

УДК 624.012.45

аспірант Вегера П.І., к.т.н. доц. Хміль Р.Є., д.т.н. проф. Бліхарський З.Я.,  
Національний університет «Львівська політехніка» м. Львів

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПІДСИЛЕНИХ СИСТЕМОЮ FRCCM

*В даній статті наведено результати експериментальних досліджень напружено деформованого стану похилих перерізів залізобетонних балок підсиленних шляхом наклеювання PBO тканини полімерним цементним розчином. Підсилення залізобетонних балок відбувається без та з різними рівнями початкового навантаження*

*Ключові слова: залізобетонні балки, похилі перерізи, композитні матеріали, FRCCM.*

*In this paper results of experimental investigation of stress strain state of inclined cross section of reinforced concrete beams strengthening sticking PBO materials by polymer cement mortar are presented. RC beams reinforced without and with different levels of initial load.*

*Keywords: reinforced concrete beams, inclined cross section, composite materials, FRCCM.*

### Постановка проблеми

З розвитком науки і техніки для підсилення конструкцій все ширше пропонується використання сучасних композитних матеріалів. Такі матеріали мають ряд переваг над традиційними матеріалами, котрі використовуються для підсилення: високі характеристики міцності та деформативності, низька власна вага, невелика трудомісткість при монтажі. Дослідження методів підсилення та параметрів напружено деформованого стану залізобетонних конструкцій, котрі підсилені такими матеріалами є актуальним питанням, яке широко досліджується не тільки в Україні, але і в Європі. Значна частин досліджень стосується підсилення нормальних перерізів залізобетонних балок [1, 2], проте мало уваги приділено похилим перерізам, підсиленим композитними матеріалами. А таке застосування FRCCM матеріалів на нашу думку теж має перспективи.

## Мета досліджень

Встановлення ефективності підсилення похилих перерізів залізобетонних балок підсилених системою FRCM, в тому числі за дії навантаження різного рівня.

## Матеріали та конструкція зразків

Для виконання поставлених завдань було запроєктовано та виготовлено 5 дослідних взірців, розмірами поперечного перерізу 200x100 мм. та довжиною 2100 мм. Робоча розтягнута арматура прийнята класу А400С Ø22 мм, стиснута арматура - А400С Ø12 мм. Поперечне армування - А240С Ø 8 розташоване в приопорних зонах з кроком 100 мм (рис. 1).

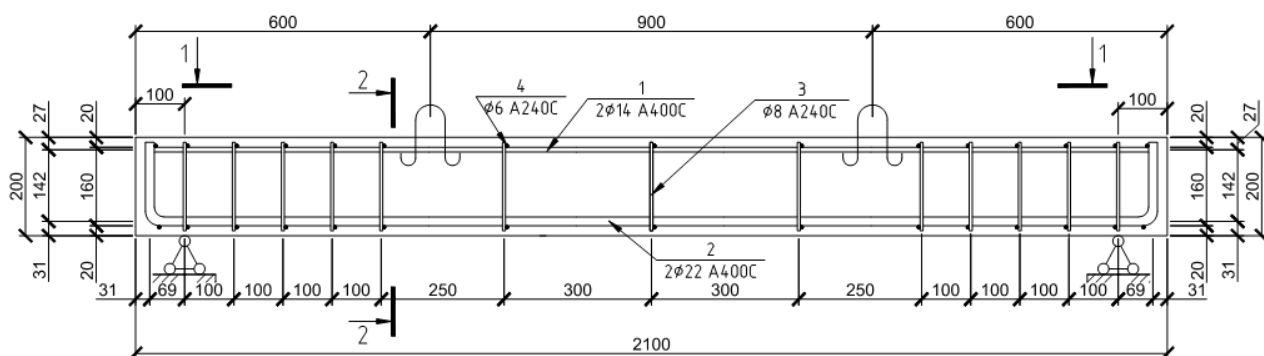


Рис. 1. Геометричні розміри та армування дослідних взірців.

Усі дослідні взірці запроєктовано з умов забезпечення міцності нормальних перерізів [3, 4]. При цьому міцність похилих перерізів дослідних взірців є недостатньою, для отримання руйнування похилих перерізів в усіх взірцях.

## Експериментальні дослідження

Випробування похилих перерізів проходило з застосуванням методики досліджень викладеної раніше [5]. На похилому перерізі розміщували індикатори годинникового типу під кутом 45° до осі балки (рис. 2). Елемент підсилення - FRCM тканину влаштовували у вигляді обойми внаслідок наклеювання на всі чотири грані балки, що забезпечило її надійне зчеплення з

поверхнею. Підсилення похилих перерізів виконували з допомогою смужок тканини шириною 70 мм. наклеєних з кроком 100 мм. (рис. 3). Вимірювання деформацій елемента підсилення проводили в поздовжньому напрямку за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу (рис. 3).

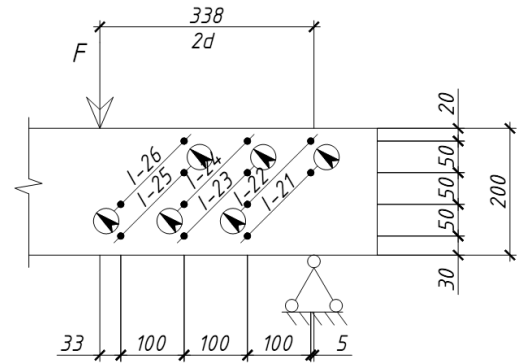
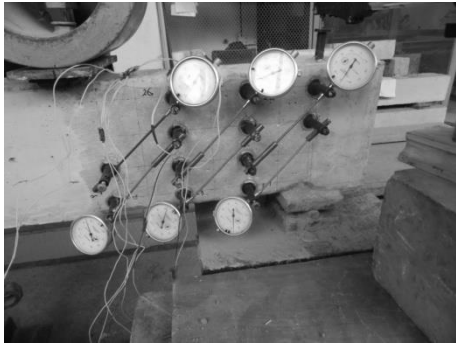


Рис. 2. Схема розміщення приладів в приопорній зоні.

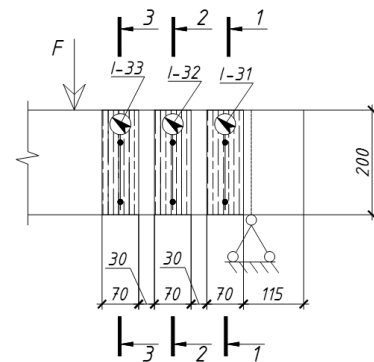
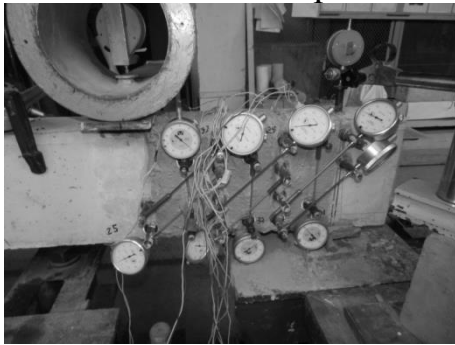


Рис. 3. Похилий переріз підсилений системою FRCM з розташованими вимірювальними приладами.

Підсилення похилих перерізів залізобетонних балок проводили при наявності початкового навантаження, а саме 0,3, 0,5, 0,7 від несучої здатності похилого перерізу контрольної не підсиленої залізобетонної балки.

Для балок прийнято наступне маркування: БЗ – балка випробувана без підсилення ("звичайна"), БПК – балка підсилена композитними матеріалами, перша цифра - номер серії, друга цифра – номер зразка, після тире зазначено рівень навантаження від несучої здатності контрольних взірців, при якому відбувалось підсилення (0,3; 0,5 або 0,7). Додатково для ідентифікації дослідних перерізів в кожній балці використано третю цифру (1 або 2).

## Результати експериментальних досліджень

За результатами експериментальних досліджень було встановлено максимальне збільшення на 19% несучої здатності похилого перерізу залізобетонних балок, підсилених без наявності попереднього навантаження (див. табл.1).

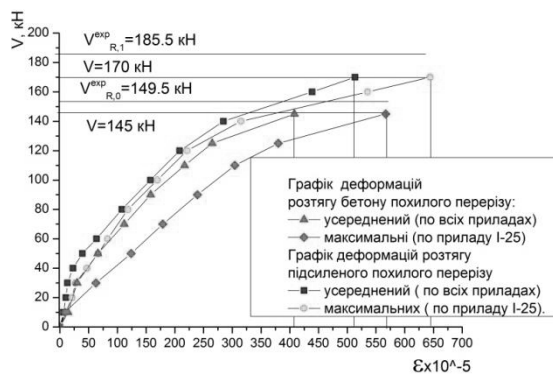
Табл. 1.

Результати експериментальних досліджень несучої здатності похилих перерізів.

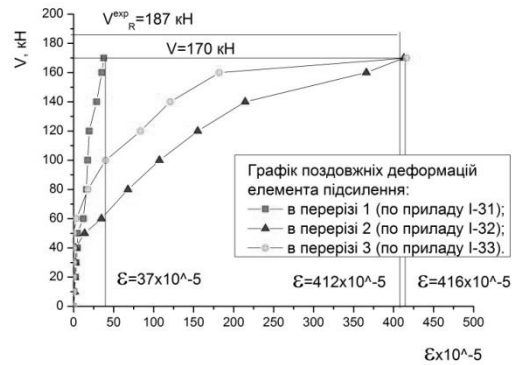
Тип дослідної балки	№ похилого перерізу	Клас бетону, МПа	Відносний проліт зрізу a/d	Несуча здатність з.б. балки на зріз, кН	Середнє значення несучої здатності, кН	Ефект підсилення, %
БЗ 2.1	БЗ 2.1.1	С32/40	2	152	149,5	-
	БЗ 2.1.2			147		
БПК 2.1	БПК 2.1.1			187	185,5	19
	БПК 2.1.2			184		
БПК 2.2-0,3	БПК 2.2.1-0,3			181	180	17
	БПК 2.2.2-0,3			179		
БПК 2.3-0,5	БПК 2.3.1-0,5			176,5	178,25	16
	БПК 2.3.2-0,5			180		
БПК 2.4-0,7	БПК 2.4.1-0,7	169	171	13		
	БПК 2.4.2-0,7	173				

Аналізуючи дані наведені в табл. 1 можна зробити висновок що несуча здатність похилих перерізів балок підсилених системою FRCM зменшується з збільшенням рівня навантаження при якому відбувалося підсилення. Зокрема падіння ефекту підсилення складає з 19% до 13% в залежності від величини діючого на час підсилення рівня навантаження.

Результати заміру деформацій розтягу бетону похилих перерізів залізобетонних балок наведено на графіках (рис 4а...7а). Максимальні відносні деформації розтягу бетону похилого перерізу залишились в тих самих межах – близько  $600...700 \times 10^{-5}$  (табл.2), проте слід зауважити, що несуча здатність похилого перерізу підсилених балок зросла (табл. 1).



а



б

Рис.4. Характерні графіки деформацій бетону (а) та елемента підсилення (б) похилого перерізу на прикладі балки БПК 2.1.1

Приріст деформацій розтягу похилого перерізу зменшився, спостерігається стримування розвитку деформацій після застосування FRCM тканини, що призводить не до крихкого руйнування, а до пластичного руйнування балки - без відколювання частин бетону. Це сприяє додатковій безпеці людей, що можуть опинитися у зоні руйнування балок.

Табл. 2.

Результати експериментальних досліджень деформативності похилих перерізів.

Тип дослідної балки	№ похилого перерізу	Середнє значення деформації розтягу по всіх приладах	Усереднене значення середніх деформацій розтягу по всіх приладах	Деформації розтягу похилого перерізу (прилад І-25)	Середнє значення деформації розтягу	Максимальні деформації розтягу елемента підсилення	Усереднене значення деформацій елемента підсилення
БЗ 2.1	БЗ 2.1.1	408	504	567	605	-	-
	БЗ 2.1.2	600		643			
БПК 2.1	БПК 2.1.1	513	525	644	664	416	423,5
	БПК 2.1.2	537		684		431	
БПК 2.2-0,3	БПК 2.2.1-0,3	513	554	544	562	593	569
	БПК 2.2.2-0,3	595		580		545	
БПК 2.3-0,5	БПК 2.3.1-0,5	577	546	778	711	369	380
	БПК 2.3.2-0,5	514		645		391	
БПК 2.4-0,7	БПК 2.4.1-0,7	559	620	618	656	225	195
	БПК 2.4.2-0,7	680		693		165	

Деформації елемента підсилення є максимальні при рівні підсилення 0,3 від несучої здатності похилого перерізу залізобетонної балки ( $\epsilon = 569 \times 10^{-5}$ , рис. 4,б).

Такий ефект пов'язаний з включенням в роботу системи підсилення перед розкриттям похилої тріщини. Із збільшенням рівня діючого на час підсилення навантаження максимальні деформації елемента підсилення зменшилися від  $\varepsilon=569 \times 10^{-5}$  до  $\varepsilon=195 \times 10^{-5}$  (табл. 2).

### Висновки

1. Система FRCM зменшує інтенсивність приросту деформацій, збільшуючи несучу здатність похилого перерізу залізобетонних балок.
2. Найбільшого ефекту підсилення похилих перерізів було досягнуто при підсиленні балок без наявності початкового навантаження – на 19%.
3. З збільшенням рівня початкового навантаження ефект підсилення похилих перерізів зменшується від 19% до 13%.
4. Відмічено зміну від крихкого до пластичного характеру руйнування похилого перерізу залізобетонної балки підсиленої FRCM тканиною.
5. Із збільшенням рівня початкового навантаження знижується ефективність використання елемента підсилення – максимальні деформації зменшуються від  $569 \times 10^{-5}$  до  $195 \times 10^{-5}$ .

### Література

1. Борисюк О.П. Міцність жорсткість та тріщиностійкість нормальних перерізів залізобетонних балок підсиленних композитними матеріалами. /О.П. Борисюк, О.П. Конончук О.П. // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) ПолтНТУ. – 2012. – Вип.2(32),т.2. – С. 1-10. 2. Конончук О.П. Результати експериментальних досліджень залізобетонних балок підсиленних композитними матеріалами /О.П. Конончук // Ресурсоекономні матеріали будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – 2012. – Випуск 23. – С. 479–486. 3. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону.: ДСТУ Б.В.2.6-156:2010. - [чинний від 2011-06-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118с. - (Національний стандарт України). 4. Бетонні та залізобетонні конструкції.: ДБН В.2.6-98:2009. – [чинний від 2011-06-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – (Національний стандарт України). 5. Вегера П.І. Оптимізація методики експериментальних досліджень похилих перерізів залізобетонних балок /П.І. Вегера, Р.С. Хміль, Бліхарський З.Я. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва. – Львів,2015. - №823. С.38-43.