

УДК 624.012:69.07

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ПІДСИЛЕНИХ ВУГЛЕЦЕВОЮ СТРІЧКОЮ ПРИ ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ НИЗЬКОГО РІВНЯ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОН УСИЛЕННЫХ УГЛЕРОДНОЙ ЛЕНТОЮ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ НИЗКОГО УРОВНЯ

EXPERIMENTAL RESEARCH OF REINFORCED CONCRETE COLUMN STRENGTHENING USING PULTRUDED CARBON FIBER PLATES UNDER LOW LEVEL LOAD

Бліхарський Я.З., аспірант, Хміль Р.Є., к.т.н., доцент, (Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів), Собко Ю.М., к.т.н., (Представництво фірми Sika в Україні, м. Львів)

Блихарский Я.З., аспирант, Хмил Р.Е., к.т.н., доцент (Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов), Собко Ю.Н., к.т.н., (Представительство фирмы Сика в Украине, г. Львов)

Blikharskyu Y.Z., postgraduate student, Hmil R.E., candidate of technical sciences (National university Lviv polytechnic, Lviv), Sobko Y.M., candidate of technical sciences, (Representative office of Sika in Ukraine, Lviv)

У цій статті досліджено ефективність підсилення залізобетонних колон вуглецевою стрічкою Sika Carbodur при рівні навантаження $1/3$ від експериментального руйнівного зусилля не підсилених зразків. Даний рівень моделює реальну роботу колони, на яку діє при підсиленні навантаження принаймні від власної ваги конструкцій каркасу, перекриття, підлог та при неможливості повного розвантаження.

В этой статье исследована эффективность усиления железобетонных колонн углеродной лентой Sika Carbodur при уровне нагрузки $1/3$ от экспериментального разрушающего усилия не усиленных образцов. Данный уровень моделирует реальную работу колонны, на которую действует при усилении по крайней мере нагрузка от собственного веса конструкций каркаса, перекрытий, полов и при невозможности полной разгрузки.

The paper is devoted to the investigation of efficiency of reinforced concrete column strengthening using pultruded carbon fiber plates under loading, that equal 1/3 of the experimental destructive value of not strengthened column. This level simulates the real work of columns, which carry out during strengthening the gravity load from carcass construction, plates, floors and if they cannot be fully unloading.

Ключові слова:

Бетон, арматура, колона, вуглець, композит, стрічка, підсилення.

Бетон, арматура, колона, углерод, композит, лента, усиление.

Concrete, armature, column, carbon, composite, laminate, strengthening

Вступ. Більшість конструкцій в період своєї експлуатації піддаються негативному впливу зовнішнього середовища. Через певний проміжок часу це приводить до погіршення їх експлуатаційних характеристик. У залізобетонних конструкціях пошкодження проявляються у карбонізації бетону, насиченні його хлоридами, корозії арматури, зміні геометричних розмірів конструкції, появі раковин, тріщин, відшаруванні захисного шару бетону. Все це приводить до зменшення несучої здатності і, як наслідок, зниженню їх надійності та безпечної експлуатації.

В зв'язку з цим з'являється потреба у відновленні чи збільшенні несучої здатності конструкцій. Найчастіше це пов'язано з змінами в плануванні, необхідністю додаткової надбудови або влаштуванні нового обладнання, змін умов експлуатації, конструктивної схеми, збільшенням пропускної здатності у мостів тощо.

Аналіз останніх досліджень. У сучасному світі є досить актуальним питання відновлення конструкцій, підняття їх несучої здатності, саме тому є необхідність розробки нових технологій ремонту і застосування нових матеріалів [1]. Важливим питанням є вивчення ефективності їх використання, а також ефективність підсилення елементів при дії навантаження, що і є метою роботи.

Для підсилення можуть використовуватись різноманітні способи, а саме: збільшення перерізу за рахунок приєднання нових елементів, розвантаження конструкцій, дублювання елементів, зміна розрахункової схеми, введення затяжок, шпренгелів та ін. Одним із сучасних способів підсилення є застосування фібро-армованих полімерів (ФАП) [2]. Перевагами їх є відмінна корозійна стійкість до факторів навколишнього середовища, висока жорсткість і міцність, вага у порівнянні з іншими матеріалами. Недолік щодо високої їх вартості, як правило, повністю компенсується зниженням вартості і трудомісткості при виконанні робіт по підсиленню, зменшенням терміну виконання робіт, відсутністю потреби застосовування дорогого обладнання при монтажу, можливість використання без розвантаження конструкції [1].

На даний час існують нормативні документи по використанню ФАП, а саме у США - ACI 440.2R-02 (2002) [3], у Європі - Fib-bulletin 14 (2001) [4], та у Великобританії - TR55 (2004) [5], також ведуться роботи у Росії [1, 6, 7]. В Україні займаються цим питанням багато науковців [8, 9, 10, 11].

Метою дослідження є визначити ефект підсилення позациентровостиснутих залізобетонних колон підсилених вуглецевою стрічкою під дією навантаження низького рівня.

Методика експериментальних досліджень. Для досягнення поставленої мети було виготовлено дослідні зразки колон розмірами 2200x180x140мм. На краях колони були влаштовані консольні виступи для передачі навантаження. За допомогою консолей стало можливим прикладання навантаження з великим ексцентриситетом, що моделює наявність значних згинальних моментів в колонах реального каркасу будівлі. В дослідженні прийнято ексцентриситет рівний 150 мм. Конструкція дослідних зразків показана на рис. 1.

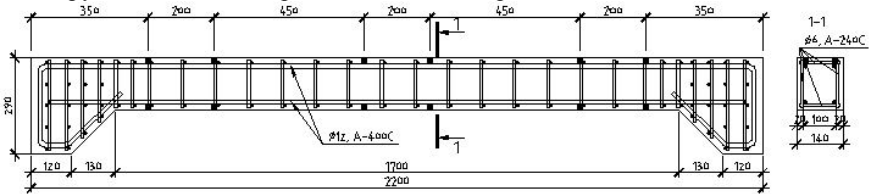


Рис. 1. Конструкція та армування непідсилених дослідних зразків

У процесі виготовлення арматурних каркасів було передбачено для кріплення механічних приладів визначення деформацій 12 сталевих тримачів приварених до повздовжньої арматури на орієнтовній відстані 200 мм один від одного. Під час експлуатації будівлі повністю розвантажити конструкцію досить часто є складним, а в деяких випадках неможливим завданням. Такі навантаження можуть складати 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 підсилення дослідний зразок доводили до рівня $0.3 \cdot N_u^{exp}$ (1/3 від експериментально визначеного руйнівного зусилля непідсилених зразків). Далі зразки підсилювали вуглецевою стрічкою Sika Carbodur S512 (рис. 2). шириною 25 мм.

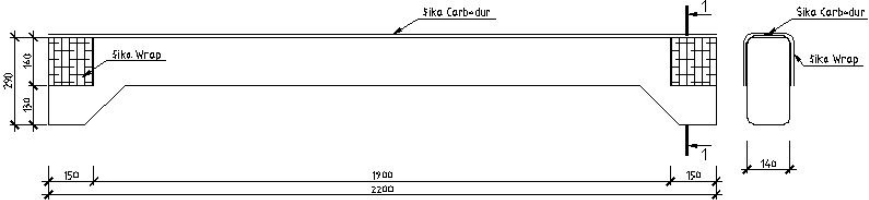


Рис. 2. Конструкція підсилення дослідних зразків.

Вуглецеву стрічку наклеювали на верхню розтягнуту грань колони. Щоб забезпечити анкерування стрічки на консольні ділянки додатково приклеювали по два шари тканини SikaWrap. Роботи виконували згідно встановленої виробником методики [2, 3, 4].

Для досягнення мети досліджень випробувано 4 експериментальні зразки, а саме: 2 зразки непідсиленних колон (КЗ-1.1 та КЗ-1.2) та 2 зразки, що були підсилені при дії навантаження рівному 0.3 від руйнуючого експериментального не підсиленних зразків (КПС-1.5-0,3 та КПС-1.6-0,3). Маркування колон прийнято наступним: КЗ – колона звичайна, КПС – колона підсилена стрічкою. Перша цифра вказує на номер серії, друга на номер зразка, а третя – на рівень навантаження при підсиленні.

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 випробовували у горизонтальному положенні. Для визначення деформативних характеристик колони загалом було використано 28 мікроіндикаторів годинникового типу у не підсиленних зразках та 35 мікроіндикаторів у підсиленних зразках. За допомогою мікроіндикаторів визначали деформації стиснутої та розтягнутої арматури, бетону та деформації бетону по висоті перерізу. Для отримання кривизни вигину колони від величини навантаження використано 5 прогиномірів типу Аістова, які закріплювали до грані колони рівномірно по довжині (рис. 3)



Рис.3. Загальний вигляд стенду з зразком колони під час випробувань

Результати експериментальних досліджень. Експериментальний зразок поділений на 3 дослідні перерізи, у кожному з яких було розташовано по 2 мікроіндикатори на розтягнутій, стиснутій арматурі та стрічці підсилення та по 1 на верхній грані стиснутої зони бетону.

Найбільші деформації були посередині зразка, тому по результатах випробування у середньому перерізі були побудовані графіки зміни деформацій розтягнутої арматури, розтягнутої додаткової арматури (стрічки) та стиснутого бетону в залежності від навантаження (рис. 4). За результатами випробувань не підсиленних колон (рис. 4а, б) та підсиленних

при рівні навантаження $0.3 \cdot N_u^{\text{exp}}$ (рис. 4 в, г) побудовано за допомогою апроксимації усереднені графіки деформації арматури та бетону (рис. 5).

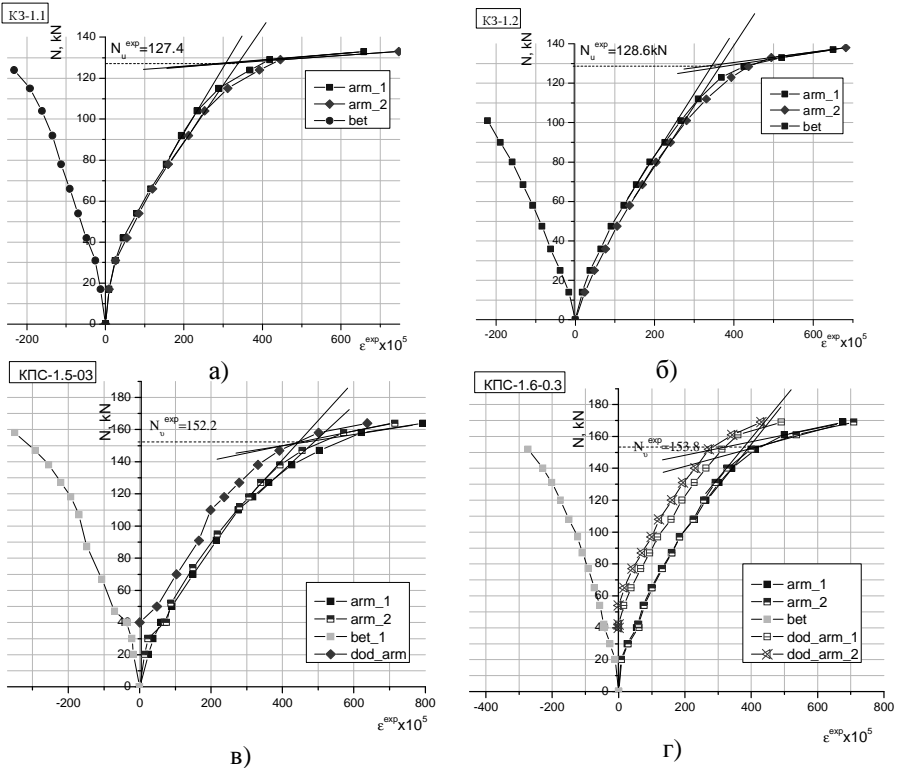


Рис. 4. Графіки деформацій розтягнутої арматури та стиснутого бетону не підсиленних колон (а, б) та підсиленних колон (в, г).

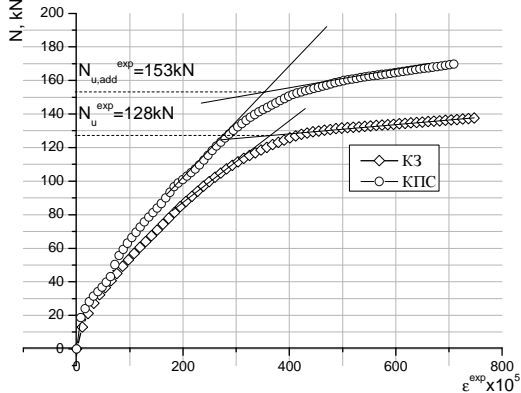


Рис. 5. Усереднені графіки деформацій розтягнутої арматури

Як видно з графіків, стрічка включається в роботи відразу після підсилення, яке виконували при навантаженні рівному 40 кН (рис. 4 в, г). Це також підтверджується зменшенням інтенсивності приросту деформацій розтягу основної арматури колон (рис. 5). Після досягання основною арматурою межі текучості зусилля розтягу далі сприймає лише стрічка. Так тривало до моменту фізичного руйнування зразків по стиснутій зоні бетону.

Провівши графічний аналіз отриманих залежностей деформації основної арматури колон від прикладеного навантаження визначено експериментальну несучу здатність дослідних зразків. В результаті встановлено, що величина повздовжньої сили для не підсилених колон, при якій відбулося вичерпання несучої здатності, що відповідає граничному стану при якому настає текучість основної арматури для пари близнюків КЗ-1.1 та КЗ-1.2 складає $N_U^{exp} = 128 \text{кН}$. Фізичне руйнування даних зразків відбулося при навантаженні $N_f^{exp} = 133.6 \text{кН}$.

Для дослідних зразків, підсилених вуглецевою стрічкою при рівні завантаження $0.3 \cdot N_u^{exp}$ величина поздовжньої сили, при якій відбувалося вичерпання несучої здатності, що відповідає граничному стану по текучості арматури $N_{u,ad}^{exp} = 153 \text{кН}$. Фізичне руйнування склало $N_{f,ad}^{exp} = 169.5 \text{кН}$.

Деформації не підсилених зразків КЗ-1.1 та КЗ-1.2 наростали плавно, а з величини навантаження 100-110 кН спостерігається різке зростання деформацій арматури, текучість якої настала при навантаженні 128 кН. Далі при навантаженні 133,6 кН настає крихке руйнування стиснутої зони бетону. Деформування підсилених зразків КПС-1.5-0.3 та КПС-1.6-0.3 відбувалося ідентично плавно, проте з меншими деформаціями, а з величини 130-140 кН спостерігалось різке зростання деформацій основної арматури, текучість якої настала при навантаженні 153 кН. Крихке руйнування стиснутої зони бетону відбулось при 169.5 кН. Результати експериментальних досліджень наведені у таблиці.

Таблиця

Результати експериментальних досліджень

| Шифр колон | Геометричні розміри $b \times h$, мм | Величина повздовжньої сили, кН | | | | Ефект підсилення, % | |
|-------------|---------------------------------------|---|-----------|---------------------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | | Вичерпання несучої здатності, N_u^{exp} | | Фізичне руйнування, N_f^{exp} | | | |
| | | зразка | близнюків | зразка | близнюків | зразка | близнюків |
| КЗ-1.1 | 140x180 | 127.4 | 128 | 133.5 | 133.6 | - | |
| КЗ-1.2 | | 128.6 | | 133 | | | |
| КПС-1.5-0.3 | | 152.2 | 153 | 168.8 | 169.5 | 18.91 | 19.53 |
| КПС-1.6-0.3 | | 153.8 | | 170.2 | | 20.16 | |

Як видно з таблиці збільшення величини несучої здатності, що відповідає граничному стану при якому настає текучість основної арматури між підсиленими та підсиленими зразками складає 25 кН, що відповідає ефекту підсилення 19.5 %.

Схема руйнування дослідних зразків колон (КЗ-1.1, КЗ-1.2, КПС-1.5-0.3, КПС-1.6-0.3) подано на рис.6.

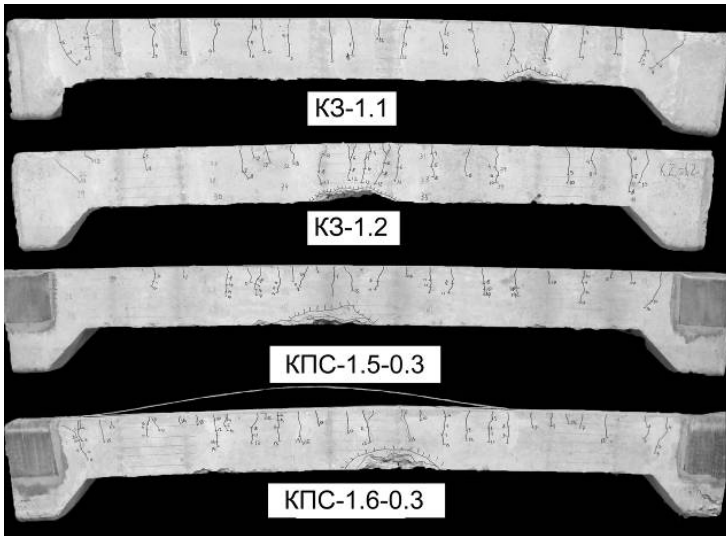


Рис. 6. Характер руйнування дослідних колон

Як видно з рисунка у зразка КПС-1.5-0.3 не спостерігалось проковзування вуглецевої стрічки з анкерного полотна. Проте по довжині колони у деяких місцях спостерігається відшарування стрічки від грані колони. У зразка КПС-1.6-0.3 після вичерпання несучої здатності при фізичному руйнуванні відбулося проковзування стрічки. Проте після аналізу відео матеріалів випробування, було підтверджено, що руйнування стиснутої зони бетону випереджувало проковзування стрічки, яке відбулося внаслідок різкого приросту вигину колони після руйнування стиснутої зони бетону.

Висновки: 1. При випробуванні моделей залізобетонних колон, підсилених вуглецевою стрічкою Sika Carbodur S512 при дії навантаження низького рівня, що складає 1/3 величини максимального навантаження не підсилених елементів, встановлено, що стрічка з перших етапів включається в роботу, про що свідчить зменшення величин деформацій основної арматури у підсилених зразках відносно не підсилених та наявність деформації у додатковій арматурі.

2. При використанні стрічки Sika Carbodur S512 для підсилення дослідних стиснутих зразків під навантаженням, котре діє з великим ексцентриситетом можна досягнути відчутного ефекту підсилення. При даних умовах та параметрах проведеного експерименту ефект підсилення склав 19.5%.

1. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами. 2. Piotr Rusinowski, Björn Täljsten, Bjørnar Sand Peeling failure at the cut-off end of cfrp strengthened rc beams // FRPRCS-9 Sydney, Australia, 2009. 3. 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, MI, pp. 45. 4. 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, 138 pp. 5. The Concrete Society, Technical Report No. 55, 2004: "Design Guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials (Second Edition)" The Concrete Society, 102 pp. 6. Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами – М., 2006, С.2-3, С.30-36. 7. Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций // Бетон и Железобетон – М., 2002 – С.17-20; 2003. - №1 – С.25-29. 8. Борисюк О.П., Конопчук Розраунок несучої здатності нормальних перерізів залізобетонних згинальних елементів, підсилені зовнішньою композитною арматурою за дії малоциклових навантажень // Рекомендації. – Рівне: НУВГП, 2012. – 38 с. 9. Кваша В.Г. Експериментальне дослідження залізобетонної мостової балки за ТП вип. 56, підсиленої композитною стрічкою з вуглецевих волокон CFRP / І.В. Мельник, М.Д. Климпуш // 36. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 62. – К., 2001. – С. 267–271. 10. Мельник І.В. Міцність і деформативність залізобетонних балок підсилені конструкційними композитами при різних умовах попереднього завантаження / Р.З. Добрянський, А.Я. Мурин // 36. наук. Праць "Будівельні конструкції" – Вип. 56. – К., 2005, – С. 121–129. 11. Мурин А.Я., Міцність нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилені зовнішньою композитною арматурою // Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2008 - С. 155-158. 12. Матеріали з офіційного сайту Sika: <http://ukr.sika.com>.