

С. С. Була, П. Ф. Холод, С. М. Богдан*, М. І. Садловська
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів,
* ТОВ “МАПЕІ Україна”

ПІДСИЛЕННЯ GFRP-СІТКАМИ (ТМ “МАПЕІ”) ЦЕГЛЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ЗАЗНАЛИ ВОГНЕВОГО ВПЛИВУ

© Була С. С., Холод П. Ф., Богдан С. М., Садловська М. І., 2018

Впродовж 2017 року в Україні сталося понад вісімдесят тисяч пожеж. З огляду на це, важливим завданням є підсилення будівельних конструкцій, що зазнали вогневого впливу. Останніми роками у світі поширений новітній метод підсилення конструкцій композитними матеріалами. Зважаючи на швидкість і простоту монтажу та розвиток технологій, що призводять до здешевлення такого способу підсилення, цей напрямок є перспективним та потребує значної кількості досліджень для формування нормативних документів у цій сфері. Досліджено центрально-стиснуті цегляні конструкції, що зазнали вогневого впливу та після цього були підсилені композитними сітками із скловолокна ТМ “МАПЕІ”. Метою дослідження є верифікація методики розрахунку підсилених конструкцій, що рекомендується виробником, на дослідних зразках після нагрівання. В результаті досліджень отримано інформацію про зміну міцності та деформативності елементів, схеми їх руйнування та ефект підсилення. У майбутньому планується проведення нових експериментів з метою розвитку цього дослідження.

Ключові слова: цегляні конструкції, вогневий вплив, FRP-армування, ефект підсилення, підсилення сітками із скловолокна.

S. Bula, P. Kholod, S. Bogdan*, M. I. Sadlovska
Lviv Polytechnic National University,
Department of building constructions and bridges,
*MAPEI-Ukraine

STRENGTHENING OF SUBJECTED TO FIRE MASONRY STRUCTURES WITH GFRP MASHES (TM “MAPEI”)

© Bula S., Kholod P., Bogdan S., Sadlovska M. I., 2018

About eighty thousand fires occurred in Ukraine in 2017. Therefore, a strengthening of building structures which were subjected to the fire is an important issue. The modern retrofitting method based on Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) materials is widely spread over the world. Taking into consideration the speed and simplicity of installing, which lead to price decreasing, this long-term direction needs a significant amount of research for improving standards. This paper is dedicated to research connected to compressed masonry structures strengthened with GFRP meshes (TM “MAPEI”) after the fire influence. The aim of the investigation was to verify the common calculation method suggested by guidance on experimental samples after heating. The experimental studies were conducted on clay masonry brick columns that were supposed to 60 min. fire action and strengthened. The special furnace was used for samples heating and heat transfer was analyzed as well. After that axial compressive tests were performed. As the result, new information about deformations diagrams, failure models and strengthening effect was obtained. Presented results are discussed in terms of ultimate strength of masonry samples before and after strengthening. The analysis shows the adequacy of calculation method respectively to fire damaged masonry structures. But some aspects of this design technique are still open. Obviously, additional

attention should be paid to deformation of such kind masonry structures as far the modulus of elasticity changes rapidly after the fire. The stress-strain curves and crack patterns were obtained and will be discussed in future articles.

Key words: masonry structures, fire influence, FRP reinforcing, strengthening effect, strengthening with glass fiber polymer meshes.

Вступ. За даними масивів карток обліку пожеж, що надійшли з територіальних органів управління ДСНС України, протягом 2017 року в Україні зареєстровано 83116 пожеж. Матеріальні втрати від пожеж 7 млрд. 860 млн. 225 тис. грн (з них прямі матеріальні збитки становлять 2 млрд. 38 млн. 653 тис. грн., а побічні – 5 млрд. 821 млн. 572 тис. грн.) [1]. Відновлення та посилення конструкцій після пожеж є відповідальним завданням, що потребує оптимального застосування матеріалів та розрахункових методів. В останні роки зростають обсяги використання для реконструкції новітніх систем з підсилення та ремонту будівельних конструкцій (зокрема, цегляних) за допомогою вуглецевого (CFRP), базальтового (BFRP) та скловолокна (GFRP). Оскільки у цій статті йтиметься про зовнішнє застосування підсилення, то такі системи можна вважати композитними, оскільки ефект отримуються завдяки роботі двох компонентів (волокно та склеювальна суміш). Безперечними перевагами таких композитних матеріалів є висока міцність, мала вага, простота використання та монтажу. Сучасний розвиток технологій з виробництва композитних матеріалів сприяє їх здешевленню, і, як наслідок, усуває їх основний недолік та суттєву перешкоду щодо їх широкого використання. Порівняно із традиційними матеріалами та методами підсилення, з композитними матеріалами проведено небагато експериментальних досліджень та відповідно, немає усталених універсальних розрахункових підходів до розрахунку. Отже, питання, що розглядаються у статті, є важливими та актуальними.

Огляд наукових джерел і публікацій. З моменту поширення композитних матеріалів з військово-космічної у будівельну галузь (1980-ті роки) було проведено дослідження, що дали можливість сформулювати основні розрахункові положення та підходи до проектування конструкцій із застосуванням композитних матеріалів. Проте сьогодні в Європі немає єдиного нормативного документа (типу Eurocode), який би регламентував використання FRP (*fiber reinforced polymers*)-систем. Основні рекомендації щодо застосування FRP-армування у залізобетонних конструкціях наведено у національних нормах Японії [2] (JMC, 1995; JSCE, 1997), Канади [3] (CAN/CSA, 1996; CSA-S806, 2002), Італії [4] (CNR-DT 200, 2004; CNR-DT 206, 2006), США [5] (ACI 440.1R, 2006; ACI 440.2R, 2002). Основні положення цих рекомендацій наведено у звітах Міжнародної федерації із залізобетону (FIB) щодо використання FRP-армування (2001, 2007). Зазначені нормативні документи доповнюються та отримують продовження у подальших виданнях. Від 2012 р. провадять роботу із впровадження нової версії єврокоду, що містила б розділ із вказівками щодо FRP-армування. У нормативних документах країн ЄврАзЕС відповідних норм під час аналізу виявлено не було (окрім СП 164.1325800.2014 [6], РФ). В Україні ж наразі немає єдиних правил з проектування, натомість розроблено декілька рекомендацій ДП “НДІБК” [7,8], що стосуються композитних матеріалів певних виробників.

Під час проектування підсилення цегляних конструкцій використовують ті самі підходи та філософію розрахунку, що і під час проектування підсиленя залізобетонних конструкцій (враховуючи характеристики та особливості цегляної кладки). Проте окремих норм, що регламентують застосування такого виду армування з цегляними конструкціями, немає. Натомість за необхідності використовують рекомендації з проектування, які надають виробники FRP-матеріалів у співпраці з науковими установами, що займаються цією проблематикою (наприклад [9]).

Підсилення цегляних конструкцій за допомогою FRP-матеріалів описано у працях іноземних та вітчизняних науковців: A. Borri, G. Castori, M. Corradi, A. Giannantony, S. Umair, M. Numada, O. Cevallos, R. Olivito, R. Codispoti, J. Tumialan, F. Micelli, A. Nanni, A. E. Копейко, Ю. В. Бондаренко, Е. Н. Сушко, В. А. Кучеренко, А. Н. Костенко, С. А. Старцев, А. А. Сундукова та ін. [10–13]. Більшість досліджень стосувалася механічних впливів на досліджувані конструкції

(зокрема з площини конструкції). Також різні науковці досліджували цегляні конструкції на температурний вплив: Н. Malhotra, S. Lawrence, N. Gnanakrishnan, S. Lawther, R. Meyer, Al. Nahhas, S. Russo., Th. D. Nguyen, A. Nadjai та інші [14-20]. Деякі дослідження стосувалися відновлення FRP-матеріалами залізобетонних конструкцій після вогневого впливу: M. Yaqub, C. Bailey, P. Nedwell, R. Serafini, R. Casadei, M. Liu, Y.-Z. Zuo, X.-H. Fan, G.-F. Song, C. N. Thi, W. Pansuk, L. Torres та інші [21–24]. Проте в процесі аналізу існуючих наукових праць, досліджень з підсилення FRP-матеріалами цегляних конструкцій, що попередньо піддавалися дії вогню, виявити не вдалося. Враховуючи це, було поставлено за мету дослідити це питання експериментально з подальшим аналізом його результатів.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є верифікація загальної методики розрахунку [9], що рекомендована виробником [25], на дослідних зразках, що попередньо піддавалися температурному впливу. Завданням дослідження є визначення несучої здатності, деформативності та ефекту підсилення GFRP-матеріалами зразків після вогневого впливу. Об'єктом дослідження є центрово-стиснені зразки цегляної кладки, що були підсилені сітками із скловолкна (GFRP) виробництва ТМ “MAPEI” [25] (Італія).

Експериментальні дослідження. Програму експериментальних випробувань розроблено відповідно до поставлених мети та завдань дослідження (табл. 1.)

Таблиця 1

Програма та обсяг експериментальних досліджень

Серія	Кількість, шт.	Марка	Спосіб випробування	Мета дослідження	Примітки	
1	2	3	4	6	7	
Стовпчики цегляні 800*250*250мм (бшт)	1н	2	Ст.1/н	центровий стиск	визначення несучої здатності та деформацій зразка	Схема випробування зображена на рис. 3,4
		Ст.2/н	центровий стиск			
	2п	2	Ст.1/п	вогневий вплив +центровий стиск	визначення несучої здатності та деформацій зразка після вогневого впливу	
			Ст.2/п	вогневий вплив +центровий стиск		
	3пп	2	Ст.1/пп	вогневий вплив + GFRP підсилення+ центровий стиск	визначення несучої здатності та деформацій зразка після вогневого впливу та підсилення його GFRP-сіткою	
			Ст.2/пп	вогневий вплив + GFRP підсилення+ центровий стиск		

Відповідно до програми досліджень виготовлено (рис. 1, а) одну партію (шість зразків) з одного замісу цементно-піщаного розчину та однієї поставки цегли. Надалі цю партію поділено на 3 серії (1-“н”, 2-“п”, 3-“пп”). У кожній серії було по 2 зразки-“близнюки”. У маркуванні зразка вказано порядковий номер в серії та безпосередньо марку серії. Розміри зразків наведено на рис. 1, б. Цементно-піщаний розчин виготовляли в бетонозмішувачі примусової дії (об’єм 0,165 м³) із дозуванням компонентів за масою. Дослідні зразки мурували із перев’язкою швів завтовшки 8–10 мм та через кожні два або три ряди цегли перевіряли рівнем на правильність кладки. Отримані зразки витримували 28 діб за температури +16–+18⁰С та вологості 60–80 %. Для визначення міцнісних властивостей цементно-піщаного розчину одночасно із дослідними зразками виготовили кубики 70,7×70,7 мм і 10 зразків цегли (рис. 2). Міцнісні характеристики цементно-піщаного розчину і зразків цегли визначали випробуванням зразків згідно з чинними нормами [26, 27]. У табл. 2 подано

усереднені результати, отримані після статистичної обробки результатів випробувань стандартних зразків цементно-піщаного розчину і цегли. Слід зазначити, що фактична міцність цегли була менша, ніж заявив виробник.

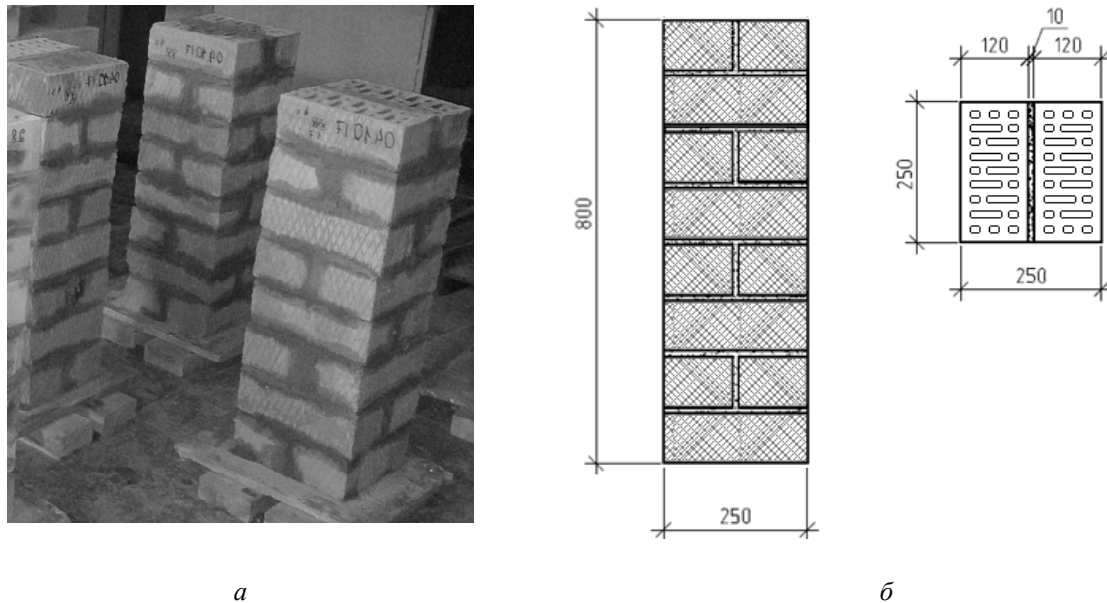


Рис. 1. Загальний вигляд зразків: а – зовнішній вигляд зразків; б – геометричні розміри зразків



Рис. 2. Зразки для визначення міцнісних характеристик ц/п розчину та цегли

Таблиця 2

Міцнісні характеристики матеріалів (за результатами випробувань)

Найменування параметра, одиниці виміру	Значення параметра
Кубикова міцність цементно-піщаного розчину на стиск f_m , МПа портландцемент М400, (м. Миколаїв) пісок овражний	7,0
Міцність цегли на стиск f_b , МПа габарити цегли 250x120x88, (ТОВ “Граніт”, м. Чернівці) пустотність 32 %	5,82

Випробовували зразки першої серії на стиск на гідравлічному пресі П-125. Контроль за навантаженням здійснювали за допомогою шкали. Навантаження прикладали ступенями по 25 кН, на кожному ступені визначали повздовжні та поперечні деформації за допомогою індикаторів годинникового типу (ИЧ-10 та ИЧ-01-0,001), що були розташовані на всіх гранях зразка. Схему випробування зразків першої серії наведено на рис. 3. На кожному етапі фіксували картину розвитку тріщин за допомогою мікроскопа МПБ-2. В кінці досліду фіксували руйнівне навантаження за шкалою пресу. Критерієм руйнування приймали перехід у горизонтальну площину залежності “напруження–деформації” на гранях зразка (супроводжувався утворенням магістральної тріщини).

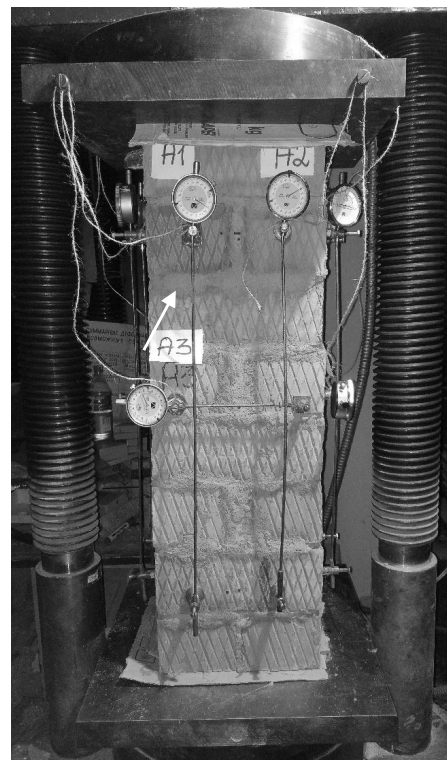
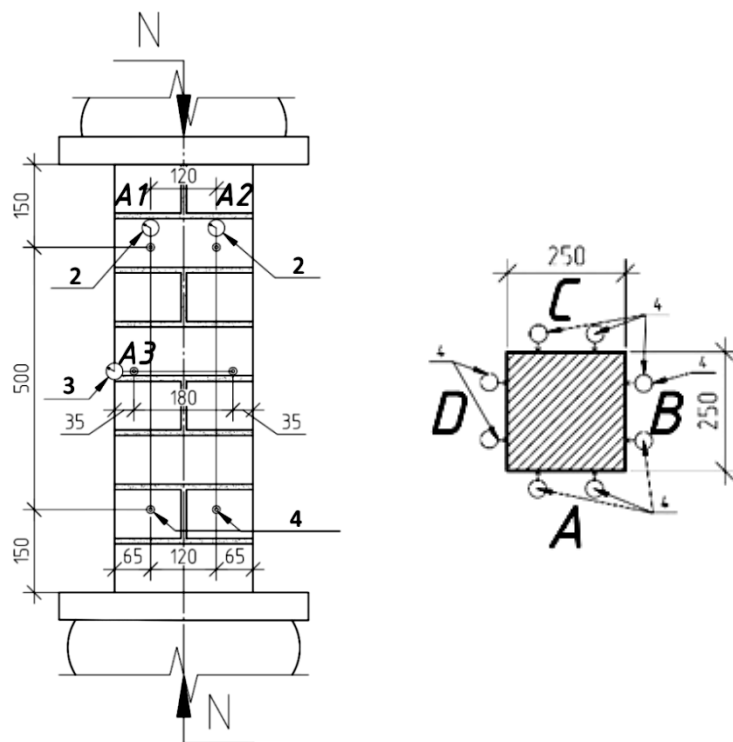


Рис. 3. Схема проведення досліджень зразків серії Іп: 1 – зразок; 2 – індикатори деформації (точність 0,01 мм); 3 – те саме (точність 0,001 мм); 4 – тримачі

Випробовували зразки другої та третьої серій на вогневий вплив у навчально-науковій лабораторії пожежної безпеки кафедри будівельних конструкцій та мостів. Для випробування зразків на вогневий вплив використовували піч для вогневих випробувань будівельних конструкцій та теплофізичних випробувань матеріалів [28]. Піч для випробувань складається із стін та накриття печі, терморпар, установок для вентиляції та пальника (рис. 4). Зразки піддавали вогневному впливу протягом 60 хв за максимальної температури середовища до 765 °С. Температуру в печі та в перерізах зразків реєстрували за допомогою хромель-алюмелевих (ХА) терморпар. Їх приєднували до термоприймачів типу РТ-0102 (рис. 5, а), які, своєю чергою, через відповідне програмне забезпечення (рис. 5, б) передавали дані на ПК.

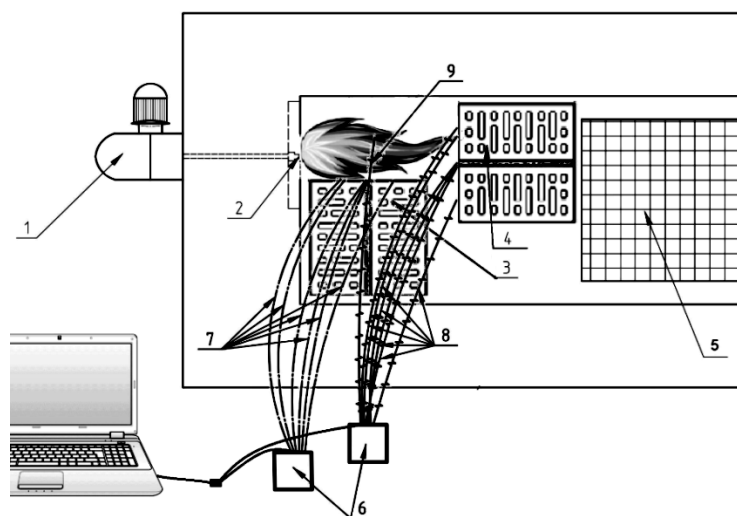


Рис. 4. Схема вогневої печі (вид згори): 1 – пальник; 2 – форсунка; 3, 4 – дослідні зразки; 5 – вентиляційний отвір; 6 – термоприймачі РТ-0102; 7, 8 – терморпари



а



б

Рис. 5. Вимірювання температури в контрольних точках:
а – термодатчик PT-0102; б – інтерфейс ПЗ

Після вогневого навантаження зразки другої серії випробовували на дію центрального стиску аналогічно до методики, яку описано вище для зразків першої серії. Зразки третьої серії після вогневого впливу підсилювали за допомогою сітки із скловолокна відповідно до технологічної карти ТМ “МАРЕГІ” [25] та випробовували на центральний стиск за вищенаведеною методикою. Для підсилення зразків використовували сітку Mapegrid G 120 – заґрунтована лугостійку сітку із скловолокна (2 шари) для структурного зміцнення кам’яних і цегляних основ. Сітку застосовували в системі разом із двокомпонентним еластичним цементним складом Planitop HDM Maxi. Етапи підсилення зразків показано на рис. 6.

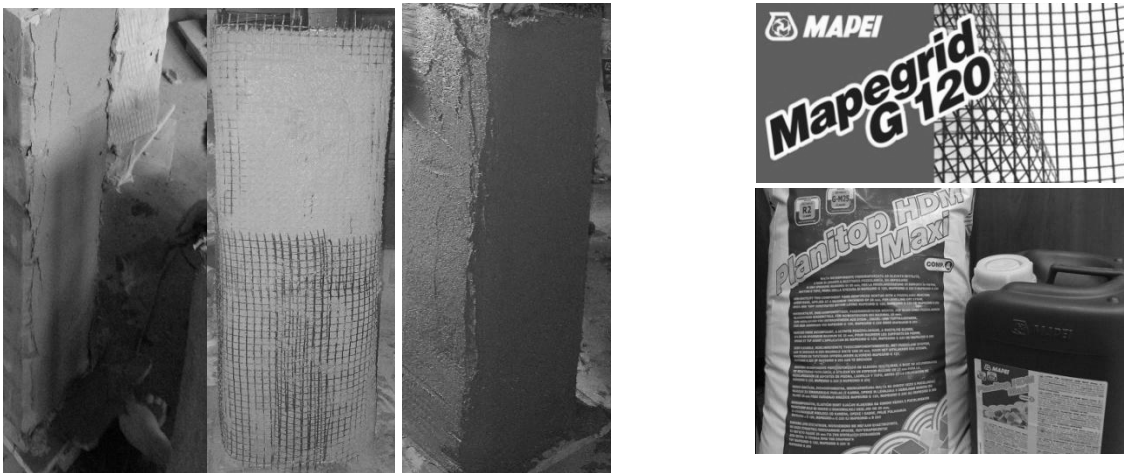


Рис. 6. Етапи підсилення зразка за допомогою Mapegrid G 120 та Planitop HDM Maxi

Аналіз результатів досліджень. У результаті досліджень отримано значення несучої здатності дослідних зразків трьох серій. Зразки кладки з керамічної цегли мали крихкий (раптовий) характер руйнування внаслідок поділу зразка на окремі блоки. Для зручності як критерій порівняння несучої здатності використовували граничні нормальні напруження, що виникали у перерізі дослідних зразків у момент руйнування.

Отримані експериментальні дані порівнювали із граничними теоретичними значеннями. Визначали теоретичне значення міцності кладки на стиск згідно з ДБН В.2.6-162:2010 [29]:

$$f_k = K \cdot f_b^{0.7} f_m^{0.3}; \quad (1)$$

де K – константа, прийнята відповідно ДБН В.2.6-162:2010[29]; f_b – міцність на стиск цегли; f_m – міцність розчину кладки на стиск (прийнято фактичні значення за результатами випробувань матеріалів за табл. 2).

Величина K залежить від групи кладки (табл. 8.4 [29]), яка, своєю чергою, залежить від характеристик цегли, зокрема порожнистості (табл. 8.1 [29]). Враховуючи, що під час мурування зразків значну кількість порожнин цегли заповнювали розчином, можемо зарахувати її до групи 1 ($K=0,55$). Підставивши дані з табл. 2 до формули (1), отримаємо теоретичне значення граничних нормальних напружень у зразку $f_{md}=3,38$ МПа. Фактична несуча здатність зразків ($f_{md}=4,16$ МПа) перевищила розрахункову теоретичну на 18,6 % (табл. 3), що може бути пов'язано з таким сприятливим фактором, як наявність насічок на боковій поверхні цегли.

Температурний діапазон вогневого впливу на зразки 2 та 3 серії коливався (рис. 7) в межах 300–650 °С. Температура середовища становила ~765 °С. Для визначення теоретичного значення граничних напружень у перерізі зразків після вогневого впливу необхідно володіти інформацією про зміну міцності цегли та ц/п розчину залежно від температури нагрівання. Керамічну цеглу, як відомо, випалюють за температур (~1000) °С, і повторне нагрівання суттєво міцності не змінює. Проте, за недостатнього першого випалу цегли (за недотримання технологічних процесів) під час повторного нагрівання може спостерігатися навіть збільшення міцності цегли. Зміну міцності ц/п розчину за дії температури досліджували як вітчизняні, так і іноземні науковці (наприклад, Н. И. Зенков, [30] S. Audin та ін. [31]). Відповідно до результатів досліджень після нагрівання понад 300 °С та охолодження міцність цементно-піщаного розчину збільшується на 20 % від початкової. За температур понад 500 °С міцність розчину неухильно зменшується [30]. Це підтверджується також результатами інших досліджень [31], але спад міцності розчину, за даними дослідників, починався за перевищення температури нагрівання 600 °С.

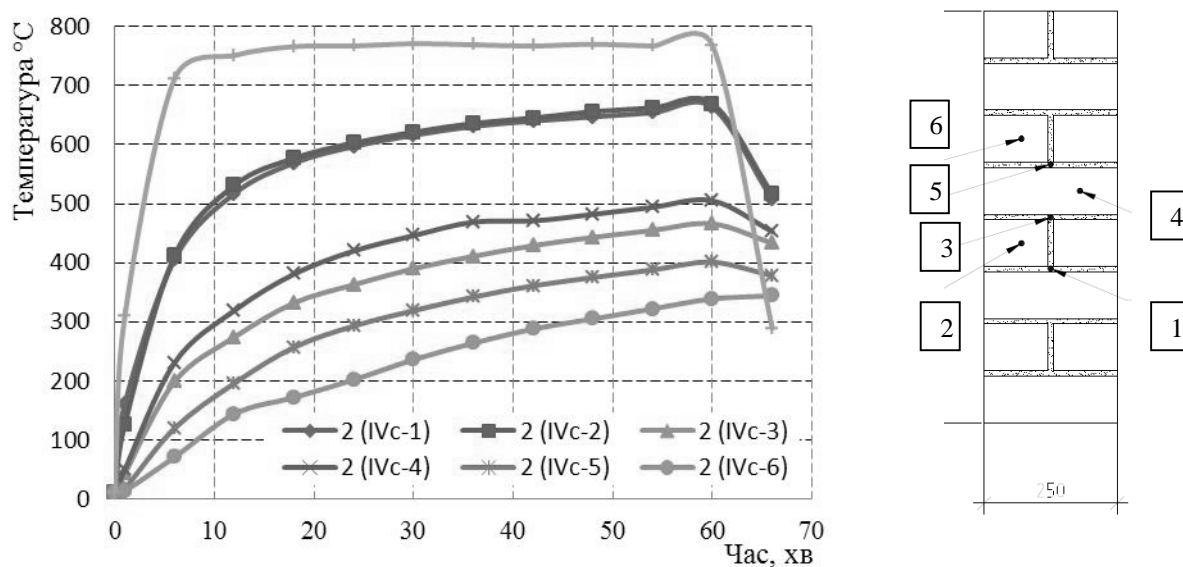


Рис. 7. Розподіл температур у перерізі зразка

Таблиця 3

Порівняльний аналіз результатів за серіями 1 та 2

Вид кладки	Теоретичні значення	Фактичні значення	Розбіжність, %	Примітки
	граничні напруження, МПа	граничні напруження, МПа		
Без підсилення (1 серія)	$f_{md}=3,38$	$f_{md}=4,16$	+18.6	вплив рифлених граней цегли
Після вогневого впливу (діапазон 300 °С до 650 °С) (2 серія)	$f'_{md}=3,57$	$f'_{md}=4,70$	+24	немає деталізованих даних про зміну міцності цього виду кладки під час нагрівання

У зв'язку з тим, що температурний режим нагрівання зразків відповідав фазі зміцнення складових цегляної кладки, несуча здатність зразків після нагрівання зроста порівняно із зразками, випробуваними за нормальних умов (5,3 % та 11,4 % теоретичне та фактичне значення відповідно). Слід зазначити, що такий ефект зміцнення може виникати лише за короткочасного нагрівання кладки з керамічної цегли за температури (~300 °C–600 °C).

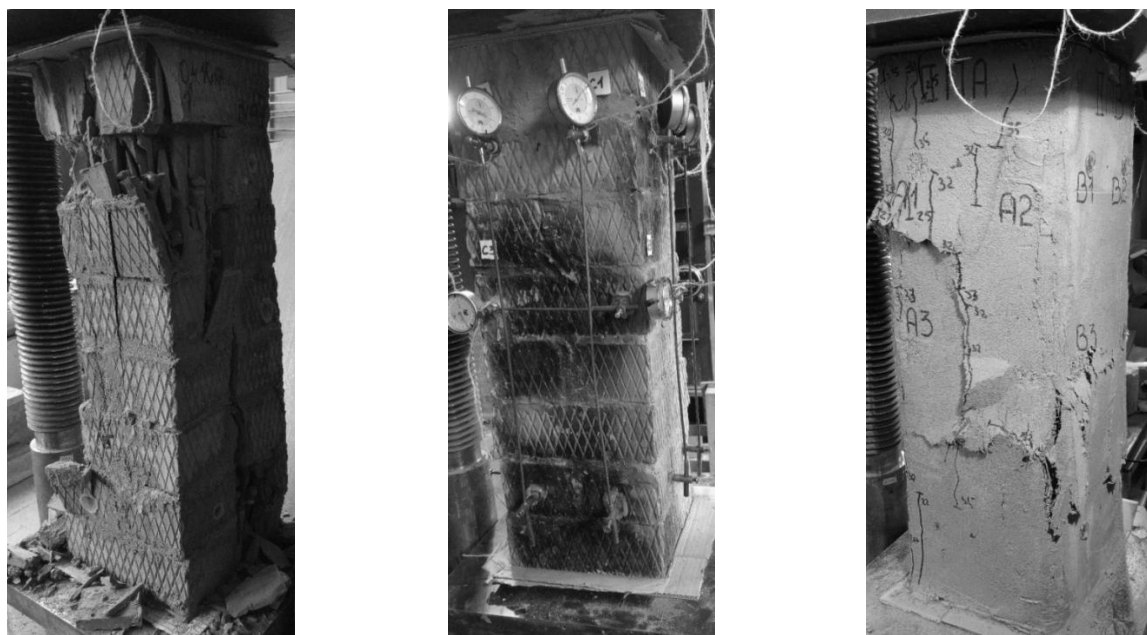
Як і в першій серії, фактична несуча здатність зразків другої серії (див. табл. 3) виявилась вища за прогнозовану, на основі розрахункових положень, величину (24 %). Це може бути пояснено відсутністю більш деталізованих даних про фактичну зміну міцності цього виду кладки під час нагрівання.

Граничні нормальні напруження зразків третьої серії після підсилення GFRP армуванням визначали за вказівками з проектування цегляних конструкцій, що посилюються таким видом армування (Італія) [9]. Суть розрахунку полягає у визначенні збільшеного опору кладки f_{mcd} , що спричинений ефектом обойми. Нижче наведено основні положення цих норм, відповідно до яких розраховували граничні нормальні напруження для підсиленого зразка.

$$\varepsilon_{f,rid} = \min \left\{ \frac{\eta_a \cdot \varepsilon_{fk}^{(f)}}{\gamma_f^{(f)}}; \frac{\eta_a \cdot \varepsilon_{fk}^{(b)}}{\gamma_f^{(b)}} \right\} \quad (2) \quad k' = \frac{g_m}{1000} \quad (3) \quad f_1 = \frac{1}{2} \frac{4 \cdot t_f \cdot b_f}{\max(b, h) \cdot p_f} \cdot E_f \cdot \varepsilon_{f,rid} \quad (4)$$

$$f_{1eff} = k_h \cdot k_v \cdot k_a \cdot f_1 \quad (5) \quad f_{mcd} = f_{md} + k' \cdot f_{1eff} \quad (6)$$

Пояснення до формул наведено у методиці [9]. На рис. 8 показано випробувані зразки трьох серій, а у табл. 4 – зведені результати досліджень.



1 серія

2 серія

3 серія

Рис. 8. Руйнування зразків трьох серій

Таблиця 4

Порівняльний аналіз результатів за серією 3

Вид кладки	Фактичні значення (експ.)	Теоретичні значення [9]	Фактичні значення (експ.)	Розбіжність, %
	граничні напруження, МПа	граничні напруження, МПа	граничні напруження, МПа	
	<i>кладка до підсилення</i>	<i>кладка після підсилення</i>	<i>кладка після підсилення</i>	
З підсиленням GFRP матеріалами після вогневого впливу (3 серія)	$f_{md}=4,7$	$f_{mcd}=5,04$	$f_{mcd}=5,31$	+5.0
Ефект підсилення, %		+6,7	+11,5	

Висновки. За результатами досліджень можна зробити такі висновки:

1. Загалом використана загальна методика розрахунку [9] підсилення GFRP матеріалами цегляних конструкцій показала хорошу збіжність (5,0 %) на експериментальних зразках, що попередньо піддавалися вогневому впливу. У цьому випадку фактичний ефект підсилення дослідних зразків становив 11,5 %.

2. Як видно з формули (6), міцність підсиленої кладки f_{mcd} залежить від двох складових: міцності непідсиленої кладки f_{md} та складової підсилення скловолоконною сіткою $k^f \cdot f_{eff}$. Загальна точність визначення f_{mcd} залежить від того, наскільки точно визначено f_{md} . Враховуючи похибку, що дає теоретичний розрахунок міцності цегляної кладки після вогневого впливу (див. табл. 3) порівняно із фактичними даними, важливим є використання значення фактичної міцності кладки. За реального проектування ці дані можна визначити, наприклад, методами неруйнівного контролю. Теоретично визначене значення f_{md} , натомість, можна використовувати для попереднього підбору параметрів GFRP-армування.

3. Окремим питанням є аналіз деформативності підсилених зразків, що піддавалися вогневому впливу, оскільки модуль деформації кладки значно змінюється за дії температур. Деформативність таких стиснутих конструкцій з цегляної кладки суттєво впливає на перерозподіл зусиль у елементах, що на них опираються. Враховуючи те, що в цих дослідженнях було отримано експериментальні графіки повздовжніх та поперечних деформацій дослідних зразків на всіх етапах, це питання стане темою майбутніх наукових публікацій.

1. УкрНДЦЗ. Аналіз масиву карток обліку пожеж. [Електронний ресурс]/URL: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html> (дата звернення 05.05.2018). 2. JSCE. Recommendation for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials, Research Committee on Fiber Reinforcing Materials, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, 1997. 3. CAN/CSA-S806-02. Design and Construction of Building Components with Fibre Reinforced Polymers, Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, 2002. 4. CNR-DT 206/2006. Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato, National Research Council, Rome, Italy. 5. ACI (2006), ACI 440.1R-06 – Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars, ACI Committee 440, American Concrete Institute (ACI). 6. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. М. 2015. 7. ДП “НДІБК” Звіт про науково-технічну роботу “Розробка рекомендацій з посилення збірних залізобетонних конструкцій зовнішнім армуванням системою композитних матеріалів Ruredil X Mesh Gold”. Договір № 1732 від 05.01.2011 р. 8. ДП “НДІБК” Звіт про науково-технічну роботу “Рекомендації щодо застосування композитних матеріалів фірми SIKA для підсилення залізобетонних конструкцій”. Договір № 2167 від 04.02. 2013 р. 9. Assemblea Generale Consiglio Superiore LL. PP, 2009. Linee Guida per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudodi interventi di rinforzo di strutture di C. A., e C. A. P. e murarie mediante FRP. Rome: LG. 10. A. Borri, G. Castori, M. Corradi, A. Giannantoni, “Seismic Upgrading Works carried out with Composite Materials on Historic Constructions”, in B. H. V. Topping, J. M. Adam, F. J. Pallarés, R. Bru, M. L. Romero, (Editors), “Proceedings of the Tenth International Conference on Computational Structures Technology”, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 234, 2010. doi:10.4203/ccp.93.234. 11. J. Gustavo Tumialan, Francesco Micelli, Antonio Nanni. “Strengthening of masonry structures with FRP composites”/ Structures Congress 2001May 21-23, 2001 / Washington, D. C., United States / pp. 1-18. 12. Конейка А. Е., Бондаренко Ю. В., Сушко Е. Н. “Досвід використання склопластиків для відновлення кам'яних конструкцій” // Науковий вісник будівництва. – Вип. 23. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2003. – С. 161–165. 13. Старцев С. А., Сундукова А. А. Усиление кирпичной кладки композитными материалами и винтовыми стержнями // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 6 (21). – С. 17–31. 14. Malhotra, H. L., “Properties of materials at high temperatures”, Report on the work of technical committee 44PHT, Matériaux et Constructions, pp. 161–170, 1982. 15. Gnanakrishnan, N., Lawther R., 1990. Performance of masonry walls exposed to fire. In: Proceedings,

Fifth North American Masonry Conference. Vol. III. University of Illinois at Champaign/Urbana, June 3–6, 1990, p.901-914. 16. Meyer, U., “Extended application rules for the fire performance of masonry walls”, *British Masonry Society*, no 10, 2006. 17. Al Nahhas, F., Ami Saada, R., Bonnet, G., Delmotte, P., “Resistance to fire of walls constituted by hollow blocks: Experiments and thermal modelling”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, pp. 258–267, 2007. 18. Russo, S., Boscato, G., Sciarretta, F., “Behaviour of a historical masonry structure subjected to fire”, *Journal of the British Masonry Society International*, Vol. 21, No. 1, 2008. 19. Th. D. Nguyen, M. Fekri, R. Chammas, A. Me'barki, *The behaviour of masonry walls subjected to fire: modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks*, *Fire Safety J.* 44 (2009) 629–641 doi:10.1016/j. firesaf. 2008.12.006. 20. A. Nadjai, D. Laverty, M. O'Garra, *Behaviour of compartment masonry walls in fire situation*, in: B. H. V. Topping (Ed.), *Civil and Structural Engineering Computing*, 2001. 21. Yaqub, M.; Bailey, C. G.; Nedwell, P. *Axial capacity of post-heated square columns wrapped with FRP composites*. *Cem. Concr. Compos.* 2011, 33, 694–701. 22. Brancaccio A., Serafini R., Casadei R. *In-site structural assessment and FRP strengthening of a fire damaged RC structure: A case study*. In *Proceedings of the 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, Rome, Italy, 13–15 June 2012*. 23. Liu, M.; Fan, X.-H.; Zuo, Y.-Z.; Song, G.-F. *Strengthening and retrofitting of the industries building after fires*. *Adv. Mater. Res.* 2013, 671–674, 778–781. 24. Thi C. N., Pansuk W., Torres L. *Flexural behavior of fire-damaged reinforced concrete slabs repaired with near-surface mounted CFRP rods*. *J. Adv. Concr. Technol.* 2015, 13, p.15–29. 25. МАРЕІ. [Електроний ресурс]/URL: <http://www.mapei.com/UA-UK/> (дата звернення: 05.05.2018). 26. ДСТУ Б В.2.7-239-2010. “Розчини будівельні. Методи випробувань”. Чинний від 15.11.2010. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010, с.34. 27. ДСТУ Б В.2.7-248-2011. “Матеріали стінові. Методи визначення границь міцності при стиску і згині”. Чинний від 12.01.2012. Київ: Мінрегіон України, 2012, с. 12. 28. Піч для вогневих випробувань будівельних конструкцій та теплофізичних випробувань матеріалів / Була Сергій Степанович, Бойко Роман Олегович. Патент на корисну модель. Опубліковано: 27.10.2014 / Номер патенту: 93911. 29. ДБН В.2.6-162:2010. “Конструкції будинків і споруд. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення”. Чинний від 09.01.2011. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. с. 94. 30. Зенков Н. И *Строительные материалы, и поведение их в условиях пожара*. М ВИИТШ МВД СССР, 1974, 176 с. 31. Aydin, S., Yazici, H., Baradan, B., “High temperature resistance of normal strength and autoclaved high strength mortars incorporated polypropylene and steel fibers”, *Construction and Building Materials*, No. 22, 2008.

References

1. The Ukrainian Civil Protection Research Institute (UkrCPRI), 2018. *Analiz masyvu kartok obliku pozhezh*. [online] Available at: <<http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html>> [accessed 05.05.2018]. 2. Japan Society of Civil Engineers, 1997. *JSCE Recommendation for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials*. Research Committee on Fiber Reinforcing Materials, Tokyo: JSCE. 3. Canadian Standards Association, 2002. *CAN/CSA-S806-02 – Design and Construction of Building Components with Fibre Reinforced Polymers*, Toronto, Ontario: CSA. 4. National Research Council, 2006. *CNR-DT 206/2006 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato*, Rome: CNR. 5. American Concrete Institute, 2006. *ACI 440.1R-06 Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars*. Michigan: ACI. 6. MSGKRF, 2015. *SP 164.1325800. Usileniye zhelezobetonykh konstruksiy kompozitnymi materialami. Pravila proyektirovaniya*. Moscow: SP. 7. DP “NDIBK”. 2011. No. 1732. *Zvit pro naukovo-tekhnichnu robotu “Rozrobka rekomendatsii z posylennia zbirnykh zalizobetonykh konstruksii zovnishnim armuvanniam systemoiu kompozytnykh materialiv Ruredil X Mesh Gold*. viewed 01.06.2018. 8. DP “NDIBK”. 2013. No. 2167. *Zvit pro naukovo-tekhnichnu robotu “Rekomendatsii shchodo zastosuvannia kompozytnykh materialiv firmy SIKA dlia pidsylennia zalizobetonykh konstruksii*. viewed 01.06.2018. 9. *Assemblea Generale Consiglio Superiore LL. PP, 2009. Linee Guida per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudodi interventi di rinforzo di strutture di C. A., e C. A. P. e murarie mediante FRP*. Rome: LG. 10. Borri, A., Castori, G., Corradi, M., Giannantoni, A., 2010. *Seismic Upgrading Works carried out with*

Composite Materials on Historic Constructions. In: B. H. V. topping, J. M. Adam, F. J. Pallarés, R. Bru, M. L. Romero, *Proceedings of the Tenth International Conference on Computational Structures Technology*, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, paper 234.

11. Tumialan, J., Micelli, F., Nanni A., 2001. *Strengthening of masonry structures with FRP composites*. In: *Structures Congress*. 21–23 May, 2001. Washington, D. C., United States, pp. 1-18.
12. Kopeika A., Bondarenko Yu., Sushko E., 2003. *Dosvid vykorystannia skloplastykiv dlia vidnovlennia kamianykh konstruksii*. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, #23. p. 161–165.
13. Startsev A., Sundukova A., 2014. *Usileniye kirpichnoy kladki kompozitnymi materialami i vintovymi sterzhnyami* *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*, 6(21), p. 17-31.
14. Malhotra, H. L., 1982. *Properties of materials at high temperatures. Report on the work of technical committee 44PHT*, *Matériaux et Constructions*, pp. 161-170.
15. Gnanakrishnan, N., Lawther R., 1990. *Perfomance of masonry walls exposed to fire*. In: *Proceedings, Fifth North American Masonry Conference*. Vol. III. University of Illinois at Champaign/Urbana, June 3-6, 1990, p.901-914.
16. Meyer, U., 2006. *Extended application rules for the fire performance of masonry walls*, *British Masonry Society*, #10.
17. Nahhas, F., Ami Saada, R., Bonnet, G., Delmotte, P., 2007. *Resistance to fire of walls constituted by hollow blocks: Experiments and thermal modelling*, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, pp. 258–267.
18. Russo, S., Boscato, G., Sciarretta, F., 2008. *Behavior of a historical masonry structure subjected to fire*. *Journal of the British Masonry Society International*. Vol. 21, No. 1.
19. Nguyen, Th. D., Fekri, M., Chammas, R., Me'barki, A., 2009. *The behaviour of masonry walls subjected to fire: modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks*, *Fire Safety J.* 44 (2009) pp. 629–641.
20. Nadjai, A., Laverty, D., O'Garra, M., 2001. *Behaviour of compartment masonry walls in fire situation*. In: B. H. V. topping (Ed.), *Civil and Structural Engineering Computing*.
21. Yaqub, M., Bailey, C, Nedwell, P., 2011. *Axial capacity of post-heated square columns wrapped with FRP composites*. *Cem. Concr. Compos.*, 33, pp. 694–701.
22. Brancaccio, A., Serafini, R., Casadei, R. 2012. *In-site structural assessment and FRP strengthening of a fire damaged RC structure: A case study*. In: *Proceedings of the 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*, 13–15 June 2012. Rome, Italy.
23. Liu, M.; Fan, X.-H.; Zuo, Y.-Z.; Song, G.-F. 2013. *Strengthening and retrofitting of the industries building after fires*. *Adv. Mater. Res.*, pp. 671–674, pp.778–781.
24. Thi, C. N., Pansuk, W., Torres, L. 2015. *Flexural behavior of fire-damaged reinforced concrete slabs repaired with near-surface mounted CFRP rods*. *J. Adv. Concr. Technol*, 13, pp.15–29.
25. MAPEI, 2018. *Technical documentation*. [online] Available at: <<http://www.mapei.com/GB-EN/technical-documentation.asp>> [accessed: 05.05.2018].
26. *Minrehionbud Ukrainy, 2010. DSTU B V.2.7-239-2010. Rozchyny budivelni. Metody vyprobuvan*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy.
27. *Minrehionbud Ukrainy, 2011 DSTU B V.2.7-248-2011. Materialy stinovi. Metody vyznachennia hranyts mitsnosti pry stysku i zghyni*. Kyiv: Minrehion Ukrainy.
28. Bula, S., Boiko, R., LPNU. 2014. *Pich dlia vohnevykh vyprobuvan budivelnykh konstruksii ta teplofizychnykh vyprobuvan materialiv*. Ukraine. Patent 93911.
29. *Minrehionbud Ukrainy, 2011. DBN V.2.6-162:2010. Konstruksii budynkiv i sporud. Kamiani ta armokamiani konstruksii. Osnovni polozhennia*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy.
30. Zenkov, N., 1974. *Stroytelnie materily i povedenie ih v uslovyiakh pozhara*. Moscow: VYPTSH MVD USSR.
31. Aydin, S., Yazici, H., Baradan, B., 2008. *High temperature resistance of normal strength and autoclaved high strength mortars incorporated polypropylene and steel fibers*, *Construction and Building Materials*. No. 22.