

УДК 624.012:620.193

ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОДАТКОВОГО АРМУВАННЯ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН, ПІДСИЛЕНИХ ЗА ДІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РІВНЯ НАВАНТАЖЕННЯ

*Я. Бліхарський, аспірант, Р. Хміль к.т.н.
Національний університет "Львівська політехніка"*

Постановка проблеми. Сьогодні часто виникає потреба у відновленні і реконструкції існуючих будівель. Зазвичай це пов'язано з:

- корекцією вимог для проектування;
- зміною функціонального призначення;
- впливом негативних чинників зовнішнього середовища;
- встановленням нового обладнання;
- модернізацією інженерних мереж;
- поліпшенням архітектурних якостей будівлі;

Особливістю таких робіт є те, що необхідно забезпечити довговічність будівлі і вона повинна відповідати експлуатаційним критеріям.

Із-посеред існуючих методів підсилення будівельних конструкцій виокремимо використання вуглецевого волокна армованих полімерів (CFRP) [1-7]. Його перевагами є: велика корозійна стійкість до чинників навколишнього середовища; відсутність потреби у влаштуванні складного рихтування, зміни геометричних розмірів конструкції; невеликий час для виконання робіт зі встановлення; висока жорсткість і міцність вуглецю; низька вага порівняно з іншими матеріалами (1/4 від сталі).

Водночас цей матеріал має деякі недоліки. Порівняно зі сталлю вартість композитів є більшою, на них негативно впливають ультрафіолетові промені, є деякі проблеми зі зчепленням матеріалу з конструкцією, яку підсилюють, низький опір композитів до високих температур (наприклад, у разі пожежі). Проте ці недоліки можна мінімізувати. Наприклад, якщо взяти до уваги повністю всі витрати, то висока вартість матеріалів компенсується меншими витратами на виконання робіт. Що стосується стійкості до високих температур або негативного впливу ультрафіолетових променів, то існують спеціальні матеріали, які забезпечують захист від таких чинників.

З огляду на дорожнечу CFRP дослідження потрібного відсотка додаткового армування є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нормативними документами з використання CFRP у США є ACI 440.2R-02 (2002) [8], в Європі – Fib-bulletin 14 (2001) [9; 10], у Великобританії – TR55 (2004) [11].

Останніми роками і в Україні цим питанням займаються багато науковців [1-7].

Постановка завдання. Метою нашого дослідження є:

- визначення параметрів міцності і деформативності залізо-бетонних колон, непідсилених і підсилених додатково вуглецевою стрічкою зі шириною 25 мм і 50 мм за експлуатаційного рівня навантаження;
- встановлення ефективності підсилення залежно від різного відсотка додаткового армування;
- встановлення спільної роботи основного і додаткового армування, надійності вибраного типу анкерування стрічки.

Виклад основного матеріалу. *Матеріали і методика експериментальних досліджень.* Для досягнення поставленої мети виготовлено дослідні зразки колон розмірами 2200x180x140 мм, на краях яких були влаштовані консольні виступи для передачі навантаження. За допомогою консолей стало можливим прикладання навантаження з великим ексцентриситетом, що моделює наявність значних згинальних моментів у колонах реального каркаса будівлі. У дослідженні прийнято ексцентриситет 150 мм. Конструкція дослідних зразків показана на рис. 1.

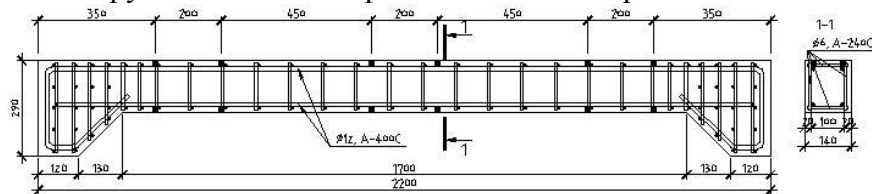


Рис. 1. Конструкція та армування дослідних зразків.

У процесі виготовлення арматурних каркасів для кріплення механічних приладів визначення деформацій було передбачено 12 сталевих тримачів, приварених до повздовжньої арматури на орієнтовній відстані 200 мм один від одного. Під час експлуатації будівлі повністю розвантажити конструкцію часто досить складно, а в деяких випадках неможливо. Такі навантаження можуть бути від власної ваги конструкції, від підлоги, технологічного обладнання чи будь-чого іншого. Тому конструкцію можна розвантажити до певного рівня. Щоб промоделювати роботу такого елемента, перед підсиленням дослідні зразки доводили до рівня, $0.5 \cdot N_{SLS}^{exp}$, (1/2 від руйнівного зусилля непідсилених зразків). Далі зразки підсилювали вуглецевою стрічкою Sika Carbodur S512 (рис. 2) шириною 25 мм та 50 мм.

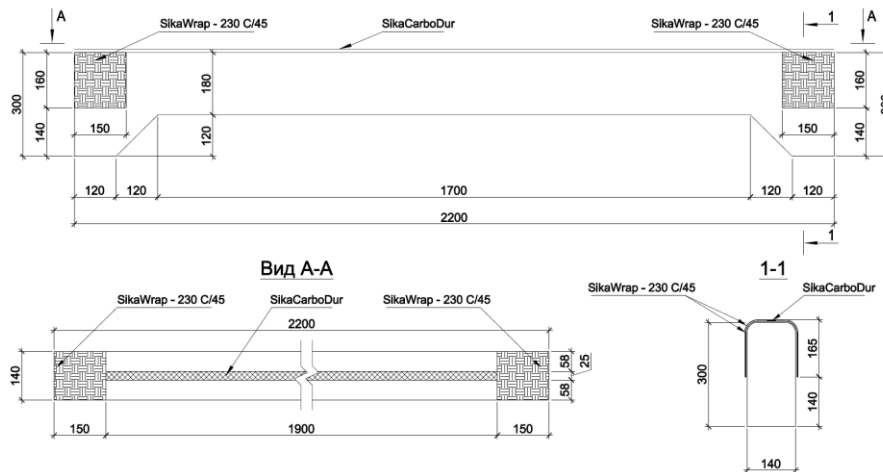


Рис. 2. Конструкція підсилення дослідних зразків.

Вуглецеву стрічку наклеювали на розтягнуту грань колони. Щоб забезпечити анкерування стрічки, на консольні ділянки додатково приклеювали по два шари тканини SikaWrap. Роботи виконували згідно з встановленою виробником методикою [1; 2; 12].

Для досягнення мети досліджень випробувано шість експериментальних зразків, а саме: два зразки непідсилені колони (КЗ-1.1 та КЗ-1.2), два зразки, підсилені стрічкою шириною 25 мм за дії навантаження 0,5 від руйнівного експериментального непідсилені зразків (КПС-1.7-0,5 та КПС-1.8-0,5) і два зразки, підсилені стрічкою шириною 50 мм за того самого навантаження (КПС-2.13-0,5 та КПС-2.14-0,5). Маркування колон: КЗ – колона звичайна; КПС – колона, підсилена стрічкою. Перша цифра вказує на номер серії, друга – на номер зразка, а третя – на рівень навантаження при підсиленні. Першу серію підсилювали стрічкою шириною 25 мм, а другу – 50 мм.

Випробування підсиленої колони до руйнування виконували етапами по 10 кН із витримкою 15 хв. Навантаження прикладали за допомогою гідравлічного домкрата на підготовленому стенді. Експериментальні зразки випробували у горизонтальному положенні. Для визначення деформативних характеристик колони загалом було використано 28 мікроіндикаторів годинникового типу у непідсилені зразках та 35 мікроіндикаторів – у підсилені. За допомогою мікроіндикаторів визначали деформації стиснутої та розтягнутої арматури, бетону та деформації бетону за висотою перерізу. Для отримання кривизни вигину колони від ступеня

навантаження використано п'ять прогиномірів типу Аістова, які закріплювали до грані колони рівномірно за довжиною (рис. 3)



Рис.3. Дослідний зразок КПС-2.13-0.5 під час випробовування.

Найбільший приріст деформацій відбувався у дослідному перерізі по середині зразка, тому за результатами випробовування для середнього перерізу побудовані усереднені графіки зміни деформацій розтягнутої арматури, розтягнутої додаткової стрічки та верхньої грані стиснутого бетону залежно від навантаження (рис. 4).

Аналізуючи побудовані графіки, помічаємо, що стрічка залучається в роботи відразу після підсилення. Це підтверджено зменшенням приросту деформації арматури від моменту підсилення стрічкою. Після досягання арматурою межі плинності зусилля розтягу далі сприймає лише стрічка. Так триває до моменту фізичного руйнування зразків у стисnutій зоні бетону.

Згідно з рекомендаціями FIB [2, с. 20] існують два граничні стани. Перший – “serviceability limit state (SLS)”, тобто експлуатаційний граничний стан конструкції, та “ultimate limit state (ULS)” – максимальний граничний стан. Експлуатаційним граничним станом вважаємо момент, коли в розтягнутій сталевій арматурі та вуглецевій стрічці досягаються граничні деформації. Причому, якщо сталева арматура досягла межі плинності, а вуглецева стрічка не досягла граничних значень, як і навпаки, вважається, що не відбулося досягнення граничного експлуатаційного навантаження. Максимальне граничне навантаження таке, за якого відбувається роздроблення бетону стиснутої зони. У нашому дослідженні ми розглядаємо експлуатаційний граничний стан SLS. Результати досліджень наведено в таблиці.

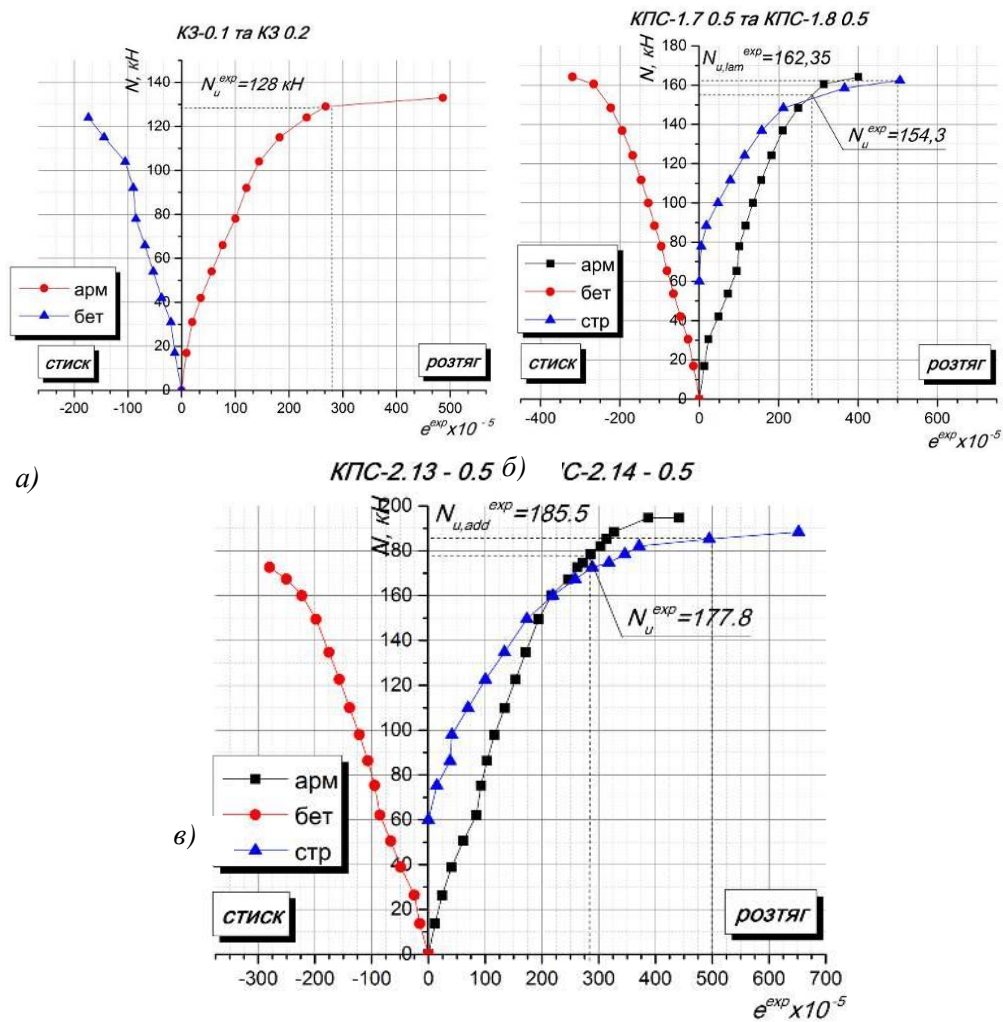


Рис. 4. Усреднені графіки деформацій розтягнутої арматури (арм.), стрічки (стр.) та стиснутого бетону (бет.) непідсиленних (а) і підсиленних колон стрічкою 25 мм (б) та 50 мм(в).

Таблиця

Результати експериментальних досліджень

Шифр зразка	Плинність основної арматури, кН		Досягнення граничних деф. додаткової стрічки, кН		Ефект від підсилення (SLS), %	
	зразка	сер.	зразка	сер.	зразка	сер.
КЗ-0.1	127,4	128	-	-	-	-
КЗ-0.2	128,6		-		-	
КПС-1.7-0.5	153,5	154,3	161,2	162,4	25,9	26,8
КПС-1.8-0.5	155,1		163,5		27,7	
КПС-2.12-0.5	175,6	177,8	183,3	185,5	43,2	44,9
КПС-2.13-0.5	179,9		187,75		46,7	

Отже, встановлено, що поздовжня сила для непідсилених колон, за якої відбулося досягнення експлуатаційного граничного стану (SLS) для колон КЗ-1.1 та КЗ-1.2, складає $N_{SLS}^{exp} = 128 \text{ кН}$.

Для дослідних зразків, підсилених вуглецевою стрічкою зі шириною стрічки 25 мм, поздовжня сила, за якої відбувалося досягнення експлуатаційного граничного стану (SLS) для колон КПС-1.7-0.5 та КПС-1.8-0.5 складає $N_{SLS, lam}^{exp} = 162,4 \text{ кН}$. Для дослідних зразків, підсилених вуглецевою стрічкою зі шириною стрічки 50 мм, поздовжня сила, за якої відбувалося досягнення експлуатаційного граничного стану (SLS) для колон КПС-2.12-0.5 та КПС-2.13-0.5, складає $N_{SLS, lam}^{exp} = 185,5 \text{ кН}$.

У результаті ефект підсилення після вичерпання несучої здатності (SLS) для колон, підсилених стрічкою 25 мм, складає 26,8%, а 50 мм – 44,9%.

Висновки. Дослідження залізобетонних колон, підсилених вуглецевою стрічкою Sika Carbodur S512, за дії експлуатаційного рівня навантаження показало позитивний результат. Обраний тип анкерування абсолютно забезпечує зчеплення вуглецевого ламінату із підсиленим зразком. Встановлено, що стрічка відразу залучається в роботу, а ефект підсилення після вичерпання несучої здатності (SLS) складає 26,8% для зразків, підсилених стрічкою 25 мм, та 44,9% для зразків, підсилених стрічкою шириною 50 мм.

Бібліографічний список

1. Бліхарський Я. З. Міцність та деформативність залізобетонних колон, підсилених вуглецевою стрічкою / Я.З.

Бліхарський, Р.Є. Хміль. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва. – Львів, 2013. – №755. – С. 15-20.

2. Бліхарський Я. 3. Експериментальні дослідження залізобетонних колон, підсилених вуглецевою стрічкою при дії навантаження низького рівня / Я.З. Бліхарський, Р.Є. Хміль, Ю.М. Собко // зб. наук. праць: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди – Рівне, 2013. – Вип. 27. – С.440-447.

3. Мельник І.В. Деформації зовнішньої композитної арматури при підсиленні залізобетонних балок / І.В. Мельник, А.Я. Мурин // Збірник наукових праць: механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – 2009. – № 8. – С. 235-241.

4. Міцність і деформативність залізобетонних мостових балок, підсилених неметалевою арматурою CFRP / В.Г. Кваша, І.В. Мельник, М.Д. Климпуш, О. Шевчик // VI міжнародна наукова конференція : актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля. – Львів, 2001. – С. 223-230.

5. Борисюк О.П. Розрахунок несучої здатності нормальних перерізів залізобетонних згинальних елементів, підсилених зовнішньою композитною арматурою за дії малоциклових навантажень/ О.П. Борисюк, О.П. Конончук // – Рівне, 2012.

6. Добрянський Р. 3. Дослідження залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою / Р. 3. Добрянський. – Львів, 2000 – 88 с.

7. Климпуш М. Д. Випробовування та оцінка ефективності підсилення мостових балок за ТП вип. 56 наклеюванням композитних матеріалів / М. Д. Климпуш, В. Г. Кваша, І. В. Мельник // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва. – Львів, 2002. – №441. – С.100-107.

8. ACI 440.2R-02, 2002: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, Published by the "American Concrete Institute", Farmington Hills, MIp.45.

9. FIB Bulletin 14 (2001). Design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures, by 'EBR' working „party of FIB TG“ 9.3, July 2001, p.138.

10. Technical report fib, bulletin 14.Externally bonded FRP

reinforcement for RC structures 2001, 130 p.

11. The Concrete Society, Technical Report No. 55, 2004: Design Guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials (Second Edition) „The Concrete Society, p.102.

12. Технологія підсилення композитними матеріалами Sika [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukr.sika.com>.

Бліхарський Я., Хміль Р. Ефективність додаткового армування позацентрово стиснутих залізобетонних колон, підсиленних за дії експлуатаційного рівня навантаження

Показані результати визначення параметрів міцності і деформативності залізобетонних колон, непідсиленних і підсиленних додатковою вуглецевою стрічкою зі шириною 25 мм і 50 мм за експлуатаційного рівня навантаження. Встановлена ефективність підсилення залежно від різного відсотка додаткового армування. Досліджена спільна робота основного і додаткового армування.

Ключові слова: конструкції, агресивне середовище, корозія, локальний вплив, сумісна дія, методика досліджень.

Bliharsskyu Ya., Hhmil R. Effectiveness of extra compressed noncentral reinforcement concrete columns reinforced to load of operational level

This paper presents results of research of reinforced concrete elements subjected to combined axial load and bending with different percent of additional reinforcement reinforced under service loading. As an additional reinforcement was a carbon laminate with width of 25 mm and 50 mm. The comparative analysis was carried out and strengthened effectiveness was determined.

Key words: constructions, aggressive environment, corrosion, local impact, co-influences, methodic of investigation.

Блихарский Я., Хмиль Р. Эффективность дополнительного армирования внецентренно сжатых железобетонных колонн усиленных за воздействия эксплуатационного уровня нагрузки

Представлены результаты определения параметров прочности и деформативности железобетонных колонн, неусиленных и усиленных дополнительной углеродной лентой с шириной 25 мм и 50 мм при эксплуатационном уровне нагрузки. Установлена эффективность усиления в зависимости от разного процента дополнительного армирования. Исследована совместная работа основного и дополнительного армирования.

Ключевые слова: конструкции, агрессивная среда, коррозия, локальное воздействие, совместное действие, методика исследований.