

Список використаних джерел

1. Хоружий П. Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П. Д. Хоружий, Т. П. Хомутецька, В. П. Хоружий. К. : Аграрна наука, 2008. 534 с.
2. Новохатній В.Г. Показники надійності водопровідних металевих труб за даними експлуатації / В.Г. Новохатній, О.В. Матяш, І.С. Усенко // Науковий вісник будівництва: Зб. наук.пр. Вип.№2 (80). Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. С. 254 – 257.
3. Hotłoś H. Analisa strat wody w systemach wodociagowych // Ochrona Srodowiska. 2003. №1. S. 17 – 24
4. Piechurski F. Straty wody i sposoby ich obnizania // Ochrona Srodowiska. 2006: №2. S. 20–23.
5. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5–74:2013 [Чинний від 2014–01–01]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово–комунального господарства України, 2013. 281 с. (Національні стандарти України).

УДК 624.012.45:691.32:620.172.251

Усенко Дмитро Валерійович

PhD, MPhys, доцент,

доцент кафедри хімії та фізики

Ярошенко Аліна Володимирівна

студентка групи 102Б

Національний університет

«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

**СІТЧАСТІ СХЕМИ АРМУВАННЯ КАМ'ЯНОЇ КЛАДКИ
ВУГЛЕЦЕВИМИ МАТЕРІАЛАМИ, ПОШКОДЖЕНОЮ ВНАСЛІДОК
БОЙОВИХ ДІЙ**

Кам'яна кладка залишається однією з найпоширеніших конструктивних систем як у сучасному, так і в історичному будівництві, проте її механічні характеристики мають виражену анізотропію: високу міцність на стиск і відносно низьку опірність розтягувальним і згинальним напруженням. Ця особливість істотно обмежує її ефективність у зонах підвищеної сейсмічності та за умов динамічного впливу. Розвиток технологій композитного підсилення дав змогу запропонувати нові методи підвищення несучої здатності кам'яних елементів без істотного збільшення їхньої маси або порушення архітектурного вигляду. Одним з найрезультативніших підходів визнано інтеграцію вуглецевих волокон у зони концентрації напружень.

Вуглецеві волокна належать до класу високоміцних композитів, що поєднують малу густина, значну міцність на розтяг і високу стійкість до

корозійного впливу. Їхнє використання для підсилення кам'яних структур дозволяє суттєво покращити механічні властивості системи без збільшення габаритів або втрати дифузійної здатності матеріалу. На відміну від традиційних сталевих елементів, вуглецеві волокна не схильні до окислення та не створюють додаткових напружень у швах через різницю коефіцієнтів теплового розширення. Такі переваги забезпечують довготривалу стабільність армувального ефекту навіть за дії агресивних середовищ.

Найбільш уживаними технологіями інтеграції вуглецевого армування у кладку є методи зовнішнього склеювання (EB – externally bonded) та приповерхневого закріплення (NSM – near-surface mounted). У першому випадку волокна у формі стрічок або сіток приклеюють до поверхні кладки за допомогою епоксидних смол, що створює зовнішній армувальний шар, здатний розподіляти розтягувальні зусилля по площині конструкції. Метод NSM передбачає влаштування вузьких канавок у розчинових швах або в тілі каменю, у які закладають смуги вуглецевого матеріалу з подальшою заливкою полімерного клею. Такий спосіб забезпечує кращу адгезію, захищає волокна від ультрафіолетового випромінювання та механічних пошкоджень і водночас підвищує естетичну цілісність фасадів.

Експериментальні результати численних досліджень підтверджують ефективність обох підходів. Армовані зразки демонструють зростання граничної міцності на згин у середньому на 80–115 % порівняно з неармованими аналогами. Одночасно підвищується енергопоглинаюча здатність і деформаційна стійкість, що є визначальними параметрами при сейсмічних впливах. Додатковий ефект полягає у збільшенні в'язкості руйнування, завдяки чому процес тріщиноутворення відбувається поступово, без раптової втрати несучої здатності.

Разом з тим ефективність композитного підсилення значною мірою залежить від якості зчеплення між волокном і мінеральною основою. Механізм відшарування шару армування залишається одним з ключових факторів, що лімітують довговічність системи. Для зменшення цього ризику доцільно застосовувати механічні анкери або комбіновані епоксидно-цементні клеї, здатні краще узгоджувати деформаційні властивості обох матеріалів. Довготривалі випробування показали, що правильно підібрана адгезійна система гарантує стабільність зчеплення протягом десятиліть навіть за циклічного зволоження та висихання.

Оптимізація конфігурації армування є ще одним напрямом підвищення ефективності методу. Зокрема, впровадження сітчастих схем із взаємно перпендикулярним розташуванням волокон у вертикальному та горизонтальному напрямках дозволяє рівномірно перерозподіляти стискальні та зсувні сили. Вертикальні елементи протидіють діям осьового стиску (P_u), тоді як горизонтальні забезпечують опір зсуву (Q_u) та зменшують різницю напружень між суміжними рядами кладки. У сукупності вони формують внутрішній просторовий каркас, який підвищує

жорсткість і знижує ризик локалізованого руйнування. За аналітичними моделями Gonshakov et al. (2020), параметри довжини закладення l_d та кроку сітки S_f істотно впливають на ефективність сприйняття згинальних моментів, що має бути враховано при проектуванні.

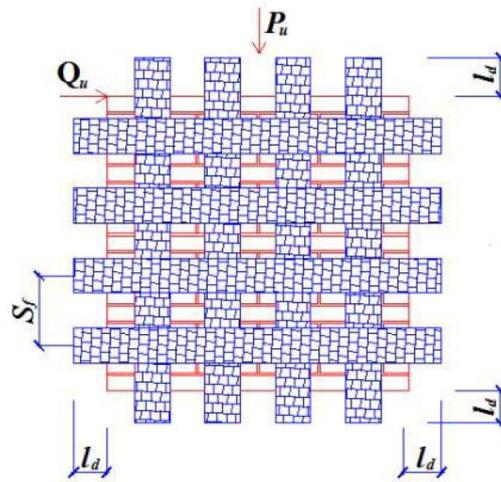


Рис. 1. Схема сітчастого армування кам'яної кладки вуглецевими волокнами у вертикальному та горизонтальному напрямках для протидії стиску P_u та зсуву Q_u у зоні максимального напруження.

Не менш важливою є довговічність таких рішень. Вуглецеві волокна відзначаються стійкістю до дії кислот, солей і ультрафіолету, однак самі композитні з'єднання потребують контролю за старінням смол та стабільністю адгезійного шару. Регламентоване технічне обслуговування, періодичні візуальні огляди й тестування зчеплення дають змогу запобігти деградації структури. Використання сенсорних систем моніторингу напружень на основі оптоволоконних елементів відкриває нові можливості для діагностики стану армованих елементів у реальному часі.

Особливої уваги технологія заслуговує в реставраційній практиці. Підсилення кам'яних склепінь, арок і стін пам'яток архітектури вуглецевими волокнами дає змогу підвищити сейсмостійкість без втручання у зовнішню морфологію та без збільшення навантаження на фундамент. Це відповідає принципам мінімального втручання, прийнятим у міжнародній реставраційній практиці, і створює умови для суміщення збереження автентичності та забезпечення безпеки експлуатації.

Висновок. Таким чином, інтеграція вуглецевих волокон у зони напруження кам'яної кладки є технологічно ефективним і перспективним напрямом розвитку сучасного будівництва та реставрації. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення геометрії армувальних схем, підвищення адгезійної сумісності матеріалів і стандартизацію методів розрахунку для практичного впровадження. Комплексне поєднання експериментальних, аналітичних і чисельних

підходів забезпечить наукову основу для створення довговічних, легких і сейсмостійких конструкцій нового покоління.

Список використаних джерел

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. Krevaikas, 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>

УДК 622.248.33

Дригола Максим Андрійович

аспірант кафедри нафтогазової інженерії та буріння

Судаков Андрій Костянтинович

доктор техн. наук, професор кафедри нафтогазової інженерії та буріння

НТУ "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна

ІЗОЛЯЦІЯ СТОВБУРА СВЕРДЛОВИН ЛЕГКОПЛАВКИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Процес буріння свердловин пов'язаний з геологічними ускладненнями. Найбільш поширеним ускладненням є поглинання промивальної рідини. На ліквідацію поглинань витрачається значна частка часу і коштів від загальних витрат на буріння свердловин. Поглинання призводить до порушення технологічного режиму буріння, цілісності стінок свердловини, провокує аварії.

Для ліквідації поглинання промивальної рідини застосовують тампонажні суміші на водній основі з використанням різних мінералов'язучих і синтетичних речовин, які досягли межі своєї модернізації. В останні десятиліття роботи з поліпшення властивостей тампонажних матеріалів зводяться до вирішення місцевих завдань, а не головного їх недоліку – усунення чутливості до розведення водою. У зв'язку