка та знепилення, знепилення із нанесенні суміші Mapefer 1k, механічна обробка у поєднанні із знепиленням і нанесенням суміші Mapefer 1k.

6. За результатами натурних досліджень можна зробити висновок про ефективність технології відновлення експлуатаційної придатності пустотних залізобетонних плит. Зокрема вдалося виконати відновлення функціональної придатності пустотної плити із суттєвими структурними пошкодженнями і досягти підвищення її несучої здатності у понад 1,7 рази. Окрім того, використання вуглецевих ламелей у якості підсилення розтягнутої зони дозволяє збільшити жорсткість плити на 28 % і більше, порівняно із новою плитою. Підсилення приопорних зон плити на дію поперечної сили дозволило збільшити несучу здатність перерізу у понад 1,93 рази.

8. Остаточо сформовано технологію відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит. Розроблено алгоритм прийняття рішення при виборі способу відновлення функціональної придатності, або підсилення пустотних залізобетонних плит. Вихідними даними для алгоритму є проведене технічне обстеження, встановлені пошкодження конструкції плит та необхідні якісні показники відновленої конструкції.

7. Технологія відновлення експлуатаційної придатності пустотних

залізобетонних плит складається із наступних процесів: встановлення інвентарних стійок (або, за необхідності, опалубки); влаштування штроб; підготовки внутрішньої поверхні пустот; встановлення арматурних каркасів із подальшим заповненням порожнин високотекучою самоущільнювальною бетонною сумішшю; після набору міцності бетоном виконують демонтаж інвентарних стійок чи опалубки. Разом із тим, сформовано технологію підсилення приопорних ділянок пустотних плит на дію поперечної сили. Дана технологія реалізується через набір наступних будівельних процесів: влаштування штроб в межах ділянки підсилення; влаштування пробок для попередження витікання бетонної суміші; підготовки внутрішньої поверхні порожнин; заповнення приопорних ділянок порожнин бетонною сумішшю.

8. Результати дисертаційної роботи були апробовані на двох об'єктах будівництва організаціями ТОВ «ГРАНД БУРЖЕ» та ТОВ «ОСНОВИ БЕЗПЕКИ». За результатами відновлення функціональної придатності, або підсилення пустотних плит, можна стверджувати, що технологія зарекомендувала себе із позитивної сторони, а тому, її можна рекомендувати до застосування на об'єктах будівництва.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Молодід О., Ковальчук О., Скочко В., Плохута Р., Молодід О., Мусіяка І. Обстеження будівель та споруд пошкоджених внаслідок військових дій на прикладі смт Бородянка. Опір матеріалів і теорія споруд /Strength of Materials and Theory of Structures. 2023. № 110 – Р. 328 – 343. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.328-343>
2. ДБН В.1.2-XX:201X. Експлуатаційна придатність будівель та споруд. Основні положення. Проект (остаточна редакція). Київ : Мінрегіонбуд України, 201X. 18 с.
3. Міністерство розвитку громад та територій України, Наказ від 06.08.2022 № 144 «Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів».
4. Воскобійник О.П., Кітаєв О.О., Макаренко Я.В., Бугаєнко Є.С. Експериментальні дослідження залізобетонних балок з дефектами та пошкодженнями, які викликають косий згин. Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво. 2011. №29 – С. 87 – 92. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2011_1_18
5. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. На заміну ДБН В.1.2-14:2009, чинний від 01.09.2022. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2018, 38 с.
6. ДБН В.1.2-6:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість. На заміну ДБН В.1.2-6:2008, [Чинний від 01.09.2022]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2021. 35 с.
7. Дмитренко, Є., Донець, Т., Одноліток, К., Фесенко О. Оцінка вогнестійкості залізобетонних колон уточненими розрахунковими методами. Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2021, № 1(8) – С. 82–96. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.82-96>

8. Павлюк Ю. Бетон та залізобетон в умовах високих температур та пожежі. Пожежна безпека. 2020., № 4 – С. 111-124. URL: <https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB/article/view/1628>

9. Кабінет Міністрів України. Постанова від 12 квітня 2017 р. № 257 зі змінами від 5 квітня 2022 р. № 423 «Про затвердження Порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва».

10. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. На заміну ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016, [Чинний від 01.09.2024]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024, 78 с.

11. Міністерство розвитку громад та територій України, Наказ від 28.04.2022 № 65 «Про затвердження Методики обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів».

12. Науково-технічний звіт «Обстеження будівель і споруд, що знаходяться на території Бородянської територіальної громади Київської області. Основне обстеження багатоквартирного житлового будинку у смт Бородянка, вул. Центральна, 353». КНУБА, №4122, 2022, 39 с.

13. Науково-технічний звіт «Додаткове обстеження житлового будинку на території смт Бородянка по вул. Центральна, 429, пошкодженого внаслідок бойових дій». КНУБА, №73-22, 2022, 47 с.

14. Науково-технічний звіт «Обстеження будівель і споруд, що знаходяться на території Бородянської територіальної громади Київської області. Основне обстеження палацу культури ім. Т.Г. Шевченка в смт Бородянка, вул. Паркова, 1А». КНУБА, №4122, 2022, 46 с.

15. Молодід О.С., Поколенко В.О. Молодід О.О., Плохута Р. О., Мусіяка І. В. Діагностика експлуатаційної придатності будівельних конструкцій як передумова продовження їх життєвого циклу. Будівельне виробництво. – К.: ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва». – 2021. № 71. С. 21 – 27. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.71.21-27>

16. Молодід О.С., Плохута Р.О., Молодід О.О., Мусіяка І.В. Обстеження будівель та споруд, що пошкоджені внаслідок бойових дій. Міжнародний науково-технічний форум “Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика” Київ - 17-18 листопад 2022, С. 112-113.

17. ДБН В.1.2-12-2008 Система надійності та безпеки в будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. Прийнято вперше, [Чинний від 01.01.2009]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008, 36 с.

18. Y. Ivashko, A.Dmytrenko, O. Molodid, O. Ivashko, V. Molochko, S. Belinskyi, P. Bicaaj. The destruction of the established urban environment of Borodianka and Irpen as a result of the Russian-Ukrainian war. *International Journal of Conservation Science*. 2024. № 15, Issue 2 – P. 785-800. DOI: 10. 36868/IJCS.2024.02.03 https://ijcs.ro/public/IJCS-24-02_27_Ivashko.pdf

19. O. Molodid, I. Musiaka, S. Bogdan, Y. Yashchenko, M. Hryniewicz, B. Matlak, R. Plokhuta, Y. Novak. Restoration of ceilings in buildings damaged as a result of over-design impacts, while preserving the established urban environment. *International journal of conservation science*. 2025. № 16, Issue 3 P. 1347-1362. DOI: 10. 36868/IJCS.2025.03.08

20. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд [Чинний від 01.04.2017]. Вид. офіц. Київ : ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2016. 68 с.

21. EN 1504 :2004. Product and system for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality, control and evaluation of conformity. Approved by CEN on 2 June 2005. – 214 p.

22. ДСТУ 9288:2024 Організація і технологія ремонту, підсилення та відновлення будівельних об'єктів. Загальні вимоги [Чинний від 01.01.2025]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024, 131 с.

23. Система формування конструктивно-технологічних рішень відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій :

автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / О. С. Молодід; Київський національний університет будівництва і архітектури. - Київ, 2021. - 38 с. - укр.

24. Gergess, Antoine & Shabab, Mahfoud & Massouh, Razane. (2020). Repair of Severely Damaged Reinforced Concrete Beams with High-Strength Cementitious Grout. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2020, № 2674 (5) – 20 p. DOI: 10.1177/0361198120919116.

25. Hamiruddin, Nur & Razak, Rafiza & Muhamad, Khairunnisa & Mohd Zahid, Mohd Zulham Affandi. Repair of heat damaged reinforced concrete slab with High Strength Fibre Reinforced Concrete materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. № 140 – 9 P. DOI: 10.1088/1755-1315/140/1/012126.

26. Puskas, Attila & Corbu, Ofelia Cornelia & Köllő, Szabolcs. Testing on concrete surface repair with tri component epoxy resin system. 16th edition National Technical-Scientific Conference Modern Technologies for the 3rd Millennium, 23-24 March, 2017 – Oradea, Romania – P. 239-244.

27. Huang, Xilong & Zeng, Linghong & Chen, Yongli & Wang, Lu & Lv, Wenyan & Lin, Huixing. The ultra-low temperature resistance carbon fiber/epoxy composites and failure mechanism. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2025. DOI: 10.1177/07316844251337170

28. 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.

29. Kim, Tae-Kyun, and Jong-Sup Park. Performance Evaluation of Concrete Structures Using Crack Repair Methods. 2021. №. 13 (6): 3217 – 19 P. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13063217>

30. Технологія ремонту тріщин залізобетонних конструкцій полімерними композиціями методом поверхневого просочення : дис. ... д-ра філософ. : 192 / Плохута Руслана Олександрівна ; Київ. нац. ун-т. буд-ва і архіт. – Київ : КНУБА, 2020. – 269 с.

31. Mohamed A. Safan, Zeinab A. Etman, Alaa Konswa. Evaluation of polyurethane resin injection for concrete leak repair, *Case Studies in Construction Materials*. 2019. №11. ISSN 2214-5095. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00307>
32. Шарикіна Н. Технологія відновлення захисного шару залізобетонних конструкцій : дис. ... д-ра філософії : 192 «Будівництво та цивільна інженерія» /Н. В. Шарикіна ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. - Київ : КНУБА, 2023. – 190 с.
33. Molodid O., Sharykina N., Plokhuta R., Molodid O., Musiiaka I., Research of restoration technology of the clear cover of reinforced concrete structures, *Journal of Technology*. 2023. № 38(4), P. 243-251. URL: <https://www.airitilibrary.com/Article/Detail?DocID=10123407-N202312210014-00001>
34. ibud Київ - Усе для будівництва, ремонту та облаштування. URL: <https://ibud.ua/media/file/documents/14080475343-рсс-ceresit-march.pdf> (дата звернення: 15.01.2023).
35. MAPEI SpA. Structural strengthening manual. Cutting-edge systems and solutions for the repair and static / seismic upgrading of buildings using fibre reinforced composites. Milan. 92 p.
36. Бейнер А. SikaCarboDur System : Технологічний регламент. 2-ге вид. 2014. 16 с.
37. Бейнер А. SikaWrap : Технологічний регламент. Сухий спосіб монтажу. 2-ге вид. 2013. 16 с.
38. Haddad, Rami & AL-Mekhlafy, Nadmi & Ashteyat, Ahmed. Repair of heat-damaged reinforced concrete slabs using fibrous composite materials. *Construction and Building Materials - Constr build mater*. 2010. №25 (3) – P. 1213-1221. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.09.033
39. Савйовський В., Молодід О., Малець Н. Підсилення залізобетонних балочних конструкцій зовнішнім армуванням. Управління розвитком складних систем. 2017. № 29. – С. 198 – 203.
40. Wan-Yang Gao, Ke-Xu Hu, Jian-Guo Dai, Kun Dong, Ke-Quan Yu, Li-Jing Fang, Repair of fire-damaged RC slabs with basalt fabric-reinforced shotcrete.

Construction and Building Materials. 2018. № 185 – P. 79-92, ISSN 0950-0618, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.043>

41. Савйовський В. В. Капітальний ремонт і реконструкція будівель і споруд : навч. Посібн. – Київ : Видавництво Ліра-К, 2026. – 342 с.

42. Скорук О. Підсилення конструкцій порожнистих плит перекриття металевими балками та армованим фібробетоном. Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2023. № 12 – с. 115 – 125. ISSN 2522-4182, DOI: 10.32347/2522-4182.9.2021.115-125

43. Білик С., Тонкачєєв Г. Видалення збірних плит перекриття в каркасних будівлях. Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2018. № 2 – С. 67–72. DOI: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.2.2018>.

44. Технологія та організація виконання робіт із з'єднання будівельних конструкцій акриловими композиціями : монографія / Н. М. Золотова, В. О. Склярєв, О. Ю. Супрун ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бєкетєва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бєкетєва, 2019. – 136 с.

45. М.В, Шпирько & А.В, Ткачук & Т.М, Дубов & Hryshko, Hanna. Усадочні деформації при твердінні цементуючої системи гідротехнічного бетону: Матеріали ІV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Гідротехнічне будівництво: минуле, сьогодення, майбутнє», м. Херсон, 2021 р. – с. 58 – 60.

46. Wittmann, Folker. Shrinkage of High Strength Concrete as Compared to Shrinkage of Normal Strength Concrete - Significance for Crack Formation and Durability. Restoration of Buildings and Monuments. 2004. № 10. p. 191-218. doi:10.1515/rbm-2004-5846.

47. Bodnárová, Lenka & Sitek, Libor & Hela, Rudolf & Foldyna, Josef. New potential of high-speed water jet technology for renovating concrete structures. Slovak Journal of Civil Engineering. 2011. №2 (XIX) – P. 1 – 7. DOI: 10.2478/v10189-011-0006-z

48. Бетонні роботи : монографія / О. В. Якименко, О. В. Кондращенко, А. О. Атинян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бєкетєва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бєкетєва, 2017. – 275 с.

49. Кабусь О.В., Буцька Л.М., Латорець К.В., Гуркаленко В.А. Дослідження складів самоущільнюючих бетонів для виготовлення мостових балок. Науковий вісник будівництва. 2019. № 2 (96). С. 285-290. DOI: 10.29295/2311-7257-2019-96-2-285-290

50. Xiaokuan Zhao, Yimiao Huang, Wei Dong, Jiaping Liu, Guowei Ma, A review of compaction mechanisms, influencing factors, and advanced methods in concrete vibration technology. Journal of Building Engineerin. 2024. № 93 (2), ISSN 2352-7102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109847>

51. Tolmachev S., Tolmachov D., Vatulia D. Strength of cement concretes compacted by pressing or rolling. 2025 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2025. № 1499 – P. 1 – 10. DOI: 10.1088/1755-1315/1499/1/012029

52. Medeiros-Junior, R. A.de, Lima, M. G.de and Oliveira, A. Influence of different compacting methods on concrete compressive strength. Materials Research. 2018. №3 (21) – 8 P. DOI: 10.1590/s1517-707620180003.0486

53. Молодід О., Плохута Р., Молодід О., Мусіяка І. Аналіз технологій відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій перекриттів. Шляхи підвищення ефективності будівництва. Київ: Видавництво Ліра-К, 2024. №1(54). С. 44–56. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).44-56](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).44-56).

54. Молодід О.С., Плохута Р.О., Мусіяка І.В., Аналіз можливих методів підсилення залізобетонних пустотних плит. ВМС-2022 – International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2022", 30 листопада - 2 грудня 2022, м. Київ, КНУБА, С. 185 – 186.

55. Молодід О. С., Мусіяка І.В., Аналіз технологій відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій перекриттів, Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Будівництво, Дизайн : Технології, Енергетика, Менеджмент», 16 – 17 жовтня 2024, м. Київ, КНУБА, С.130.

56. Технологічна карта суперпластифікатора Dynamon SR3. URL: <https://cdnmedia.mapei.com>.

57. Технологічна карта модифікатора в'язкості Viscofluid SCC/10. URL: <https://cdnmedia.mapei.com>.

58. ДСТУ Б В.2.7-114:2002. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань (ГОСТ 10181-2000). [Недіючий від 01.01.2026]. Вид. офіц. Київ : ДП Укрархбудінформ, 2002, 32 с.

59. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови (EN 206-1:2000, NEQ). [Недіючий від 01.01.2024]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010, 109 с.

60. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. [Чинний від 01.09.2010]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010, 43 с.

61. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови. [Чинний від 01.09.2023]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022, 24 с.

62. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1. [Чинний від 01.06.2020]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2009, 70 с.

63. М.В, Шпирько, А.В, Ткачук, Т.М, Дубов, Г.М. Гришко. Усадочні деформації при твердінні цементуючої системи гідротехнічного бетону. Матеріали IV Всеукраїнської науково-практична конференція молодих вчених «Гідротехнічнебудівництво: минуле, сьогодення, майбутнє» (Херсон, 28-29 жовтня 2021 року). – Херсон: ХДАЕУ, 2021. – №. 4, с. 56 – 58.

64. ДСТУ Б В.2.7-216:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення деформацій усадки та повзучості. [Чинний від 01.09.2010]. Вид. офіц. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2009, 16 с.

65. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі Змінами № 1 та № 2. [Чинний з 01.06.2020]. Київ : Мінрегіон, 2020. 75 с.

66. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 01.01.2007]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2006, 15 с.

67. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 01.06.2011]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011, 123 с.

68. ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015. Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі будівельних конструкцій. [Чинний від 01.04.2016]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015, 62 с.

69. Kondratenko M.S., Ding Nanhon. The reasons of destruction of reinforced concrete beams with carbon fiber reinforced polymer (CFRP). Measures for prevention such destruction. Young Scientist 2018. № 1 (53) – p. 430 – 434.

70. Молодід О., Богдан С. Суданський Р. Мусіяка І. Підсилення залізобетонних конструкцій зовнішнім армуванням за технологією «ТМ МАРЕІ». Структурутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій. Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції. 08-09 квітня 2021 р. м. Одеса, С. 65-68.

71. Молодід О., Мусіяка І., Богдан С., Ященко Є., Ефективність зовнішнього підсилення пустотних плит вуглецевими матеріалами (FRP). Міжнародний науково-технічний форум “Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології”, Київ, 24-25 листопада, 2025 р.

72. Технологічна карта антикорозійного розчину Mapefer 1k Zero. URL: <https://cdnmedia.mapei.com>

73. Технологічна карта ремонтної суміші Mapegrout Hi-Flow (Colabile) Zero URL: <https://cdnmedia.mapei.com>

Додаток А.1

Довідка про апробацію результатів дисертаційного дослідження

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ГРАНД БУРЖЕ»**

18/11-1 від 18.11.2025

08297, Київська обл., м. Буча б. Бірюкова Леоніда, б. 2

ДОВІДКА**ПРО АПРОБАЦІЮ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
ЗДОБУВАЧА МУСІЯКИ ІВАНА ВІКТОРОВИЧА**

У 2022 році внаслідок військових дій на території Київської області, в одній із громадських будівель було суттєво пошкоджено чотири залізобетонні попередньонапружені пустотні плити перекриття довжинами від 7.2 до 12.0 метрів.

За результатами проведеного технічного обстеження, було зроблено висновок про аварійний стан даних конструкцій, а окрім того, відмічено неможливість заміни плит на нові чи застосування класичних технологій підсилення згинних конструкцій через особливості як самих плит, так і їх просторового положення. Тому, для відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених залізобетонних пустотних плит було використано результати наукових досліджень здобувача КНУБА Мусіяки Івана Вікторовича. Запропонована технологія полягала у очищенні тіла плит від незв'язаних частин тіла, підготовки внутрішньої поверхні плит для покращення адгезії, встановленні арматурних каркасів та опалубки і заповненні внутрішньої поверхні плит високотекучим самоущільнюючим бетонним розчином.

За сукупністю застосованих конструктивно-технологічних рішень, розроблених здобувачем Мусіякою І.В., вдалося відновити експлуатаційну придатність пошкоджених залізобетонних плит. Станом на зараз, відновлені плити перекриття експлуатуються понад 3 роки, чим доводиться ефективність застосованих рішень по відновленню експлуатаційної придатності плит.

Директор ТОВ «ГРАНД БУРЖЕ»



Ліневич Т.В.

Додаток А.2

Довідка про апробацію результатів дисертаційного дослідження



№ 26/11-25 від 26.11.2025р.

ДОВІДКА

ПРО АПРОБАЦІЮ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
ЗДОБУВАЧА МУСІЯКИ ІВАНА ВІКТОРОВИЧА

У 2022 році було проведено технічне обстеження круглопустотних плит перекриття громадської частини будівлі у Дніпровському районі міста Києва для встановлення можливості збільшення навантаження на існуюче перекриття.

У межах візуального обстеження встановлено характерні дефекти та пошкодження, що виникли у процесі виготовлення та експлуатації даних конструкцій, а також інструментальними дослідженнями встановлено їх параметри. На кінцевому етапі виконано перевірочні розрахунки плит для встановлення можливості сприйняття ними збільшених навантажень. Відповідно до результатів розрахунку, виявлено необхідність у підсиленні окремих пустотних плит.

Для підсилення плит було використано результати наукових досліджень здобувача КНУБА Мусяки Івана Вікторовича. Запропонована технологія полягала у підготовці внутрішньої поверхні плит для покращення адгезії, встановленні арматурних каркасів і заповненні внутрішньої поверхні плит припорних ділянок бетонним розчином.

За сукупністю застосованих конструктивно-технологічних рішень, розроблених здобувачем Мусякою І.В., вдалося збільшити несучу здатність залізобетонних плит. Станом на зараз, підсилені плити перекриття експлуатуються понад 3 роки, чим доводиться ефективність застосованих рішень.

Генеральний директор




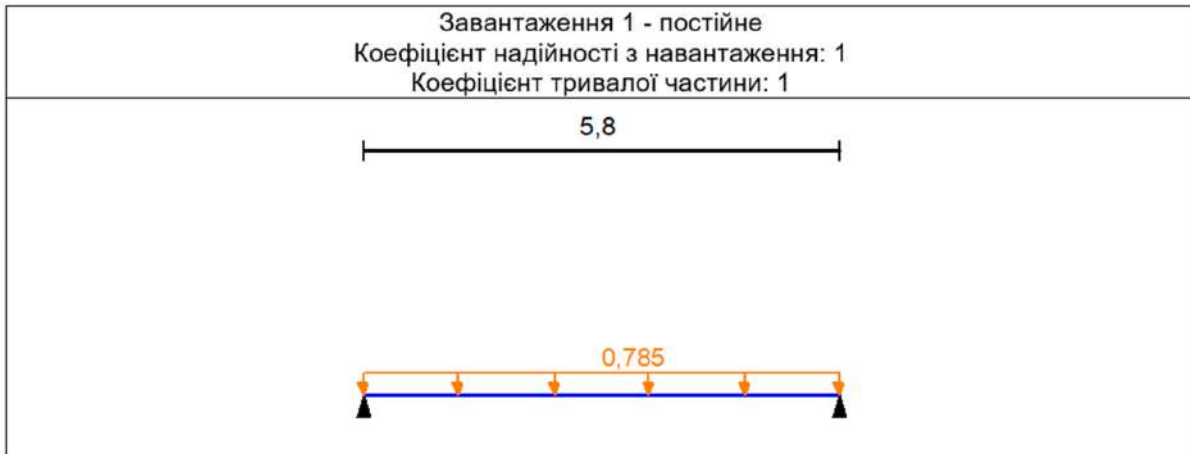
Андрій САПСАЙ



Додаток Б

Перевірочний розрахунок несучої здатності пустотної залізобетонної плити на дію поперечної сили

	Тип навантаження	Величина	
		0,785	Т/м

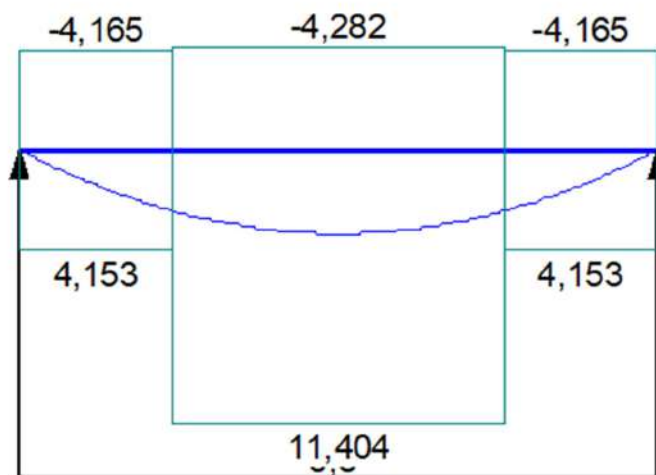


а



б

Епюра матеріалів за згинальним моментом



В

Результати розрахунку					
Проліт	Ділянка	Коефіцієнт використання	Перевірка	Перевірено за ДБН	
прогін 1	1	0,609	Міцність за граничним моментом перерізу		
		0,141	Деформації у стиснутому бетоні	п. 6.1.2	
		0,067	Деформації у розтягнутій арматурі	п. 6.1.2	
			0,362	Опір зрізу при дії V_z без поперечної арматури	п. 6.2.1.7
	2	0,304	Міцність за граничним моментом перерізу		
		0,12	Деформації у стиснутому бетоні	п. 6.1.2	
		0,028	Деформації у розтягнутій арматурі	п. 6.1.2	
			0,115	Опір зрізу при дії V_z без поперечної арматури	п. 6.2.1.7
	3	0,611	Міцність за граничним моментом перерізу		
0,142		Деформації у стиснутому бетоні	п. 6.1.2		
0,067		Деформації у розтягнутій арматурі	п. 6.1.2		
		0,268	Опір зрізу при дії V_z без поперечної арматури	п. 6.2.1.7	

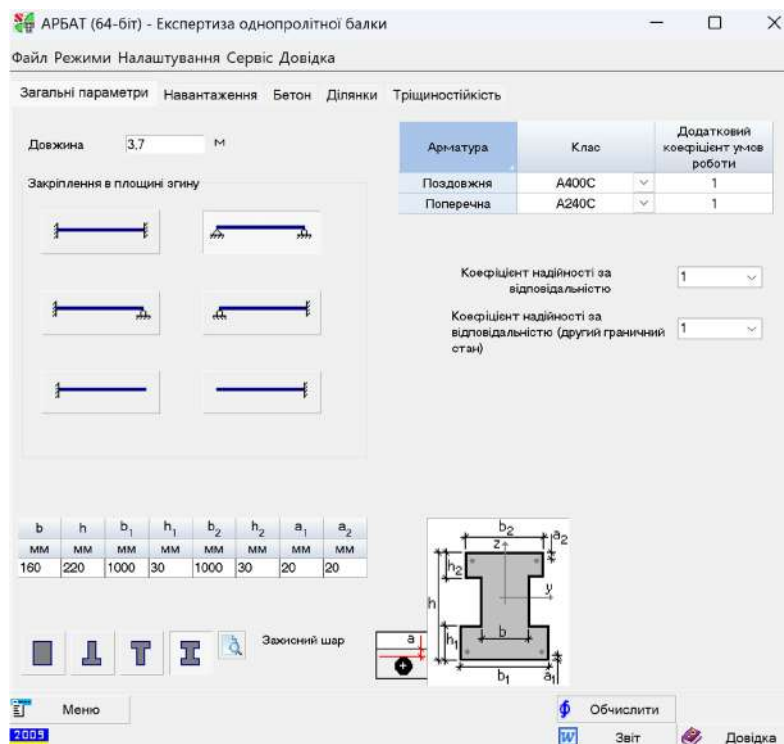
Г

Задане армування

Проліт	Ділянка	Довжина (м)	Армуатура	Переріз
Проліт 1	1	1,4	S ₁ - 5Ø12 S ₂ - 5Ø12	
	2	3	S ₁ - 5Ø16 + 5Ø16 S ₂ - 5Ø12	
	3	1,4	S ₁ - 5Ø12 S ₂ - 5Ø12	

Д

Рисунок Б.1 – Результати розрахунку армування плити для відновлення її функціональної придатності



а

Додаток В

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

1. Молодід О., Поколенко В., Молодід О., Плохута Р., Мусіяка І., Діагностика експлуатаційної придатності будівельних конструкцій як передумова продовження їх життєвого циклу. *Будівельне виробництво*. 2021. № 71. С. 21 – 27. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.71.21-27> (фахове видання категорії «Б»).

Особисто автором проведено аналіз сучасного обладнання та методів проведення технічного обстеження будівель та споруд.

2. Molodid O., Kovalchuk O., Skochko V., Plokhuta R., Molodid O., Musiiaka I. Inspection of war-damaged buildings and structures by the example of urban settlement Borodianka. *Onip матеріалів і теорія споруд /Strength of Materials and Theory of Structures*. 2023. № 110. P. 328 – 343. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.328-343> (стаття входить у базу даних *Web of Science*).

Особисто автором виконано виокремлення та систематизацію позапроектних впливів на будівельні конструкції.

3. 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. Volume 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 проаналізовано наявні дефекти та пошкодження будівельних конструкцій і на основі глибокого всестороннього їх аналізу надано рекомендації на виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

4. 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. Volume 15, SI, P. 205-220. DOI: <https://doi.org/10.36868/IJCS.2024.si.17> (стаття входить у бази даних *Scopus* та *Web of Science (Q1-Q3)*).

Особисто автором проаналізовано результати обстежень, систематизовано типові дефекти та пошкодження та надано основні технології для відновлення будівельних конструкцій після дії позапроектних впливів.

5. Молодід О., Плохута Р., Молодід О., Мусіяка І. Аналіз технологій відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій перекриттів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. №1 (54). С. 44–56. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).44-56](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).44-56). (фахове видання категорії «Б»).

Особисто автором проаналізовано відомі технології відновлення функціональної придатності залізобетонних конструкцій, зроблено висновок про їх ефективність.

6. Molodid O., Musiaka I., Bogdan S., Yashchenko Y., Hryniewicz M., Matlak B., Plokhuta R., Novak Y.. Restoration of ceilings in buildings damaged as a result of over-design impacts, while preserving the established urban environment. *International journal of conservation science*. 2025. Volume 16, Issue 3, P. 1347-1362. DOI: 10. 36868/IJCS.2025.03.08 (стаття входить у базу даних Scopus та Web of Science (Q1-Q3)).

Особисто автором виконано систематизацію дефектів та пошкоджень конструкцій перекриттів, проведено експериментальні дослідження із визначення впливу технологічних чинників на якість готової конструкції та технологію відновлення функціональної придатності плит.

7. Спосіб влаштування вогне- та термозахисту конструкцій, що підсилені зовнішнім армуванням, приклеєним на клей з низькою вогне- та термостійкістю: пат. № 149375 Україна: Е04В1/94. № u202103628, заявл. 24.06.2021, опубл. 10.11.2021, бюл. № 45/2021, 3 с.

Особисто автором розроблено конструктивно-технологічне рішення по влаштуванню вогне- термозахисної системи.

Список публікацій здобувача, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Молодід О., Плохута Р., Мусіяка І. Переваги та недоліки підсилення будівельних конструкцій зовнішнім армуванням. *Актуальні проблеми, пріоритетні*

напрямки та стратегії розвитку України: тези доп. II Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 16 червня 2021 року. С. 396-400.

Особисто автором проведено аналіз технологій підсилення зовнішнім армуванням, виокремлено переваги та недоліки.

2. Молодід О., Руднева І., Богдан С. Мусіяка І. Експериментальне дослідження підсилення металевих конструкцій зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних композитних вуглецевих матеріалів (FRP). *Актуальні питання мостового господарства та шляхи його покращення: тези доп. I Міжнародна науково-практична конференції ім. П.М. Коваля, м. Запоріжжя, 15 – 17 вересня 2021 року. С. 85-88.*

Особисто автором виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз отриманих результатів.

3. Молодід О., Богдан С., Суданський Р., Мусіяка І. Підсилення залізобетонних конструкцій зовнішнім армуванням за технологією «ТМ МАРЕІ». *Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій: тези доп. Міжнародної науково-технічної конференції, м. Одеса, 08 - 09 квітня 2021 року, С. 65-68.*

Особисто здобувачем проведено аналіз можливих рішень по підсиленню конструкцій з використанням вуглецевих матеріалів.

4. Molodid O., Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I., *Fundamentals of building restoration decisions. Innovations and prospects of world science: abstract from The 10th International scientific and practical conference, Vancouver, Canada, May 25-27, 2022, P. 907*

Особисто автором виконано аналіз відомих методів відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій.

5. Молодід О., Ковальчук О., Рашківський В., Плохута Р., Мусіяка І., *Особливості обстеження будівель та споруд, що зазнали пошкоджень внаслідок воєнних дій. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022): матеріали тез доп. XI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернігів, 26–27 травня 2022 р., Т. 2. 264 с.*

Особисто автором визначено ключові особливості проведення технічного обстеження пошкоджених будівель і споруд.

6. Молодід О., Плохута Р., Мусяка І. Аналіз можливих методів підсилення залізобетонних пустотних плит. *Build-Master-Class-2022*: тези доп. Міжнародної науково-практичної конференції для молодих вчених, м. Київ, 30 листопада - 2 грудня 2022, С. 185 – 186

Особисто автором проведено літературний пошук і виокремлено можливі методи підсилення залізобетонних пустотних плит.

7. Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I., Basic approaches to choosing technologies for restoration of damaged buildings. *2nd International Conference on Relationship between public administration and business entities management*: abstract, November 12, 2022, Tallinn.

Особисто автором виконано систематизацію технологій для відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій.

8. Молодід О., Плохута Р., Молодід О., Мусяка І., Обстеження будівель та споруд, що пошкоджені внаслідок бойових дій. *Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика*: тези доп. Міжнародного науково-технічного форуму, м.Київ, 17-18 листопада 2022, С. 112-113.

Особисто автором визначено особливості виконання обстеження будівельних конструкцій внаслідок позапроектних впливів.

9. Молодід О., Мусяка І. Теоретичне обґрунтування потреби дослідження технології відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних пустотних плит перекриття. *Наука, освіта, технології і суспільство: світові тенденції та регіональний аспект*: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції, м.Рівне, 11 січня 2023 р. Ч. 3. С. 23-24.

Особисто автором обґрунтовано потребу в дослідженні технології відновлення функціональної придатності пустотних залізобетонних плит.

10. 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. *The 15 th Edition of Euroinvent*

European Exhibition Of Creativity And Innovation. International Conference on Innovative Research EUROINVENT – ICIR, 2023, 11 - 13 May 2023, Iasi, Romania. P. 203.

Особисто автором виконано аналіз наявних методів відновлення будівельних конструкцій та надано рекомендації щодо їх ремонту.

11. Молодід О., Мусіяка І., Бендерський С. Потреба у відновленні будівельних конструкцій пошкоджених внаслідок позапроектних впливів. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернігів, 25-26 травня 2023 р. Т. 2. С. 127-128.*

Особисто автором встановлено необхідність виконання відновлювальних робіт для усунення дефектів та пошкоджень будівельних конструкцій, що зазнали позапроектних впливів.

12. Молодід О., Мусіяка І. Виявлення технологічних чинників, що впливають на формування технології відновлення експлуатаційної придатності пустотних плит. *Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології: програма та тези доповідей міжнародного науково-технічного форуму, м.Київ, 15-16 листопада 2023. С. 131. SBN 978-617-520-687-4.*

Особисто автором проведено аналіз науково-технічної літератури із виокремленням конструктивно-технологічних чинників, які мають вплив на формування технології відновлення експлуатаційної придатності пустотних залізобетонних плит.

13. Молодід О., Мусіяка І. Аналіз технологій відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій перекриттів. *Архітектура, Будівництво, Дизайн : Технології, Енергетика, Менеджмент: матеріали Міжнародного науково-технічного форуму, 16 – 17 жовтня 2024, м. Київ, С.130.*

Особисто автором виконано аналіз науково-технічної літератури для пошуку ефективних технологій відновлення експлуатаційної придатності пустотних залізобетонних плит.

14. Молодід О., Мусіяка І., Богдан С., Яценко Є. Ефективність зовнішнього підсилення пустотних плит вуглецевими матеріалами (FRP). *Архітектура, Дизайн*

та Будівництво: Інноваційні технології: матеріали Міжнародного науково-технічного форуму, м. Київ, 24-25 листопада, 2025 р.

Особисто автором проведено дослідження, а також встановлено ефективність зовнішнього підсилення пустотних плит вуглецевими матеріалами.

Список публікації здобувача, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Теплоізоляція фасадів будівель системними рішеннями ThermoELF: Навчальний посібник / [уклад.: Молодід О.С.; Скочко В.І.; Кожедуб С.А.; Мусіяка І.В. та ін.], Київ : Видавництво Ліра-К, 2025. 216 с.

Особисто автором виконано аналіз існуючих рішень з утеплення фасадів, розроблено технологічні та організаційні заходи.

2. Molodid O., Reznichenko I., Plokhuta R., Musiiaka I., Pressurize cavity between building structures at the facility of sewage system in Kyiv, *Civil Engineering Beyond Limits*, 1 (2023),1775. <https://doi.org/10.36937/cebel.2023.1775>. (стаття опублікована у закордонному виданні).

Особисто автором проаналізовано отримані результати досліджень на заповнення порожнин.

3. Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I., Reznichenko I. Sealing joints between concrete elements with polyurethane material. *Reliability and durability of railway transport engineering structure and buildings*. 17–19 November 2021 Kharkiv, Ukraine. AIP Conference Proceedings 31 May 2023; 2684 (1): 040017. <https://doi.org/10.1063/5.0120368> (стаття входить у бази даних Scopus).

Особисто автором розроблено конструктивно-технологічне рішення на герметизацію примикань.

4. Молодід О., Богдан С., Мусіяка І. Експериментальні дослідження довговічності ремонтних та захисних покриттів ТМ МАПЕІ для каналізаційних колекторів. *Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур: матеріали ІХ всеукраїнського наукового семінару, м.Харків, 20-21 жовтня 2020 р. 2020. С. 32 – 34.*

Особисто автором розроблено методуку експериментальних досліджень.

5. Молодід О., Плохута Р., Корінець А., Мусіяка І. Захист від вітрового навантаження та падіння людей і предметів із висоти захисними екранами рейкової системи підйому PERI RCS P при висотному будівництві. *V Міжнародної науково-технічної конференції «Ефективні технології в будівництві» та VII Міжнародної науково-технічної конференції «Нові технології в будівництві»*: програма та тези доповідей Міжнародного науково-технічного форуму, 2020 р. – С. 98 – 100.

Особисто автором встановлено окремі техніко-економічні показники системи.

6. Molodid O., Molodid O., Plokhuta R., Musiiaka I., Use of the main criterion method in decision-making building renovation decisions. *International scientific innovations in human life: The 12th International scientific and practical conference, Manchester, United Kingdom, June 8-10, P. 219-222.*

Особисто автором систематизовано методи відновлення будівельних конструкцій.

7. Молодід О., Плохута Р., Мусіяка І. Технологія відновлення структурної цілісності стін із ніздрюватого бетону пошкоджених внаслідок військових дій. *Build-Master-Class-2025*: тези доп. Міжнародної науково-практичної конференції для молодих вчених, м. Київ, 26-28 листопада, 2025 р., С. 609 – 610

Особисто автором розроблено технологію відновлення структурної цілісності стін.

8. Молодід О. Мусіяка І., Резніченко В., Резніченко І. Спосіб підсилення пальових фундаментів ін'єктуванням полімерних композицій. Патент на вихід № UA 126323 від 15.09.2022 р.

Особисто автором запропоновано спосіб підсилення пальових фундаментів та проведено дослідження.

9. Молодід О., Плохута Р., Мусіяка І., Богдан С., Молодід О. Спосіб підсилення розтягнутої зони залізобетонних прогінних конструкцій, за наявності опори, високоміцними композитними вуглецевими матеріалами зі сталеву обіймою. Патент на винахід № UA 128928 від 27.11.2024

Особисто автором розроблено спосіб підсилення розтягнутої зони залізобетонних конструкцій.