

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Тези

**77-ї наукової конференції професорів,
викладачів, наукових працівників,
аспірантів та студентів університету**

ТОМ 2

16 травня – 22 травня 2025 р.

швів здатні зменшити інтенсивність накопичення дислокацій. У реставраційних роботах це може бути вирішальним чинником збереження історичних об'єктів у сейсмонебезпечних регіонах.

Висновок: Вивчення фізичних моделей поширення дислокацій у природному камені має не лише теоретичне, але й велике прикладне значення. На основі цих моделей можна ефективно прогнозувати процеси тріщиноутворення у кам'яній кладці та впроваджувати попередні заходи на етапі проектування, будівництва та обстеження споруд. Надалі розвиток цієї тематики передбачає глибшу інтеграцію чисельного моделювання з експериментальною верифікацією та практичними рекомендаціями для інженерів-проектувальників, що відкриває нові можливості для створення стійкіших і довговічніших конструкцій.

Література:

1. Tulin, T., & Heistermann, M. (2013). Dislocation mechanics in the hierarchical nanostructure of bone tissue. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 17, 229-240. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2012.10.009
2. *Experimental Investigation of Crack Initiation and Propagation in the Masonry Structure*. (2021). Hindawi. DOI: 10.1155/2021/6672037 arxiv.org
3. *Crack patterns in masonry structures using phase field method*. (2023). ResearchGate. DOI: 10.1016/j.engstruct.2023.115489
4. *Assessment of Cracking in Masonry Structures Based on the Breakage of Optical Fibers*. (2022). MDPI. DOI: 10.3390/app12146885

УДК 624.012.45:691.32:620.172.251

*Усенко Д.В., PhD, MPhys, доц.,
Усенко І.С., к.т.н., доц.,
Климович М.Ю., студентка групи 103Б
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

МЕХАНІЗМИ ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ КАМ'ЯНОЇ КЛАДКИ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ВУГЛЕЦЕВИХ ВОЛОКОН У ЗОНУ НАПРУЖЕННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ БУДІВЕЛЬ

Кам'яна кладка, яка широко використовується в історичних та сучасних будівлях, характеризується високою міцністю на стиск, але обмеженою здатністю протистояти розтягувальним та згинальним навантаженням. Це обмеження знижує її ефективність у сейсмічно активних регіонах та при динамічних навантаженнях. Інтеграція

вуглецевих волокон у зони напруження кам'яної кладки є перспективним методом підвищення її несучої здатності та довговічності.

Вуглецеві волокна мають високу міцність на розтяг, низьку вагу та стійкість до корозії, що робить їх ідеальними для армування кам'яної кладки. Дослідження показали, що використання вуглецевих волокон може значно підвищити міцність на згин та зсув кам'яних конструкцій. Наприклад, застосування вуглецевих волокон у вигляді стрічок або сіток на поверхні кладки дозволяє ефективно розподіляти напруження та зменшувати концентрацію напружень у критичних зонах.

Існують різні методи інтеграції вуглецевих волокон у кам'яну кладку. Один з них – зовнішнє склеювання (EB), при якому вуглецеві волокна приклеюються до поверхні кладки за допомогою спеціальних епоксидних смол. Цей метод є відносно простим у реалізації та не вимагає значних змін у конструкції. Інший метод – приповерхнєве кріплення (NSM), що передбачає встановлення вуглецевих волокон у попередньо вирізані канавки в кладці. NSM забезпечує кращу адгезію та захист армувального матеріалу від зовнішніх впливів.

Дослідження показали, що армування кам'яної кладки вуглецевими волокнами значно підвищує її несучу здатність. Зокрема, експерименти продемонстрували збільшення міцності на згин до 115% порівняно з неармованими зразками. Крім того, армування вуглецевими волокнами покращує енергопоглинаючу здатність кладки, що є важливим фактором при сейсмічних навантаженнях.

Важливим аспектом є також довговічність армованих конструкцій. Вуглецеві волокна мають високу стійкість до агресивних середовищ, що забезпечує тривалий термін служби армованих елементів. Однак необхідно враховувати можливість відшарування армувального матеріалу від основи, що може знижувати ефективність армування. Для запобігання цьому рекомендується використовувати додаткові механічні кріплення або анкерні системи.

Одним із ключових напрямів підвищення несучої здатності кам'яної кладки є оптимізація конфігурації армування з урахуванням напрямку основних зусиль. У цьому контексті ефективним підходом є інтеграція сітчастої схеми вуглецевих волокон у зони максимального напруження, що дозволяє забезпечити розподіл сил по площині конструкції та підвищити її загальну стійкість. На рис. 1 представлена типова схема армування кам'яної кладки вуглецевими волокнами, орієнтованими у вертикальному та горизонтальному напрямках. Вертикальні волокна забезпечують опір зовнішнім навантаженням на стиск P_u , тоді як горизонтальні елементи протидіють зсуву Q_u та сприяють рівномірному розподілу напружень між рядами кладки. Таке комбіноване армування дозволяє створити внутрішню сітку, здатну ефективно сприймати згинальні моменти й запобігати розвитку локалізованих тріщин. Розміри l_d , S_f тощо враховуються при

розрахунку армувальної здатності за аналітичними формулами, наведені в моделі Gonshakov et al. (2020).

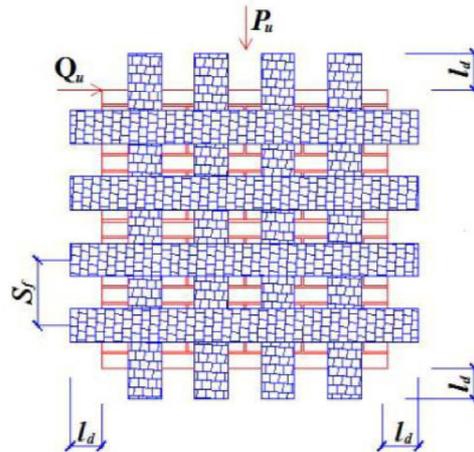


Рисунок 1- Схема сітчастого армування кам'яної кладки вуглецевими волокнами у вертикальному та горизонтальному напрямках для протидії стиску P_u та зсуву Q_u у зоні максимального напруження.

У контексті збереження історичних будівель використання вуглецевих волокон є особливо актуальним, оскільки дозволяє підсилити конструкції без значного втручання в їхній зовнішній вигляд. Це забезпечує збереження архітектурної спадщини при одночасному підвищенні її стійкості до навантажень.

Висновок. Інтеграція вуглецевих волокон у зони напруження кам'яної кладки є ефективним методом підвищення її несучої здатності та довговічності. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію методів армування, вивчення довгострокової поведінки армованих конструкцій та розробку стандартів для практичного застосування цих технологій у будівництві та реставрації.

Література:

1. Bakis, C. E., Bank, L. C., Brown, V. L., Cosenza, E., Davalos, J. F., Lesko, J. J., Machida, A., Rizkalla, S. H., & Triantafillou, T. C. (2002). Fiber-reinforced polymer composites for construction – State-of-the-art review. *Journal of Composites for Construction*, 6(2), 73–87. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2002\)6:2\(73\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2002)6:2(73))
2. Kreaikas, T. D., & Triantafillou, T. C. (2005). Computer-aided strengthening of masonry walls using fibre-reinforced polymer strips. *Materials and Structures*, 38, 93–99. <https://doi.org/10.1007/BF02481624>
3. Vega, C., & Torres, N. (2018). External strengthening of unreinforced masonry walls with polymers reinforced with carbon fiber. *Ingeniería e Investigación*, 38(3), 73–80. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v38n3.73006>
4. Goh, G. D., Dikshit, V., Nagalingam, A. P., Goh, G. L., Agarwala, S., Sing, S. L., Wei, J., & Yeong, W. Y. (2018). Characterization of mechanical properties and fracture mode of additively manufactured carbon fiber and glass fiber reinforced thermoplastics. *Materials & Design*, 137, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.10.006>