

УДК 624.016

**ВПЛИВ ШИРИНИ СТРІЧКИ ПІДСИЛЕННЯ
КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ
КОМПЛЕКСНИХ ЛЕГКОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

С. Бурчєня, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-6903-1134

Львівський національний аграрний університет

М. Дєлявський, д. т. н., професор

ORCID ID: 0000-0001-6952-0870

Технологічно-Природничий Університет у Бидгощі

А. Мури́н, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0001-6912-8262

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://doi.org/10.31734/architecture2019.20.023>

Бурчєня С., Дєлявський М., Мури́н А. Вплив ширини стрічки підсилення композитної арматури на несучу здатність комплексних легкобетонних елементів

Наведено результати дослідження легкобетонних елементів, посилені композитною арматурою різної ширини. Експериментальним шляхом досліджено та порівняно несучу здатність і деформативність комплексних легкобетонних елементів. Для дослідження роботи згинаних комплексних легкобетонних елементів, посилені композитною арматурою різної ширини, було виготовлено чотири дослідні зразки. Усі зразки виготовляли поперечним перерізом 160 x 160 мм, один з яких був непосилений (Б-1), та три посилені композитною арматурою шириною 5 (Б-2п), 10 (Б-3п) та 35 мм (Б-4п). Загальна довжина зразків становила 660 мм.

Дослідження виготовлених комплексних легкобетонних зразків проводили на стенді, розташованому в лабораторії будівельних конструкцій. Дослідні зразки спиралась на дві опори: рухому і нерухому. У тих місцях, де було прикладено навантаження, підставляли металеві деталі, поверх яких розміщували траверсу, кільцевий динамометр для замірів прикладених навантажень, гідравлічний домкрат для створення навантажень та посередині дослідного зразка кріпили індикатор годинникового типу для замірів прогинів.

У результаті проведених експериментальних досліджень найбільший ефект щодо підвищення несучої здатності та зменшення деформативності спостерігали у дослідного зразка Б-2п, який посилювався композитною стрічкою шириною 5 мм. Так, несуча здатність дослідного зразка Б-2п вища у 1,76 раза порівняно із зразком Б-3п, у 1,27 раза порівняно із зразком Б-4п, та у 1,87 раза порівняно із непосиленим дослідним зразком Б-1. Найменшу деформативність за однакових рівнів завантаження спостерігали знову ж таки у дослідного зразка Б-2п, який посилювався стрічкою шириною 5 мм.

Найоптимальнішим варіантом підсилення у результаті проведених експериментальних досліджень для дослідних зразків перерізом 160 x 160 мм та довжиною 660 мм, виконаних із газобетонних блоків та обетонованих шлаком керамзитобетону, виявилася стрічка шириною 5 мм.

Ключові слова: композитна арматура, газобетон, керамзитобетон, пролітний елемент, несуча здатність.

Burchenia S., Delivsky M., Muryn A. The influence of width of the ribbon of fibre-reinforced plastic rebar on the bearing capacity of complex lightweight concrete elements

The article presents results of lightweight concrete elements, reinforced with fibre-reinforced plastic rebar of various widths. Bearing capacity and stress-strain behavior of the complex lightweight concrete elements are investigated and compared experimentally. Four experimental samples have been made in order to study bending complex lightweight concrete elements, reinforced with fibre-reinforced with plastic rebar of various widths. All experimental samples were made with a 160x160 mm cross section. One of them was not reinforced (B-1) and three – reinforced with fibre-reinforced plastic rebar of the width of 5 mm (B-2p), 10 mm (B-3p) and 35 mm (B-4p). The total length of the samples was 660 mm.

Examination of the lightweight concrete samples was carried out on a testing bench, located in the laboratory of building structures. Experimental samples were based on two supporting structures: movable and stationary. In the places of applied load, one was fitted to the metal details, and the traverse, the ring dynamometer for measuring of the applied loads, and the hydraulic jack to create loads were placed on the tops of those details, and a clock type indicator for measuring of the deflections was mounted in the middle of the experimental sample.

As a result of the experimental studies, the greatest effect concerning increase of the bearing capacity and reduction of the stress-strain behavior is observed in the experimental sample B-2p, reinforced with a fibre-reinforced plastic ribbon of 5 mm width, so that the bearing capacity of the experimental sample B-2p is 1.76 times higher than the B-2p sample, and 1.27 times higher, as compared to the B-4p sample and 1.87 times higher, as compared to the unexpressed experimental sample B-1. The smallest stress-strain behavior under the same loading rates is observed in the experimental sample B-2p, which has been reinforced by the ribbon of 5 mm width. Comparing the experimental samples for the loading $F = 20.47$ kN, the stress-strain behavior in B-2p is practically the same while comparing to B-3p; it is 1.08 times lower than B-4p and B-1. The most effective version of the reinforcement was secured by the ribbon of 5 mm width due to the experiments, carried out with the tested samples of the section of 160 x 160 mm and the length of 660 mm, made of aerated concrete blocks and monolithic slag of expanded clay concrete.

Key words: fibre-reinforced plastic rebar, aerated concrete, expanded clay concrete, span element, bearing capacity.

Постановка проблеми. Доцільність використання легкобетонних конструкцій та виробів підтверджена низкою досліджень і досвідом будівничих в Україні, Польщі, Німеччині та інших зарубіжних країнах. У багатьох країнах легкобетонні конструкції та вироби широко застосовують у житловому та промисловому будівництві.

Ніздрюваті бетони за своїми міцнісними властивостями належать до крихких бетонів, тож без допоміжних засобів (долучення додаткових елементів, які б працювали в розтягувальних ділянках конструкції) їх важко застосовувати як пролітні згинані конструкції. Проведені дослідження здебільшого стосуються традиційного армування за допомогою металевої арматури [1]. Проте впровадження традиційного армування в легкобетонні елементи вимагає спеціалізованого різального обладнання, тому більшість проблем можна було б вирішити, якби вдалося замінити робочу арматуру таких конструкцій на таку, яка б з легкістю піддавалася обробці. Використання композитної арматури CFK Lamellen та Sika CarboDur для підвищення несучої здатності та зменшення деформативності у легкобетонних конструкціях сьогодні вивчено недостатньо. Тому проведення експериментів щодо використання композитної арматури у легкобетонних елементах має важливе практичне та теоретичне значення у будівництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях В.Г. Кваші [2], А. Я. Мурина [3], Б. М. Ільницького, А.П. Крамарчука [4] та ін. ідеться про використання композитної арматури для підсилення залізобетонних конструкцій. У закордонній практиці дослідження конструкцій, армованих композитами, відображено у працях

U. Meier [5], P. Ritchie [6], M. Shahawy [7], M. Kaminska [8], R. Kotynia, J. Kubichi [9] та ін.

Постановка завдання. Завдання нашого дослідження – експериментальним шляхом дослідити та порівняти несучу здатність і деформативність комплексних легкобетонних елементів, посилені композитною арматурою різної ширини.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження роботи згинаних комплексних легкобетонних елементів, посилені композитною арматурою різної ширини, було виготовлено чотири дослідні зразки поперечним перерізом 160 x 160 мм, один з яких був непосилений (Б-1), та три посилені композитною арматурою шириною 5 (Б-2п), 10 (Б-3п) та 35 мм (Б-4п) (рис. 1, 2). Загальна довжина зразків становила 660 мм.

Виготовлення дослідних зразків складалося з таких технологічних операцій: спершу було виготовлено опалубку, наступним кроком було вирізання із газоблока балкового елемента поперечним перерізом 100 x 100 мм, довжиною 600 мм. Пізніше на низ опалубки вкладали шар шлакобетону – 30 мм, і посередині вкладали шар опалубку шлакобетону вкладали балкові елементи та обетонували шлакобетоном з подальшим ущільненням (рис. 3).

Через 28 днів композитну арматуру Lamellen S50/1,2 розрізали вздовж волокон шириною 5, 10, та 35 мм і довжиною 660 мм, на три комплексні легкобетонні зразки (Б-2п, Б-3п, Б-4п), приклеювали за допомогою клею Resin 220 (рис. 4). Перед наклеюванням композитної арматури виготовлені зразки очищали від пилу та бруду та ґрунтували розчинником.

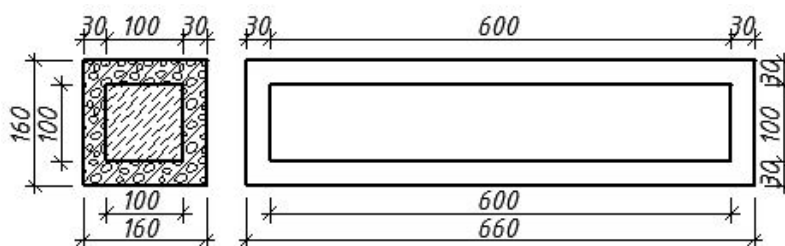


Рис. 1. Комплексна легкобетонна балка без посилення (Б-1)

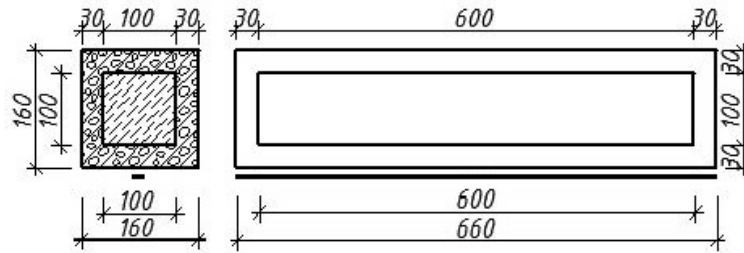


Рис. 2. Комплексна легкобетонна балка, посилена композитною арматурою (Б-2п, Б-3п та Б-4п)



Рис. 3. Укладання шлакобетону



Рис. 4. Приклеювання композитної арматури

Досліджували виготовлені комплексні легкобетонні зразки на стенді, розташованому в лабораторії будівельних конструкцій ЛНАУ. Дослідні зразки спиралась на дві опори: рухому і нерухому. У тих місцях, де було прикладено навантаження, підставляли металеві деталі, поверх яких розміщувались траверса, кільцевий динамометр для замірів прикладених навантажень, гідравлічний домкрат для створення навантажень та посередині дослідного зразка кріпився індикатор годинникового типу для замірів прогинів (рис. 5).

Результати досліджень. Унаслідок проведених експериментальних досліджень було отримано такі результати дослідних зразків: Б-1 зруйнувався за навантаження $F = 21,84$ кН, при цьому навантаженні максимальний прогин становив $f = 1,63$ мм. Вертикальна тріщина, яка

виникла в момент руйнування, зруйнувала зразок крихко, розділивши його на дві частини (рис. 6).



Рис. 5. Загальний вигляд стенду



Рис. 6. Вигляд балки Б-1 після руйнування

Дослідний зразок Б-2п зруйнувався за навантаження $F = 40,95$ кН, та максимальний прогин $f = 4,96$ мм було зафіксовано за навантаження $F = 36,85$ кН. Тріщина була виявлена між опорою та місцем прикладання сили. Зразок зруйнувався некрихко. Композитна арматура під час руйнування дослідного зразка залишилась цілою та не відшарувалася. Схема руйнування зразка показана на рис. 7.

Дослідний зразок Б-3п зруйнувався за навантаження $F = 24,20$ кН, максимальний прогин $f = 1,63$ мм був зафіксований за навантаження $F = 23,2$ кН. Під час руйнування з'явилась тріщина між опорою та місцем прикладання сили, знову ж таки зразок не розпався.

Дослідний зразок Б-4п зруйнувався за навантаження, яке становило $F = 32$ кН, максимальний прогин був зафіксований за навантаження $F = 26,12$ кН і становив $f = 3,4$ мм. У момент руйнування з'явилась вертикальна тріщина між силами, яка і спричинила руйнування, при цьому

композитна арматура не була зруйнована і не відшарувалася (рис. 8).

Для порівняння несучої здатності та деформативності дослідних зразків побудуємо таблицю та графік прогинів (рис. 9).

Як видно з таблиці, із збільшенням ширини композитної стрічки підсилення S & P CFK-Lamellen не збільшилася несуча здатність дослідних зразків. Найвищу несучу здатність спостерігаємо у дослідного зразка Б-2п, який підсилений стрічкою шириною 5 мм. Так, несуча здатність дослідного зразка Б-2п вища у 1,76 раза порівняно із зразком Б-3п, у 1,27 раза порівняно із зразком Б-4п та у 1,87 раза порівняно із непоміченим дослідним зразком Б-1.

Як видно із рис. 9, найменша деформативність за однакових рівнів завантаження спостерігається у дослідного зразка Б-2п, який посилювався стрічкою шириною 5 мм. Якщо порівняти дослідні зразки за навантаження $F = 20,47$ кН, то деформативність у Б-2п порівняно із Б-3п практично однакова; із Б-4п та Б-1 у 1,08 раза нижча.



Рис. 7. Вигляд балки Б-2п після руйнування



Рис. 8. Загальний вигляд Б-4п після руйнування

Максимальне навантаження та прогини, які витримали дослідні зразки

| Дослідний зразок | Навантаження, за якого зруйнувалися дослідні зразки, кН | Навантаження, за якого був зафіксований максимальний прогин | Ширина композитної арматури, мм |
|------------------|---|---|---------------------------------|
| Б-1 | 21,84 | $F = 21,84$ кН $f = 1,6$ мм | - |
| Б-1п | 40,95 | $F = 36,85$ кН $f = 4,96$ мм | 5 |
| Б-2п | 23,20 | $F = 23,2$ кН $f = 1,63$ мм | 10 |
| Б-3п | 32,0 | $F = 26,12$ кН $f = 3,4$ мм | 35 |

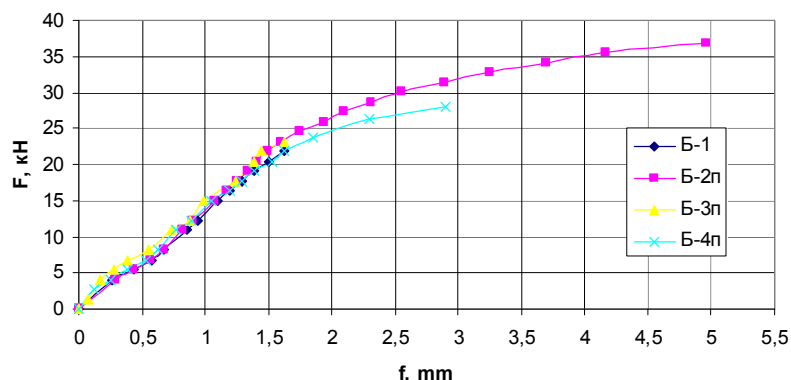


Рис. 9. Залежність прогинів від завантаження

Висновки. На основі проведеного аналізу досліджень легкобетонних згинаних елементів, посиленних композитною арматурою різної ширини, можна дійти таких висновків:

1. Найбільший ефект щодо підвищення несучої здатності та зменшення деформативності спостерігається у дослідного зразка Б-2п, який посилювався композитною стрічкою шириною 5 мм.

2. Збільшення ширини стрічки підсилення не призвело до збільшення несучої здатності та зменшення деформативності дослідних зразків.

3. Найоптимальнішим варіантом для підсилення дослідних зразків перерізом 160 x 160 мм та довжиною 660 мм, виконаних із газобетонних блоків та обетонованих шлаком керамзитобетону, виявилася стрічка шириною 5 мм.

Бібліографічний список

1. Демчина Б. Г., Фамуляк Ю. Є., Бурчєня С. П. Зварна сітка як елемент армування згинаних комплексних елементів із ніздрюватих бетонів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2016. № 17. С. 49-58.

2. Застосування композитів CFRP для підсилення залізобетонних мостів в Україні / В. Кваша та ін. *International Scientific Conference : Current issues of civil and environmental engineering*. Rzeszow, 2004. С. 221-227.

3. Мурин А. Я. Міцність, жорсткість і тріщиностійкість залізобетонних балок, підсиленних зовнішньою композитною арматурою: дис. ... канд. тех. наук. Львів, 2011. 151 с.

4. Ільницький Б., Крамарчук А. Міцність і деформативність залізобетонних балок, підсиленних композитними. *Вісник Львівського національного аграрного університету: архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2009. № 10. С. 63-70.

5. Meier U., Kaiser K. Strengthening of Structures with CFRP Laminates, *Advanced Composite Materials in Civil Engineering Structures Proceedings of the Specialty Conference (ASCE)*, Las Vegas, Nevada, 1991. P. 224-232.

6. Ritchie P., Thomas D., Connelly G. External Reinforcement of Concrete Beams Using Fiber-Reinforced Plastics, *ACI Structural Journal*. 1991. 8 (4). P. 490-500.

7. Shahawy M. Repair of Damaged Pretensioned Solid Slab Using CFRP Laminates, *Proceedings of the Second International RILEM Symposium Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-2)* Ghent, Belgium, 1995, L. Taerwe, ed., 1995. P. 492-500.

8. Kaminska M., Kotynia R. Obliczanie nośności belek wzmocnionych taśmami CFRP XLV *konf. nauk. KILiW PAN i KN PZITB Problemy naukowo-badawcze budownictwa*. Tom 2. Konstrukcje betonowe. Krynica, 1999. S. 87-94.

9. Kybicki J. Badania doświadczalne zarysowanych belek żelbetowych z naklejonymi taśmami kompozytowymi z włókien węglowych *Prace instytutu techniki: kwartalnik*. 2002. № 4 (124). S. 43-59.

Стаття надійшла 07.03.2019.