

Колесник А. В., Заєць О. С.

ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У ЗМІЦНЕННІ ФУНДАМЕНТІВ І БЕТОННИХ СТІН ЗАХИСНИХ СПОРУД

Анотація. Досліджено застосування сучасних композитних матеріалів для підвищення міцності фундаментів та стін укриттів. Розглядаються варіанти армування та зміцнення конструкцій..

Ключові слова: композити, армування, бетонні стіни, фундаменти, захисні споруди.

Abstracts. The use of modern composite materials to increase the strength of foundations and shelter walls is investigated. Options for reinforcing and strengthening structures are considered.

Keywords: composites, reinforcement, concrete walls, foundations, protective structures.

Вступ

Сучасні цивільні та фортифікаційні споруди часто потребують укріплення — через будівельний знос, зміну навантажень або необхідність підвищити стійкість до вибухових/ударних впливів. Композитні матеріали на основі полімерних волокон (FRP — fiber-reinforced polymers), базальтових волокон (BFRP) та текстиль-мінеральних систем (FRCM/CRM) стали однією з провідних технологій ремонту та посилення бетонних елементів завдяки високому відношенню міцність/маса, корозійній стійкості та відносній простоті монтажу. Різні міжнародні керівництва та численні дослідження підтверджують ефективність FRP-систем для зміцнення колон, балок, стін та оболонок укриттів.

Основна частина

Композитні матеріали поєднують у собі високу міцність волокон (вуглецевих, скляних, базальтових) із пластичністю полімерних матриць. Це дозволяє створювати тонкі армувальні шари, здатні ефективно передавати зусилля та протидіяти деформаціям. Основні переваги композитних матеріалів у зміцненні конструкцій: висока питома міцність (у 3–5 разів більша за сталь при меншій вазі), стійкість до корозії та хімічних впливів, простота монтажу та можливість нанесення без демонтажу конструкції, збільшення довговічності бетонних споруд до 50–70 років [1].

Принципи композитних систем і їхні властивості:

- епоксидні FRP (CFRP, GFRP, AFRP) — ткани або наповнені волокна, змонтовані як зовнішня оболонка або в якості смуг; висока міцність на розтяг і корозійна стійкість. BFRP (базальтові волокна) — екологічніша і дешевша альтернатива CFRP, з хорошими механічними властивостями в деяких застосуваннях.

- FRCM/CRM (textile-inorganic — сітка у мінеральному матриці) — дозволяє кращу паропроникність та термостійкість в порівнянні з органічними епоксидними системами; застосовується для шорстких або вологих поверхонь.

- префабриковані композитні «жакети» — заводські оболонки або панелі, що монтуються навколо колони/стіни для швидкого ремонту/зміцнення. Ключові технічні характеристики: модуль пружності, межа міцності на розтяг, адгезія до бетону, вогнестійкість і поведінка при динамічних впливах.

Методики зміцнення фундаментів і стін [2]:

- зовнішнє обшивання (EBR — externally bonded reinforcement);

- найпоширеніший підхід — обклеювання елементів FRP-лентами/стрічками з епоксидною смолою. Забезпечує покращення несучої здатності на розтяг і підвищення обмеження розтріскування; широко описаний у міжнародних керівництвах (ACI 440.x).

Застосування: посилення стін проти вигину/зсуву, обшивка колон на фундаментних стінках — додаткове армування ділянок, схильних до зсуву/осадження, NSM (near-surface mounted) — вкладання композиту в пази. Шліфуються пази в бетоні, в них встановлюються

композитні стержні або стрічки, що вводяться й ін'єктуються адгезивом. До переваг можна віднести краща механічна взаємодія і менша уразливість до пошкоджень поверхні. Рекомендовано для елементів з обмеженим доступом або коли необхідно зберегти профіль поверхні.

Повна або часткова оболонка колон/стін композитними матеріалами для забезпечення поперечного обтиску (confinement) — підвищує міцність на стиск, енергоємність при динамічних навантаженнях і стійкість до локальних руйнувань. Префабриковані ж-етки прискорюють монтаж у кризових умовах.

Комбінують композитні матеріали з традиційними заходами: бетони/розширювальні розчини для підсилення підшви фундаменту, сталеве обрамлення у поєднанні з FRP для кращого анкерування. Для фундаментів можливі методи підшового підсилення (underpinning) у поєднанні з композитною обшивкою стін для забезпечення цілісності системи.

До особливостей застосування до захисних споруд можна віднести [3,4]:

- вибухостійкість і ударні впливи. FRP-системи можуть підвищувати енергоємність стін і їх стійкість до фрагментації, але проектування під вибух потребує спеціального аналізу динамічної взаємодії матеріалів (поведінка при високих швидкостях деформації) — стандартні статичні розрахунки недостатні;

- вологість і агресивне середовище. У підземних укриттях можливі підвищені рівні вологості або контакт із ґрунтовими розчинами; в таких умовах FRCM/мінеральні матриці часто переважають епоксидні через більшу паропроникність і термостійкість;

- анкерування і надійність зчеплення. Для забезпечення довговічної роботи необхідне коректне підготування поверхні, використання якісних праймерів/адгезивів і, у деяких випадках, механічне анкерування смуг. Керівництва ACI дають детальні процедури підготовки та контролю якості.

До проектних вимог та контролю якості можна віднести [5,6]:

- дослідження стану базового бетону: склад, тріщини, корозія арматури, вологоізоляція. Перед застосуванням композиту необхідне відновлення ушкоджених ділянок;

- вибір матеріалу: врахувати механічні параметри, сумісність із середовищем і температурний режим експлуатації;

- розрахунок: слід використовувати методики, закладені в ACI 440.x та інших довідниках для визначення необхідної площі армування та контролю деформацій;

- контроль виконання: вимір адгезії (pull-off tests), неруйнівний контроль укладених смуг, візуальний огляд, перевірка геометрії;

- моніторинг у експлуатації: встановлення датчиків деформації/стіни, періодичні інспекції, контроль проникнення вологи та стану адгезиву.

Висновки

Композитні матеріали відкривають нові можливості для підвищення надійності бетонних захисних споруд. Вони забезпечують не лише зміцнення несучих елементів, а й захист від корозії та старіння матеріалу. Їх використання особливо доцільне для модернізації існуючих укриттів, коли потрібно досягти високої ефективності без значних конструктивних змін. Композити стають ключовим елементом нової концепції інженерного захисту, поєднуючи міцність, легкість і довговічність.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.6-160:2020. Конструкції будинків і споруд. Залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіон України, 2020.

2. ACI Committee 440. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-17). American Concrete Institute. PDF-огляд: https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/440.2R-17_preview.pdf

3. ACI Committee 440. Design and Construction of Externally Bonded and Near-Surface-Mounted FRP Systems (440.2-23 preview). PDF-огляд: https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/440.2-23_preview.pdf

4. “Strengthening of reinforced concrete hydraulic structures with external reinforcement system made of carbon fiber-based composite materials with development of calculation recommendations.” Buildings, 2024, 14(12):3739. DOI:10.3390/buildings14123739. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/12/3739>

5. Shang Xing-yan; Yu Jiang-tao; Li Ling-zhi; Lu Zhou-dao. Strengthening of RC structures by using engineered cementitious composites: a review. Sustainability, 2019, 11(12):3384. DOI:10.3390/su11123384. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/12/3384>

6. “Reinforcement of Structures with Composite Materials.” Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Osadchiy A.S., Sazonova A. Materials Science Forum, Vol. 974, 2020, pp. 535-541. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.974.535.

URL: <https://www.scientific.net/MSF.974.535>

Колесник Андрій Вікторович – асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Заєць Олександр Сергійович – студент групи 3Б-25б Вінницького національного технічного університету e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. – assistant Professor, Department of Construction, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Zayets Oleksandr S. – student of group 3B-25b at Vinnytsia National Technical University e-mail: andrey.engineer@gmail.com.