

УДК 624.07

ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ЗОВНІШНЬОЮ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ

*А. Мурин, асистент, Т. Приставський, інженер
Р. Канафоцький, Н. Давидовський
Національний університет "Львівська політехніка"*

Ключові слова: залізобетонні балки, зовнішня композитна арматура, підсилення, тріщиностійкість.

Подано результати досліджень тріщиноутворення залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою. Запропоновано методику розрахунку тріщиноутворення підсилених балок, що базується на чинних нормах проектування. Порівняно експериментальні та розрахункові значення моментів тріщиноутворення.

Постановка завдання. Для збільшення міцності, жорсткості та тріщиностійкості конструктивних балкових елементів сьогодні широко використовують підсилення залізобетонних конструкцій фіброармованими пластиками, які наклеюють в зонах максимального розтягу на поверхні конструкцій як додаткове зовнішнє армування [; ; ; -].

Для згинаних елементів, підсилених наклеєними високоміцними композитними стрічками, закономірності та специфічні особливості роботи під навантаженням є суперечливі, а загалом проблему поведінки нормальних перерізів, в яких у розтягнутій зоні сумісно працює звичайна арматура з фізичною межею плинності і високоміцна стрічка практично без пластичного деформування, досліджено недостатньо. Створення для таких перерізів розрахункових моделей при розрахунку їх тріщиностійкості становить певні труднощі і невизначеності. Характер тріщиноутворення та динаміка розкриття тріщин цих досить складних за структурою перерізів комплексного типу є важливою проблемою, яка має практичне значення і потребує ретельного дослідження. Очевидно, що на показники тріщиностійкості впливають параметри елементів підсилення, у т.ч. відсоток армування зовнішньою композитною арматурою.

Утворення і розвиток тріщин традиційно вважають однією з основоположних проблем залізобетону, яка існує від початку його

застосування. Як встановлено багатьма дослідженнями [; -; -], процес тріщиноутворення охоплює три етапи: виникнення тріщин, коли вони можуть бути ще невидимими; поява (утворення) тріщин, коли вони стають візуально видимими (при розкритті 0,02...0,03 мм); та розкриття тріщин залежно від інтенсивності й характеру зовнішнього навантаження. Однак, як підтверджують експериментальні дослідження [; ; -], у згинаних елементах із відсотком армування $\mu_s > 1,5...2,0\%$ проміжок збільшення навантаження між появою і візуальним виявленням (виникненням) тріщин є незначним, тому можна розглядати два етапи тріщиноутворення – утворення та розкриття тріщин, що й прийнято в наших експериментальних дослідженнях при фіксуванні тріщиноутворення в невідсилених і відсилених балках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні експериментальні дослідження залізобетонних балок, відсилених зовнішньою композитною арматурою, проводять у багатьох країнах світу: США, Японії, Німеччині, Швейцарії, Польщі, Україні, Росії тощо [-; 5-; -]. Аналіз наявних публікацій показує, що здебільшого вивчають параметри міцності та прогин, значно менше даних є щодо деформацій та параметрів тріщиностійкості відсилених згинаних залізобетонних конструкцій унаслідок складного напружено-деформованого стану таких конструкцій.

У праці В. Г. Кваші та С. М. Стечишина [] описано особливості тріщиноутворення в мостових балках таврового перерізу з багаторядковою зварною арматурою.

Однією з останніх спроб описати тріщиностійкість залізобетонних балок, відсилених фіброармованими пластиками, є робота В. Глодковської та М. Сташевського [], проведена на кафедрі бетонних конструкцій Кошалінської політехніки. Автори провели експериментальні дослідження двох серій залізобетонних балок, відсилених зовнішньою стрічкою на основі вуглецевих волокон.

У дослідженні наведено експериментальні значення моментів тріщиноутворення та теоретичні, визначені за рекомендаціями fib [].

Для балок типу W-I теоретичний момент тріщиноутворення становив $M_{crc}^0 = 4.57 \text{ кНм}$ і був меншим від експериментального $M_{crc}^e = 5.85 \text{ кНм}$; для балок типу W-II теоретичний момент тріщиноутворення становив $M_{crc}^0 = 3.85 \text{ кНм}$ і був меншим від експериментального $M_{crc}^e = 6.53 \text{ кНм}$. Відносна похибка обчислень – відповідно -22% та -41%, що засвідчує про можливість використання рекомендацій [] для розрахунку моменту тріщиноутворення відсилених згинаних залізобетонних конструкцій.

Постановка завдання. Мета нашого дослідження полягає у розробленні розрахункового апарату для визначення тріщиностійкості

залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою, та порівнянні основних результатів експериментальних і теоретичних досліджень.

Виклад основного матеріалу. За основу для розрахунку тріщиностійкості підсилених залізобетонних балок прийняті чинні норми проектування [1] з урахуванням підсилення зовнішньою композитною арматурою.

Для проведення експериментальних досліджень була виготовлена серія залізобетонних балок довжиною 2100 мм, шириною 120 мм і висотою 220 мм (рис. 1). Детально конструкція балок описана у [2].

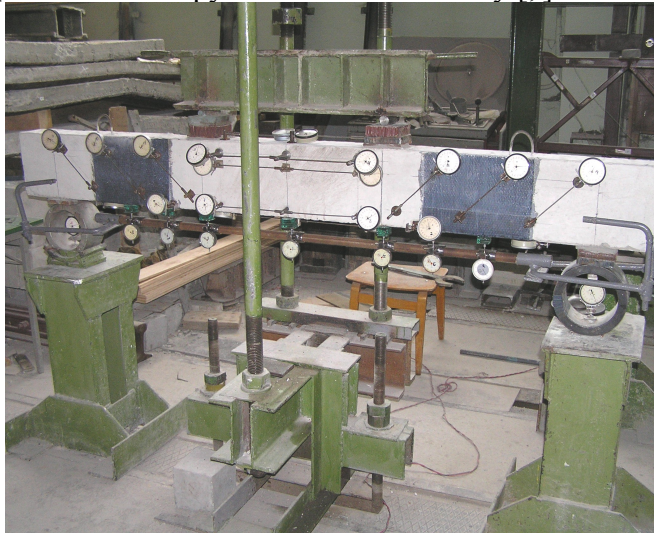


Рис. 1. Конструкція випробувального стенда, розташування вимірювальних приладів на експериментальному зразку.

Прийнято такі умовні позначення: Б – балка; П – підсилена; перша цифра – порядковий номер балки (1...8); друга цифра вказує на ширину стрічки підсилення (у частці до базової стрічки шириною 50 мм: 1 – 50 мм (1); 2 – 25 мм (1/2); 3 – 16,7 мм (1/3); 4 – 12,5 мм (1/4).

За розрахункову модель прийнята залізобетонна балка з одиничним армуванням, на розтягнуту грань якої наклеєна композитна арматура у вигляді стрічки.

Для згинаних залізобетонних елементів зусилля, що сприймаються нормальними до поздовжньої осі перерізами при утворенні тріщин, визначаються, виходячи з таких положень:

- перерізи після деформації залишаються плоскими;

- ордината центру ваги зовнішньої композитної арматури збігається з найближчою гранню балки;
- найбільше відносне подовження крайнього розтягнутого волокна бетону дорівнює $2 R_{bt,ser}/E_b$;
- напруження в бетоні стиснутої зони визначаються з урахуванням пружних або непружних деформацій бетону;
- напруження в бетоні розтягнутої зони розподілені рівномірно і рівні за значенням $R_{bt,ser}$.

Момент тріщиноутворення M_{crc} згинаних залізобетонних конструкцій, підсилених зовнішньою композитною арматурою, визначається за формулою

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl}, \quad (1) \quad -$$

де $R_{bt,ser}$ – розрахункові опори бетону осьовому розтягу для граничних станів другої групи;

W_{pl} – момент опору зведеного перерізу для крайнього розтягнутого волокна (з урахуванням непружних деформацій розтягнутого бетону); визначають за формулою

$$W_{pl} = \frac{2(I_{b0} + \alpha_s I_{s0} + \alpha_f I_{f0})}{h - x} + S_{b0}, \quad (2) \quad -$$

де I_{b0} , I_{s0} , I_{f0} – моменти інерції площі перерізу стиснутого бетону, розтягнутої внутрішньої арматури та розтягнутої зовнішньої композитної арматури відносно нейтральної осі;

h – висота балки;

x – висота стиснутої зони бетону;

S_{b0} – статичний момент стиснутої зони бетону відносно нейтральної осі;

α_s , α_f – коефіцієнти зведення площі перерізу внутрішньої сталеві та зовнішньої композитної арматури до бетону:

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_b}, \quad \alpha_f = \frac{E_f}{E_b}, \quad (3) \quad -$$

де E_s , E_f , E_b – модулі пружності відповідно внутрішньої сталеві, зовнішньої композитної арматури та бетону.

Положення нульової лінії x визначається з умови рівності нулю суми проєкцій всіх сил на поздовжню вісь балки:

$$S_{b0} - \alpha_s S_{s0} - \alpha_f S_{f0} = \frac{(h-x) A_{bt}}{2}, \quad (4) \quad -$$

де S_{b0} , S_{s0} , S_{f0} – статичні моменти стиснутої зони бетону, розтягнутої внутрішньої арматури та розтягнутої зовнішньої композитної арматури відносно нейтральної осі;

A_{bt} – площа розтягнутої зони бетону відносно нейтральної осі.

Результати експериментальних досліджень. Під час експериментальних випробувань на кожному етапі навантаження фіксували утворення тріщин та їх ширину розкриття за допомогою мікроскопа МПБ-3 (рис. 2).



Рис. 2. Візуальне спостереження за утворенням і розвитком тріщин.

Перші видимі тріщини в експериментальних балках були зафіксовані в зоні чистого згину в діапазоні згинальних моментів 3,0...9,8 кН м. Точніше найміовірніший згинальний момент утворення тріщин на рівні нижнього ряду арматури знаходили за методикою, вперше застосованою в роботі [] та продовженою у роботах [;], через лінійну графічну інтерполяцію графіків деформацій внутрішньої сталеві арматури на ділянці між попереднім і наступним ступенями навантаження, в діапазоні яких були виявлені видимі тріщини (рис. 3).

Відхилення теоретичних значень моменту утворення тріщин від експериментальних становлять -8,5...+10,8%, що є задовільним для проведення інженерних розрахунків.

Таблиця 1.

Момент тріщиноутворення експериментальних балок

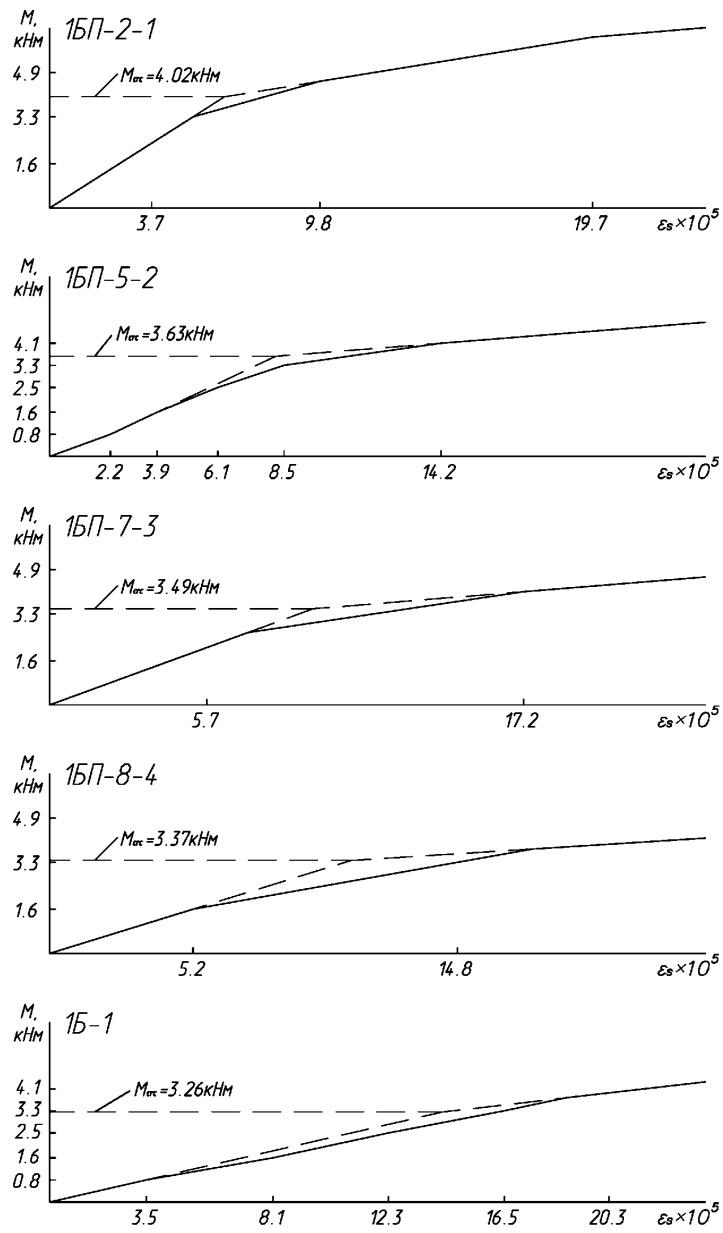


Рис. 3. Моменти тріщиноутворення експериментальних балок, визначені графічним методом.

Висновки. Запропонована методика розрахунку тріщиностійкості залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою, на основі чинних норм проектування залізобетонних конструкцій України. Похибка обчислень становить $-8,5...+10,8\%$, що забезпечує достатню точність для інженерних розрахунків.

Бібліографічний список

1. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures : technical report fib, bulletin. – 2001. – № 14. – 130 p.
2. Glodkowska W. Zarysowanie belek zelbetowych wzmacnionych tasmami z wlokien weglowych / W. Glodkowska, M. Staszewski // Problemy naukowo-badawcze budownictwa : VI Badawczo-projektowe zagadnienia w budownictwie. – Bialystok : Wydawnictwo Politechniki Bialostockiej, 2008. – S. 171-178.
3. Meier U. Strengthening of Structures with CFRP Laminates / U. Meier, K. Kaiser // Advanced Composite Materials in Civil Engineering Structures, Proceedings of the Specialty Conference (ASCE). – Las Vegas, Nevada, 1991. – P. 224-232.
4. Боярчук Б. А. Міцність, тріщиностійкість та деформації залізобетонних конструкцій при різних способах підсилення розтягнутої зони : дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук : 05.23.01 / Богдан Аркадійович Боярчук. – Луцьк, 2003. – 159 с.
5. Кваша В. Г. Міцність і деформативність залізобетонних мостових балок, посилені неметалевою арматурою CFRP / [В. Г. Кваша, І. В. Мельник, М. Д. Климпуш та ін.] // Актуальні проблеми будівництва та інженерії доквілля : матеріали VI Міжнар. наук. конф. – Львів, 2001. – С. 223-230.
6. Кваша В. Г. Експериментальні дослідження і розрахунок витривалості, жорсткості і тріщиностійкості згинальних залізобетонних елементів при багаторазових навантаженнях / В. Г. Кваша, В. В. Левчич, І. В. Мельник // Проблеми теорії та практики будівництва : ювілейна наук. техн. конф. до 150-річчя Львівської політехніки. – Т. 1. – Львів, 1994. – С. 131-141.
7. Кваша В. Г. Особливості тріщиноутворення в мостових балках з багаторядковою зварною арматурою / В. Г. Кваша, С. М. Стечишин // Вісник Державного університету "Львівська політехніка" : теорія і практика будівництва. – 1998. – № 360. – С. 81-89.
8. Мурашев В. И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона / В. И. Мурашев. – М. : Машстройиздат, 1950. – 268 с.
9. Мурин А. Я. Міцність залізобетонних балок при різних процентах підсилення зовнішньою композитною арматурою / А. Я. Мурин // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" : теорія і практика будівництва. – 2007. – № 600. – С. 244-250.
10. Мурин А. Я. Міцність нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою / А. Я. Мурин // Вісник національного університету "Львівська політехніка" : теорія і практика будівництва. – 2008. – № 627. – С. 155-158.
11. Мурин А. Я. Дослідження роботи залізобетонних балок, підсилених наклеюванням композитної арматури / А. Я. Мурин, Р. З. Добрянський // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2005. – № 2005-4(52). – С. 254-257.
12. Немировский Я. М. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с учетом работы растянутого бетона над трещинами и

пересмотр на этой основе теории расчета деформаций и раскрытия трещин / Я. М. Немировский // Сборник научных трудов : прочность и жесткость железобетонных конструкций. – 1968. – С. 15-173.

13. Петрова К. В. Образование трещин в обычных изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементах при кратковременном действии нагрузки / К. В. Петрова, О. И. Кочетков // Сборник научных трудов : новое в технологии и конструировании бетонных и железобетонных конструкций. – М. : Стройиздат, 1966. – С. 95-101.

14. Рокач В. С. Процесс образования трещин в обычных и предварительно напряженных железобетонных изгибаемых элементах / В. С. Рокач, В. П. Чайка // Вестник Львовского политехнического института : вопросы современного строительства. – 1968. – № 25. – С. 10-16.

15. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01-84*. – Офиц. изд. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, – 1989. – 80 с. – (Строительные нормы и правила).

Мурин А., Приставский Т., Канафоцкий Р., Давыдовский Н. Трещиностойкость нормальных сечений железобетонных балок, усиленных внешней композитной арматурой

Описаны результаты исследований трещиностойкости железобетонных балок, усиленных внешней композитной арматурой. Предложена методика расчета трещиностойкости усиленных балок, которая базируется на действующих нормах проектирования. Сопоставлены экспериментальные и расчетные значения моментов трещинообразования.

Ключевые слова: железобетонные балки, внешняя композитная арматура, усиление, трещиностойкость.

Muryn A., Prystavskyy T., Kanafotskiyy R., Davydovskyy N. Crack-resistance of normal cuts of RC beams, strengthened with CFRP reinforcement.

The results of investigations of cracking of reinforced-concrete beams, strengthened an external composite reinforcement are given in this paper. The method of calculation of cracking of the strengthened beams is offered, that is based on the operating norms of planning. The experimental and calculation values of cracking moment are confronted.

Key words: reinforced concrete beams, external composite reinforcement, strengthening, crack-resistance.