

МЕТОД КОМПАКТНОГО ПІДСИЛЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ВСТАНОВЛЕННЯМ ЗОВНІШНЬОГО КОМПОЗИТНОГО АРМУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У науковій роботі описано раціональний метод компактного підсилення перевантажених залізобетонних конструкцій у зігнутому напружено-деформованому стані на прикладі плоских багатопорожнистих плит встановленням зовнішнього композитного армування, виготовленого на основі карбонового волокна. Це метод дозволяє забезпечити несучу здатність та надійність конструкції з використанням мінімального вільного простору без змін внутрішнього об'єму приміщення. Описана основна суть методу, фізико-механічні характеристики композитного карбонового армування, наведені основні технологічні операції при улаштуванні підсиленні запропонованим методом, обґрунтовані переваги та недоліки запропонованої технології у порівнянні з класичними методами підсилення. Наведені приклади практичної реалізації методу в умовах реальної будівлі.

Ключові слова: напружено-деформований стан, перевантаження конструкції, багатопорожнисті залізобетонні плити, підсилення, зовнішнє армування, карбонове волокно, епоксидний клей, розвантаження.

Abstract

The scientific paper describes a rational method for the compact strengthening of overloaded reinforced concrete structures in a bending stress–strain state, using the example of hollow-core slabs, by installing external composite reinforcement made of carbon fiber. This method ensures the load-bearing capacity and reliability of the structure while using minimal free space and without altering the internal volume of the premises. The paper outlines the fundamental concept of the method, presents the physical and mechanical properties of carbon composite reinforcement, and describes the main technological operations involved in implementing the proposed strengthening technique. The advantages and disadvantages of the offered technology are substantiated in comparison with conventional strengthening methods. Have been provided examples of practical implementation of the method under real building conditions.

Keywords: stress–strain state, structural overloading, multi-hollow-core slabs, strengthening, external reinforcement, carbon fiber, epoxy adhesive, load reduction.

Вступ

На сьогодні в Україні накопичений значний фонд застарілих будівель житлового і промислового призначення, збудованих за Радянських часів. Ці будівлі не відповідають сучасним планувальним вимогам, вимогам надійності та безпечної експлуатації [1 – 3], оскільки проектувалися під потреби минулого сторіччя. Внаслідок виробничого перепрофілювання, збільшення коефіцієнтів надійності, кліматичних змін або з інших причин, навантаження на несучі конструкції будівель зросли. Тому часто причиною експлуатаційної непридатності будівель є перевантаження несучих конструкцій.

До основних несучих конструкцій будівель відносяться залізобетонні перекриття, що є одними з найбільш відповідальних конструктивних елементів. Саме перекриття безпосередньо сприймають навантаження від підлоги, меблів, технологічного устаткування та корисного навантаження. Ці конструкції знаходяться у зігнутому напружено-деформованому стані та розраховуються за нормальними та похилими перерізами.

При виявленні факту перевантаження, що часто супроводжується характерними дефектами і пошкодженнями у вигляді надмірних прогинів, тріщин, ознаками течії арматури, потрібно негайно вжити

заходів з підсилення таких конструкцій. На сьогодні відомі методи підсилення перевантажених перекриттів встановленням розвантажуючих елементів, зміною розрахункової схеми, встановленням елементів підсилення у вигляді накладних плит тощо. Часто через архітектурні та технологічні потреби таке підсилення містить бути компактним, щоб забезпечувати збереження, або незначне збільшення пірижка перекриття. Такі жорсткі вимоги може задовільнити тільки підсилення перекриттів встановленням зовнішніх армуючих елементів, які дотепер у переважній більшості виготовляють зі сталі, дивись, наприклад, рис. 1, [5, 6, 7].



Рис. 1 – Улаштування повздовжніх компактних сталевих балок підсилення (зовнішнього армування) під поперечними ребрами аварійних плит покриття [7].

Однак зовнішні сталеві армуючі елементи підсилення перекриттів володіють суттєвим недоліком через низьку вогнетривкість та не естетичність. Тому доцільним і актуальним є пошук інших конструктивних і технологічних способів улаштування, в тому числі, з урахуванням багаторічного закордонного досвіду.

Аналіз проблеми

У практиці реконструкції житлових будівель актуальною є проблема підсилення перекриттів в умовах обмеженого внутрішнього простору. На відміну від промислових споруд, у житлових будівлях неможливе розміщення масивних металевих балок, підкосів, рам або додаткових опорних елементів через архітектурно-планувальні обмеження. Встановлення таких конструкцій призводить до зменшення висоти приміщень, порушення функціональності житлового простору, ускладнення прокладання інженерних мереж та погіршення естетичних характеристик інтер'єру.

Одним із головних недоліків сталевих зовнішнього армування є значне збільшення габаритів конструкції. Для забезпечення необхідної несучої здатності під плитами встановлюють сталеві балки, швелери, двотаври або просторові металеві рами, які займають значний об'єм внутрішнього простору приміщення. Окремою проблемою є низька вогнестійкість зовнішніх сталевих армуючих елементів. При підвищенні температури сталь швидко втрачає несучу здатність, тому такі конструкції потребують додаткового вогнезахисного облицювання або спеціальних покриттів. Це ще більше збільшує товщину конструкції та об'єм підсилення.

У житлових будівлях це призводить до зменшення корисної висоти кімнат, погіршення ергономічних та архітектурних характеристик приміщень, а також створює труднощі при влаштуванні оздоблення, освітлення та інженерних мереж.

Крім того, традиційні методи підсилення із використанням сталевих елементів супроводжуються значним збільшенням власної ваги конструкції. Це може викликати додаткове навантаження на несучі стіни, колони та фундаменти, що особливо небезпечно для будівель і конструкцій. Виконання зварювальних робіт, монтаж великогабаритних елементів та необхідність застосування вантажопідійомної техніки також суттєво ускладнюють проведення ремонтно-відновлювальних робіт у вже експлуатованих житлових приміщеннях.

Конструкції підсилення, що встановлюються у порожнини плит і оббетонуються саморозширюючими бетонними сумішами володіють іншим недоліком – високою трудомісткістю виконання робіт.

Метод нарощування перерізу плит монолітним бетоном або залізобетонними накладками також має ряд суттєвих недоліків. Зокрема, він характеризується значною трудомісткістю, необхідністю влаштування опалубки, тривалими технологічними перервами для набору міцності бетону та збільшення товщини перекриття. Для житлових будівель це часто є неприйнятним через необхідність збереження існуючих відміток підлоги та стелі.

Результати дослідження

У зв'язку з цим, перспективним напрямком є використання зовнішнього композитного армування на основі карбонових матеріалів. Застосування таких систем дозволяє виконати компактне підсилення конструкції без суттєвої зміни розмірів перекриття. Система зовнішнього армування складається з карбонових тканин, які приклеюються до поверхні плити епоксидними клеями. Карбонове волокно має високу міцність на розтяг, малу вагу та не піддається корозії, що забезпечує довговічність підсилення.

Однією з головних переваг цих систем є компактність. Товщина карбонових елементів становить лише декілька міліметрів, тому підсилення практично не впливає на висоту приміщення та не потребує зміни планувальних рішень. Приклад такого підсилення в реально існуючій будівлі, перекриття якої знаходяться в аварійному стані через перевантаження, показаний на рис. 2.



Рис. 2. – Улаштування системи зовнішнього композитного армування виробництва фірми Sika на залізобетонних перекриттях з багатопорожнистих збірних плит.

На відміну від сталевих балок і рам підсилення, композитне армування не створює значного додаткового навантаження на конструкції будівлі. Додатковою перевагою композитних систем є їх висока корозійна стійкість та довговічність. На відміну від сталевих елементів, карбонове армування не потребує антикорозійного захисту та може експлуатуватися в умовах підвищеної вологості або агресивного середовища.

Технологія монтажу зовнішнього армування передбачає приклеювання композитних елементів до розтягнутої зони плити за допомогою спеціальних епоксидних клеїв, що дозволяє мінімізувати обсяг будівельно-монтажних робіт та скоротити терміни реконструкції.

Таким чином, для житлових будівель із обмеженим внутрішнім простором та неможливістю застосування об'ємних систем підсилення використання зовнішнього композитного армування є найбільш раціональним інженерним рішенням, яке забезпечує підвищення несучої здатності конструкцій при мінімальному втручанні у внутрішній простір приміщень.

До недоліків методу слід віднести високу вартість карбонового волокна та клейових сумішей; необхідність високої технологічної дисципліни будівельної бригади, яка здійснює роботи з підсилення; складність розрахункового апарату, що має враховувати історію (необночасність) включення у роботу власного сталевих армування плит перекриттів та зовнішнього армування підсилення.

При підсиленні багатопорожнистих залізобетонних плит зовнішнім композитним армуванням карбонові елементи розміщують у розтягнутій зоні конструкції, де виникають максимальні розтягувальні напруження при згині. У результаті такого підсилення частина розтягувальних зусиль перерозподіляється з внутрішньої сталевих арматури на зовнішнє композитне армування, що дозволяє знизити рівень напружень у найбільш навантажених перерізах плити. Це сприяє зменшенню прогинів, обмеженню розвитку тріщин та підвищенню загальної жорсткості перекриття.

Особливо ефективним запропонований метод є у випадках, коли перевантаження перекриттів виникає внаслідок зміни функціонального призначення будівлі або збільшення експлуатаційних навантажень на перекриття без можливості влаштування масивних систем підсилення. Завдяки незначній товщині композитних елементів підсилення практично не змінює геометричні параметри перекриття та дозволяє виконувати роботи без суттєвого втручання у внутрішній простір приміщень.

Висновки

В результаті проведення наукових досліджень за напрямком пошуку раціональних способів підсилення перевантажених конструкцій перекриттів зі збірних багатопорожнистих плит було запропоновано метод компактного підсилення встановленням зовнішнього композитного армування, виготовленого на основі карбонового волокна.

Застосування цих систем забезпечує підвищення несучої здатності та жорсткості плит, а також зменшення прогинів і розвитку тріщин. Завдяки високим фізико-механічним властивостям карбону та надійній роботі епоксидних клеїв досягається ефективна спільна робота підсилення з існуючою конструкцією. Метод є перспективним для реконструкції будівель в умовах обмеженого простору та мінімального втручання у конструктивну схему.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 9237:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання технічного стану. Механічний опір та стійкість. [Чинний від 2024-01-09]. [На заміну ДСТУ-Н Б.В.1.2-18:2016]. Вид. офіц. Київ: ДП УкрНДЦ, 2024. 74 с. (Національний стандарт України).
2. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд зі зміною 1. К.: МінРеґіонБуд України, 2022. 37 с. (Державні будівельні норми України).
3. Клименко Є. В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: Навчальний посібник. – К., 2004. – 304 с.
4. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007-01-01]. [На заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85]. К.: Мінбуд України, 2006. 10 с. (Національний стандарт України).
5. Попов В.О. Інженерний досвід інструментального обстеження аварійних залізобетонних ребристих плит покриття виробничої будівлі / В.О. Попов, І.О. Чорна, Т. С. Мицик / Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025) – Електрон. текст. дані. – 2025. С. 1891 – 1895. Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/914/1598/2915-1>
6. Попов В.О. Досвід підсилення залізобетонних плит покриття зруйнованих внаслідок дії поперечних сил / О.В. Войцехівський, В.О. Попов, Г.О. Войцехівський / Матеріали міжнародної наукової конференції Build Master Class-2025 26.11-28.11.2025 in Kyiv National University of Construction and Architecture Ukraine, Kyiv, Povitrianykh Syl ave. 31 – Електрон. текст. дані. 2025. С. 191 – 193. Режим доступу: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/37/BMC-2025.pdf>
7. Попов В.О. Моделювання напружено-деформованого стану компактних сталевих балочних конструкцій для раціонального підсилення аварійних залізобетонних ребристих плит покриття / В.О. Попов, Д.М. Байда, А.В. Попова // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2024-2. С. 17 - 25. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-17-25>

Попов Володимир Олексійович — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, email: v.a.popov.vntu@gmail.com. ORCID 0000-0003-2379-7764

Повзун Анастасія Євгенівна — студентка кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, email: povzunnanya@gmail.com.

Popov Vladimir O. — Ph.D. Assistant Professor of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, email: v.a.popov.vntu@gmail.com. ORCID 0000-0003-2379-7764

Povzun Anastasiya Y. — student of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, email: povzunnanya@gmail.com.