

УДК 624.012

**ДОСЛІДЖЕННЯ ШИРИНИ РОЗКРИТТЯ НОРМАЛЬНИХ ТРІЩИН В
СТИСНУТО-ЗІГНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОНАХ
ПІДСИЛЕНИХ ЗОВНІШНЬОЮ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ НОРМАЛЬНЫХ
ТРЕЩИН В СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОЛОННАХ УСИЛЕННЫХ НАРУЖНОЙ КОМПОЗИТНОЙ
АРМАТУРОЙ**

**RESEARCH OF CRACKS WIDTH IN NORMAL CROSS SECTION OF
COMPRESSED –BENDING REINFORCED CONCRETE COLUMNS
STRENGTHENED BY EXTERNAL COMPOSITE BAR**

**Вегера П.І., аспірант, Бліхарський Я.З., аспірант, Хміль Р.Є., к.т.н.,
доцент (Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів)**

**Вегера П.И., аспирант, Блехарский Я.З., аспирант, Хмил Р.Е., к.т.н.,
доцент (Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов)**

**Vegera P.I., postgraduate student, Blikharsky Y.Z., postgraduate student,
Khmil R.E., candidate of technical sciences (National Lviv Polytechnic
University, Lviv),**

Подано результати експериментальних та теоретичних досліджень параметрів тріщиностійкості залізобетонних колон підсилені зовнішньою композитною арматурою. Колони навантажували поздовжньою силою з великим ексцентриситетом, що дозволило отримати розтягнуту зону в поперечному перерізі з утворенням нормальних до перерізу тріщин. Проведено порівняння тріщиностійкості підсилені колон з колонами без підсилення.

Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований параметров трещиностойкости железобетонных колонн усиленных внешней композитной арматурой. Колонны нагружали продольной силой с большим эксцентриситетом, что позволило получить растянутую зону в поперечном сечении с образованием нормальных к сечению трещин. Проведено сравнение трещиностойкости усиленных колонн с колоннами без усиления.

The results of experimental and theoretical investigations of fracture parameters of concrete columns reinforced with external composite

reinforcement were presented. Columns were loaded by longitudinal force with highly eccentric, which allowed to get stretched area in the cross section of columns. By that way we can obtain normal cracks in the cross section of columns. Comparison of fracture of normal and strengthened reinforced concrete columns was made.

Ключові слова:

Залізобетонна колона, композитна арматура, тріщиностійкість, підсилення. Железобетонная колонна, композитная арматура, трещиностойкость, усиления.

Reinforced concrete columns, composite reinforcement, crack, strengthening.

Вступ. В реальних будівлях та спорудах рідко можна зустріти центрально-завантажені колони. А в стиснуто-зігнутих колонах, як правило, з'являється розтягнута частина перерізу, яка при певних величинах ексцентриситету досягає значних розмірів. Граничний стан в таких конструкціях може настати внаслідок досягнення текучості розтягнутої арматури. При виникненні необхідності в підсиленні стиснуто зігнутих колон одним з способів підсилення є збільшення кількості розтягнутої арматури. На даний час для підсилення колон широко використовують залізобетонні чи металеві «обойми», проте вони мають і певні недоліки, особливо в частині технології їх влаштування. Як альтернатива даним методам з'явилися останнім часом пропозиції по застосуванню сучасних легких високоміцних матеріалів для підсилення залізобетонних конструкцій. Один з таких методів – це підсилення з допомогою зовнішньої композитної арматури [1, 2]. Цей метод передбачає встановлення композитної арматури (у вигляді стрічки) на зовнішню розтягнуту грань колони з використанням високоміцного клею, а при необхідності також анкеруючих пристосувань. Особливості сумісної роботи високоміцної стрічки, яка, фактично, не має пластичного деформування, і арматури, в якій є наявна фізична площа текучості, є мало дослідженими і потребують додаткового вивчення. На даний час в Україні проведено окремі дослідження застосування високоміцних композитів для підсилення згинальних елементів [3, 4], практично відсутні дослідження стиснутих та стиснуто-зігнутих елементів [5, 6]. Поруч з параметрами міцності суттєвої зміни зазнає характер та ширина тріщиноутворення підсиленних конструкцій. При теоретичному розрахунку підсиленої конструкції на тріщиностійкість виникає багато ускладнень, що потребують додаткових досліджень, а саме необхідно враховувати вплив на динаміку розкриття і характер поширення тріщин наявність як основного армування так і наклеєної на зовнішню поверхню композитної стрічки.

Мета та завдання дослідження. Виконати порівняння тріщиностійкості нормальних перерізів, при прикладенні навантаження з великим ексцентриситетом, колон підсиленних композитною арматурою та колон без

підсилення, а також порівняти з результатами отриманими теоретичним шляхом.

Теоретичні обґрунтування. Дана робота виконана з дотриманням вказівок чинних норм для дослідження залізобетонних конструкцій. Для розрахунку параметрів тріщиностійкості не підсилених колон використані вказівки чинних норм для проектування залізобетонних конструкцій [7]. Для теоретичного розрахунку підсилених конструкцій використані вказівки чинних норм для проектування сталобетонних конструкцій [8] в поєднанні з вказівками норм для проектування залізобетонних конструкцій [7].

Матеріали і конструкція дослідних зразків. Згідно з програмою експериментальних випробувань було проведено дослідження двох зразків колон підсилених зовнішньою арматурою і двох базових зразків без підсилення. Для зручності було прийнято наступне маркування колон: КЗ – колона звичайна (без підсилення), КПС – колона підсилена зовнішньою композитною стрічкою. Дослідні зразки колон були запроєктовані та виготовлені на заводі залізобетонних виробів «Львівміськбуд». Бетонували їх в інвентарних металевих формах з подальшим вібруванням на вібростолі. Паралельно з бетонуванням колон були виготовлені контрольні зразки кубів та призм, а також відібрані зразки арматури з партії, яку використовували при виготовленні каркасів. Зразки колони прийняті довжиною 2200 мм, шириною 140 мм і висотою 180 мм з консольними виступами для прикладання навантаження з ексцентриситетом. Армуння симетричне арматурою Ø12мм класу А400С по ДСТУ3760:2006, конструктивна і поперечна Ø12мм класу А240С по ДСТУ3760:2006, крок поперечної арматури 75...100 мм. З'єднання арматури у просторовому каркасі виконано в заводських умовах контактним зварюванням. Армуння та розміри дослідної колони вказані на рис. 1.

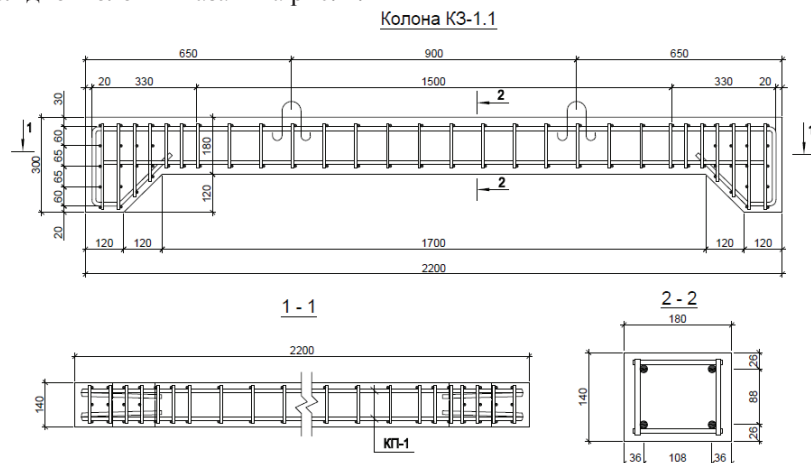


Рис.1 Армуння та розміри дослідної колони.

Дослідні колони підсилювали композитною стрічкою SikaCarboDur шириною 25 мм., яку наклеювали по всій довжині колони за допомогою двохкомпонентного епоксидного клею SikaDur -30. Для запобігання відриву стрічки від бетону чи відриву захисного шару бетону разом із стрічкою застосовано анкерування у вигляді наклеєних на кінцях колони двох шарів композитної тканини SikaWrap-230 C/45 розмірами 150×460 мм., які були наклеєні з допомогою двохкомпонентного епоксидного клею SikaDur-330 (рис.2).

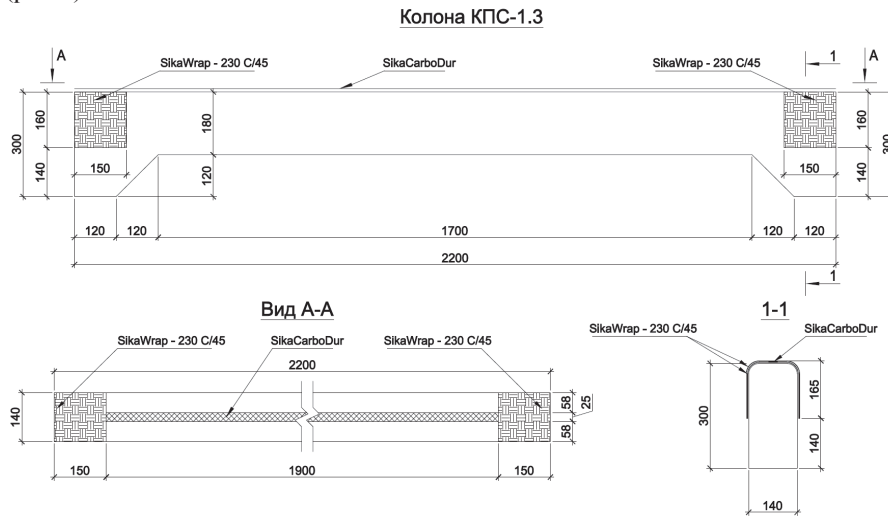


Рис.2 Схема дослідної колони підсиленої композитною арматурою

Методика та результати експериментальних досліджень. Для визначення ефекту від підсилення залізобетонних колон композитною стрічкою спочатку випробували колони без підсилення (зразки КЗ-1.1, КЗ-1.2). Навантаження колони прикладали етапами по 10 кН із витримкою 15 хв. за допомогою гідравлічного домкрата на підготовленому стенді зосередженою силою з ексцентриситетом $e=150$ мм. Під час випробування, на кожному етапі фіксували появу тріщин та визначали їх ширину за допомогою мікроскопа типу МПБ-2. Характер утворення і поширення тріщин показано на рис. 3. Максимальна ширина тріщин становила $w_k=0,25$ мм. для колон КЗ-1.1, КЗ-1.2, що не перевищує максимально допустимих значень. Виникнення тріщини відбулося при навантаженні $N_w=30$ кН.

Зразки колон КПС-1.3 та КПС-1.4 для визначення максимального ефекту, який надає стрічка, підсилювали перед прикладанням навантаження. При випробуванні підсилених колон характер поширення і розкриття тріщин дещо відрізняється (рис. 3), а саме збільшилась кількість тріщин та максимальна ширина їх розкриття. В даному випадку ширина розкриття

тріщин становила $w_k=0,35$ мм., але тріщини не поширювались під наклеєною композитною стрічкою (рис. 4). Необхідно зауважити, що максимальна ширина тріщин зросла, оскільки несуча здатність підсилених колон збільшилася, проте якщо порівнювати тріщини при однаковому рівні навантаження – ширини тріщин в підсилених колонах зменшилася в середньому на 39% (таблиця 1). Одночасно відбулося збільшення величини навантаження при якому виникли тріщини до $N_w=50$ кН.

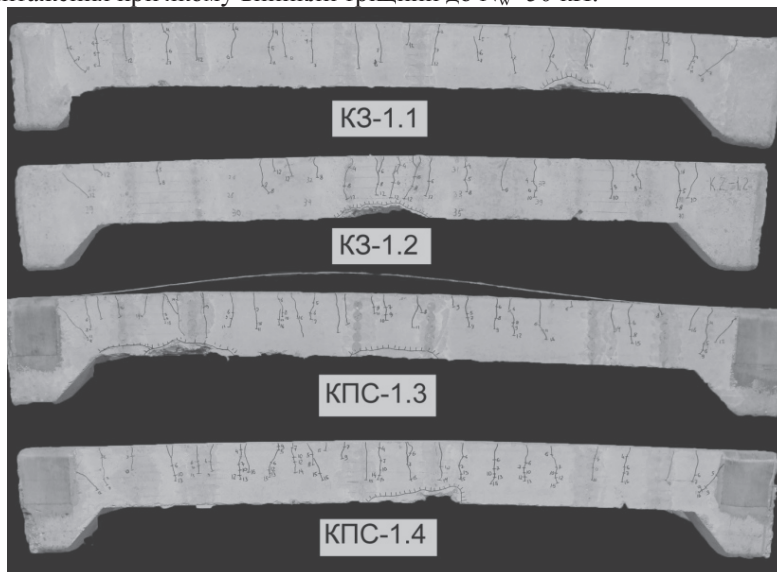


Рис.3 Характер поширення тріщин в дослідних зразках



Рис.4 Характер поширення тріщин біля композитної арматури

Таблиця 1.

Порівняння основних параметрів тріщиностійкості підсилених і
непідсилених колон згідно експериментальних даних

Стискаюче навантаження, кН	Ширина розкриття тріщин w_k для зразків колони, мм				Ефект від підсилення, %
	КЗ-1.1	КЗ-1.2	КПС-1.3	КПС-1.4	
0	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
40	0,05	0,05	-	-	100
60	0,10	0,10	0,05	0,05	50
80	0,10	0,15	0,05	0,10	33
100	0,15	0,20	0,10	0,10	33
120	0,25	0,25	0,15	0,15	40
140	-	-	0,20	0,20	-
160	-	-	0,25	0,35	-

Порівнюючи дані експериментальних досліджень підсилених та не підсилених зразків колон можна зробити висновок що покращилися усі параметри тріщиностійкості колон (ширина розкриття та навантаження при якому були зафіксовано появу перших тріщин). Також одним з важливих ефектів від застосування стрічки є те, що вона ділянку з максимальною шириною тріщин переносить вглиб перерізу від зовнішньої грані, а це знижує інтенсивність можливого впливу агресивних середовищ на конструкцію через тріщини.

Методика та результати теоретичного розрахунку. Для оцінки тріщиностійкості конструкції визначимо ширину розкриття тріщин при певному навантаженні. Розрахунок за утворенням тріщин залізобетонних елементів за граничними зусиллями виконують з умови (1), згідно з якою зусилля S від зовнішніх навантажень у перерізі не повинне перевищувати граничного зусилля $S_{w,ult}$, яке може сприйняти залізобетонний елемент перед утворенням тріщин (згідно пункту 7.3.3.2 [7]):

$$S \leq S_{w,ult} \quad (1)$$

Розрахунок залізобетонних елементів за утворенням нормальних та похилих тріщин виконують за граничними зусиллями або за нелінійною деформаційною моделлю (згідно п.7.3.3.1 [7]). Розрахунок за розкриттям тріщин виконують з умови, коли ширина розкриття тріщин від зовнішнього навантаження w_k не повинна перевищувати граничного допустимого значення розкриття тріщин $w_{k,lim}$:

$$w_k \leq w_{k,lim} \quad (2)$$

Гранично допустимі значення розкриття тріщин для ненапружених залізобетонних конструкцій не повинні перевищувати 0,4 мм.; для конструкцій, які експлуатуються в агресивних середовищах – 0,3 мм. Для визначення розкриття тріщин в конструкції використаємо формулу 7.3 [7] :

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{ctm}) \quad (3)$$

де $s_{r,max}$ - максимальний крок між тріщинами, ϵ_{sm} - середні деформації в арматурі, ϵ_{ctm} - середні деформації розтягу бетону між тріщинами. Результати обчислень наведені в таблиці 2. Необхідно зауважити, що визначення ширини тріщин проводили нарівні розташування розтягнутої арматури.

Таблиця 2.

Порівняння ширини розкриття тріщин дослідних колон згідно теоретичного розрахунку

Стискаюче навантаження, кН	Ширина розкриття тріщин w_k для зразків колон, мм		Ефект від підсилення, %
	не підсилених	підсилених	
0	-	-	-
20	0,02	0,01	50
40	0,04	0,03	33
60	0,10	0,07	30
80	0,13	0,09	31
100	0,20	0,16	20
120	0,27	0,19	30
140	0,34	0,23	32
160	-	0,32	-

Аналізуючи результати теоретичного розрахунку можна зробити висновок про підвищення тріщиностійкості підсиленних колон в середньому на 32%. Теоретичний ефект від підсилення підтвердили результати експериментальних досліджень, за якими він склав в середньому 39%. Такий ефект спричинений наявністю в розтягнутій зоні композитної стрічки, яка збільшила армування зони розтягу і, як наслідок, зменшила ширину розкриття тріщин.

Висновки.

1. При підсиленні колон композитною арматурою ширина розкриття тріщин зменшилася в середньому на 39% згідно експериментальних досліджень та на 32% згідно теоретичного розрахунку.
2. Навантаження позацентрового стиску, що відповідає утворенню тріщин зросло в середньому з 30кН до 50 кН.
3. Композитна стрічка проявляє відчутний стримуючий ефект – тріщини під стрічкою не розкриваються, ділянки з максимальною шириною тріщин переносяться вглиб перерізу від зовнішньої грані, що також знижує інтенсивність можливого впливу агресивних середовищ на конструкцію через тріщини.

1. 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. 2. 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. 3. Кваша В.Г. Експериментальне дослідження залізобетонної мостової балки за ТП вип. 56, підсиленої композитною стрічкою з вуглецевих волокон CFRP / І.В. Мельник, М.Д. Климуш // Зб. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 62. – К., 2001. – С. 267–271. 4. Мельник І.В. Міцність і деформативність залізобетонних балок підсиленних конструкційними композитами при різних умовах попереднього навантаження / Р.З. Добрянський, А.Я. Мурич // Зб. наук. Праць "Будівельні конструкції" – Вип. 56. – К., 2005, – С. 121–129. 5. Benzaid R., Mesbah. H.A. Strenght model for square concrete coloms confined by external CFRP sheets (2013) Structural Engineering and Mechanics, 46 , pp. 111-135. 6. Gajdosova, K., Bilcik, J. Full-scale testing of CFRP-strengthened slender reinforced concrete columns (2013) Journal of Composites for Construction, 17 , pp. 239-248. 7. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції, Мінбудрегіон України К., 2011. 8. ДБН В.2.6-160:2010 Сталезалізобетонні конструкції, Мінбудрегіон України, К., 2010. 9. Хаяутин Ю.Г., Чернявський В.Л., Аксельрод Е.З. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. - М., 2006 – 48с..