

11. А. с. 1819154 СССР, МПК В01D46/10. Пылеуловитель / **А.М. Кириченко, А.А. Немченко, В.И. Бережной и др.** - № 4853795/26; заявл. 18.06.1990; опубл. 30.05.1993; бюл. № 20.

12. **Hudyk N.V.** Determination of fiber filter dust collecting efficiency depending on particles distribution of industrial dust / **V.I. Dengub, V.A. Shapovalov, N.V. Hudyk** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015, No. 5. – P. 67-71.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 624.012.454

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., **О.Ю. ЄРЬОМЕНКО**,
М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доценти, **С.О. ВОЛКОВ**, аспірант
Криворізький національний університет

ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ БАЛОК ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ БАЗАЛЬТОВОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ

Мета. Дослідження факторів, які впливають на міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинних конструкцій, армованих композитною арматурою. Визначення шляхів зниження деформативності таких конструкцій.

Методи дослідження. Аналіз наявних відомостей про напружено-деформований стан згинних конструкцій, армованих композитною арматурою.

Наукова новизна. Виконано дослідження сучасних результатів експериментальних випробувань згинних елементів, армованих композитною арматурою. Установлено, що такі конструкції мають підвищену деформативність. Розроблено програму експериментальних випробувань, запроєктовано та виготовлено зразки балок зі змішаним армуванням, а також металевою арматурою та базальтовою арматурою, окремо, для визначення відмінностей їх напружено-деформованого стану.

Практична значимість. Установлено, що композитна арматура не має перешкод для армування згинних конструкцій, виходячи з вимог за першою групою граничних станів. Деформативність та тріщиностійкість таких конструкцій потребує розроблення додаткових конструктивних заходів для задоволення вимог за другою групою граничних станів. Отримано дані про ефективність впливу збільшення відсотка армування перерізу композитною арматурою на зменшення прогинів та збільшення тріщиностійкості.

Результати. Визначено, що згинні елементи, армовані композитною арматурою, мають більшу несучу здатність, але меншу жорсткість порівняно з аналогічними конструкціями, армованими металевою арматурою. З'ясовано, що збільшення міцності бетону приводить тільки до підвищення несучої здатності таких конструкцій і не впливає на показники деформативності. Установлено, що збільшення відсотка армування впливає як на показники міцності, так і на жорсткість (зниження прогинів до 40%) конструкцій, армованих композитною арматурою. Підвищена міцність та хороші антикорозійні властивості дозволяють створювати вироби з високими експлуатаційними характеристиками, підвищувати надійність та довговічність будівель і споруд. З метою дослідження ефективності використання змішаного армування для підвищення експлуатаційних показників балок, армованих базальтовою арматурою, було запроєктовано та виготовлено відповідні зразки балок, розроблено програму їх випробувань.

Ключові слова: композитна арматура, базальтова арматура, змішане армування, балка, міцність, жорсткість.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-158-163

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним із факторів передчасного виходу з ладу залізобетонних конструкцій є корозія арматури. Означена проблема характерна для будь-яких країн світу. За даними звіту, опублікованого федеральною адміністрацією США (FHWA), прямі витрати, пов'язані з корозією металу, у кожному промисловому секторі США складають 276 млрд дол. на рік [1]. Дана ситуація характерна і для нашої країни, особливо для галузей, у яких конструкції експлуатуються в умовах впливу агресивного середовища.

Використання матеріалів, інертних відносно впливу вологи, чи інших чинників, які викликають корозію, є шляхом розв'язання даної проблеми. Такі матеріали отримали назву композитних матеріалів. Промисловість випускає значну номенклатуру виробів із композитів, у яких складі є й арматура. Остання, завдяки високій питомій міцності, легкості, інертності до впливу агресивного середовища, є альтернативою для заміни металевої арматури. У світі використання композитної арматури при будівництві споруд і виготовленні конструкцій відбувається вже понад 20 років.

Композитна арматура виготовляється переважно зі скляного, базальтового або вуглецевого ролінгу та полімерного в'язучого. Зважаючи на високу вартість вуглецевої арматури, надалі у

цій статті вона не розглядається. Базальтова арматура є перспективним виробом, який за вартістю є співставним із металевим прокатом, при цьому механічні властивості такі ж або кращі, ніж у склопластикової арматури [2]. Відомо, що композитна арматура має високу міцність на розтяг, але знижений модуль пружності порівняно зі сталлю. Останній фактор може стати причиною розвитку надмірних деформацій конструкцій армованих композитною арматурою. Зважаючи на те, що в нашій країні існує дуже обмежена кількість відомостей щодо напружено-деформованого стану згинних конструкцій армованих композитною арматурою взагалі і базальтовою зокрема, дослідження міцності та деформативності таких конструкцій є актуальним питанням.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження згинних конструкцій, армованих композитною арматурою, виконуються в широкому обсязі по всьому світу [2...15]. Отримані дані вказують на специфічний характер роботи таких конструкцій, що зумовлено відмінностями властивостей композитної та металевої арматури. Так, композитна арматура має високу міцність порівняно з металевою арматурою, унаслідок чого згинні елементи руйнуються, як правило, за бетоном стиснутої зони. Міцність останньої при цьому й визначає несучу здатність елемента. За даними досліджень [2, 5...8, 10, 14, 15], армування балок композитною арматурою дозволяє збільшити їх руйнівне навантаження на 10...150% порівняно з балками, армованими металевою арматурою. Така розбіжність у значеннях пов'язана з тим, що при "класичному" способі армування, коли конструкція руйнується за розтягнутою арматурою та однаковим відсотком армування перерізу, міцність зразків, армованих композитною арматурою, визначалася міцністю бетону стиснутої зони. Отже, різниця в прирості міцності визначалася різницею в класі бетону, який був застосований в тому чи іншому дослідженні [4, 6, 7, 10, 14, 15].

Крім високої міцності, композитна арматура має модуль пружності в 3...4 рази менший, ніж металева арматура. Проведені дослідження [11, 12] вказують на те, що прогини та ширина розкриття тріщин згинних зразків, армованих композитною арматурою, на 30...70% вищі, ніж у балках, армованих металевою арматурою, при рівні напружень 70% від руйнівних. Такі деформативні характеристики спонукали шукати шляхи підвищення жорсткості згинних конструкцій, армованих композитною арматурою, способом варіації механічних і кількісних характеристик матеріалів балки.

У працях [6, 7, 10, 12] однією зі змінних характеристик була міцність бетону. Було з'ясовано, що зі зростанням міцності бетону збільшується тільки несуча здатність зразків, армованих композитною арматурою, а деформативність залишається на тому ж рівні (рис. 1). Аналіз рис. 1 показує, що підвищення міцності бетону вдвічі майже не вплинуло на прогини балок. Для експлуатаційного рівня навантажень різниця не перевищувала 5%. Відмінність полягала лише в характері тріщиноутворення. У балках, виготовлених з високоміцних бетонів, виникала значно менша кількість тріщин порівняно з балками на бетонах меншої міцності. При цьому, ширина розкриття та висота розвитку тріщин була більшою в зразках на бетонах високої міцності.

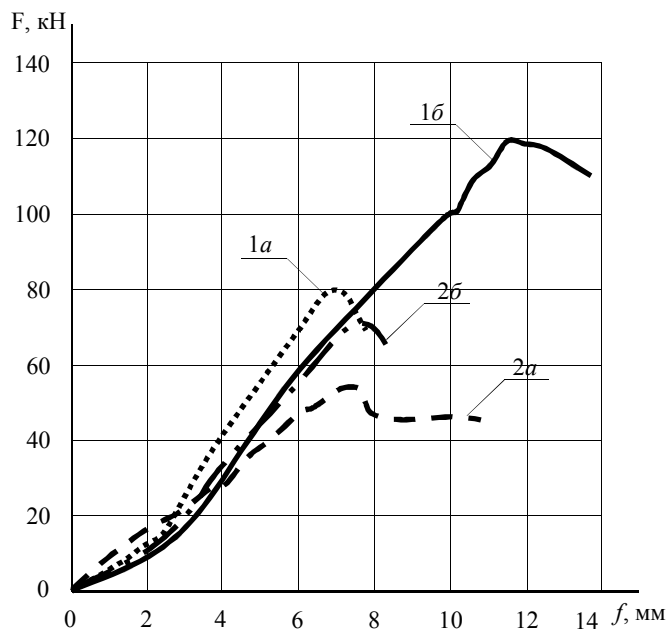


Рис. 1. Залежність навантаження-прогин в балках з різною міцністю бетону та однаковим відсотком армування [10]: 1а, 1б – армування 2016A400, бетон B25 та B50, відповідно; 2а, 2б – армування 2016GFRP, бетон B25 та B50, відповідно

У працях [2, 4, 6, 8, 9, 14] досліджувався вплив зміни відсотка армування на міцнісні та деформативні властивості балок, армованих композитною арматурою. Загальним висновком проведених досліджень було те, що зі збільшенням відсотка армування зростає несуча здатність

та знижується деформативність згинних елементів. Так у праці [6] досліджувалися балки армовані склопластиковою арматурою (GFRP), зі змінним відсотком армування за серіями. Вихідні дані та отримані результати прогинів наведено в табл. 1.

Дані, наведені в таблиці 1, свідчать про те, що збільшенню відсотка армування на 0,5%, 1% та 1,5%, порівняно з контрольною серією, призвело до зменшення прогинів на 13,1%, 20% та 35,5% відповідно. Схожі результати описано в праці [8] – збільшення відсотка армування перерізу з 1,5% до 2,5% призвело до зменшення прогинів балок, армованих GFRP арматурою, на 12%. Отже, збільшення відсотка армування перерізу є одним із способів збільшення жорсткості згинних елементів, армованих композитною арматурою.

Таблиця 1

Прогини балок, армованих GFRP арматурою, залежно від відсотка армування перерізу [6]

№ зразка	Вид арматури	Відсоток армування перерізу (μ), %	Руйнівний момент (M), кН·м	Прогин (f) у середині прольоту, мм
1	GFRP	0,5	19,32	24,50
2	GFRP	1,0	20,37	21,30
3	GFRP	1,5	21,21	19,60
4	GFRP	2,0	23,10	15,80

Останній спосіб підвищення жорсткості балок хоча й показує певну ефективність, але не завжди є прийнятним з економічних міркувань. Збільшення відсотка армування обов'язково призведе до збільшення кінцевої вартості продукції. Описуване зростання несучої здатності зразків зі збільшеним відсотком армування можливе лише за умови використання високоміцних бетонів, що не завжди потрібно за розрахунком і призводить до збільшення вартості таких конструкцій.

Крім описаних методів збільшення жорсткості згинних конструкцій, армованих композитною арматурою, останнім часом проводяться дослідження способу змішаного армування, коли в розтягнутій зоні, крім композитної арматури, розташовують один або декілька стержнів металевої арматури. Таке армування має на меті використання кращих властивостей обох видів арматури – високої міцності композитної арматури та жорсткості металевої. На сьогодні, практично відсутні відомості про експериментальні дослідження такого роду конструкцій, які б велися на теренах нашої країни. Існує дуже обмежена кількість відомостей, опублікованих в іноземних видавництвах. Зважаючи на те, що базальтова арматура (BFRP) не так давно з'явилася на ринку будівельних виробів, дані про роботу конструкцій зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою майже відсутні.

Постановка завдання. Дослідження напружено-деформованого стану балок, армованих базальтовою арматурою (BFRP), балок зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою одночасно потребують проведення відповідних експериментальних випробувань. У зв'язку з цим потрібно спланувати експеримент, запроєктувати та виготовити експериментальні зразки балок для подальших досліджень.

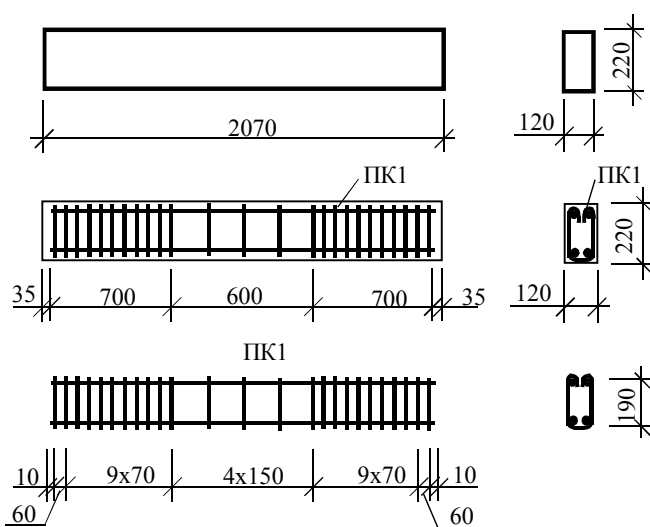


Рис. 2. Схема армування дослідних зразків балок контрольної серії

Викладення матеріалу та результати. В Україні розроблено та діє нормативний документ [16], відповідно до якого повинно здійснюватися проектування конструкцій, виготовлених із використанням базальтової чи склопластикової арматури. Користуючись настановами та рекомендаціями останнього (п. 5 та п. 11 [16]), зважаючи на технологічні можливості виготовлення зразків балок, було прийнято їх геометричні розміри та запроєктовано армування (рис. 2).

Програмою випробувань передбачено виготовлення трьох серій зразків балок (табл. 2). Ар-

мування зразків мало на меті досягнути руйнування балок контрольної серії внаслідок руйнування розтягнутої арматури. Для можливості коректного порівняння результатів випробувань відсоток армування перерізів балок та клас бетону прийнято однаковим для зразків усіх серій. При армуванні використано базальтову арматуру АКБ800 (АНПБ) виробництва ТОВ "Технобазальт-Інвест". Зважаючи на те, що зразки густоармовані для бетонування, прийнято дрібнозернистий бетон. Клас міцності бетону на стиск - С25/30. Для визначення характеристик міцності та деформативних властивостей бетону передбачено бетонування зразків кубів і призм.

Таблиця 2

Програма експериментальних випробувань дослідних зразків балок

№ серії	Маркування балок	Матеріали балок	Поперечний переріз балок	Мета випробування
1	БМ-1 БМ-2 БМ-3	Балки, виготовлені з робочою металевою арматурою (контрольна серія)		Визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості короткочасними випробуваннями
2	ББ-1 ББ-2 ББ-3	Балки, виготовлені з робочою базальтовою арматурою АКБ800 (АНПБ)		Визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості короткочасними випробуваннями
3	БМБ-1 БМБ-2 БМБ-3	Балки, виготовлені зі змішаним армуванням металевою (А400) та базальтовою (АКБ800 (АНПБ)) арматурою одночасно		Визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості короткочасними випробуваннями

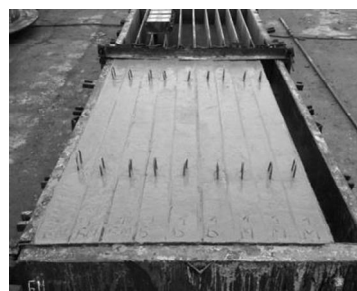
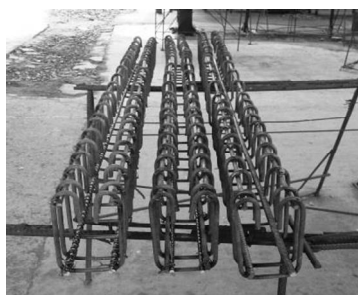


Рис. 3. Формування дослідних зразків балок

Виготовлення арматурних каркасів, бетонної суміші та бетонування дослідних зразків балок відбувалося в заводських умовах на потужностях ПАТ «Криворіжіндустрбуд». Бетонування експериментальних зразків балок, кубів проводили в металевих формах (рис. 3). Перед бетонуванням поверхню форм змащували тонким шаром гідрофобної змазки. У форми встановлювалися в'язані просторові каркаси. Проектне положення каркасів, для забезпечення утворення захисного шару бетону, здійснювалося за допомогою бетонних прокладок. Приготування бетонної суміші виконувалося на бетонно-розчинному вузлі. Укла-

дання суміші в опалубку здійснювалося за допомогою бадді з подальшим ущільненням на вібростолі (рис. 3). Після формування зразки поміщали в камеру для прогрівання. Розпалубка останніх відбувалася через 28 діб після бетонування.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Базальтова арматура є ефективною заміною металевої арматури при виготовленні будівельних конструкцій. Підвищена міцність та хороші антикорозійні властивості дозволяють створювати вироби з високими експлуатаційними характеристиками, підвищувати надійність та довговічність будівель і споруд. У той же час знижений модуль пружності даної арматури потребує додаткових конструктивних заходів з підвищення жорсткості конструкцій, армованих нею. Змішане армування є потенційно ефективним методом зниження деформативності конструкцій, армованих композитною арматурою, але дане твердження потребує додаткових експериментальних випробувань.

Напрямок подальших досліджень полягає в з'ясуванні напружено-деформованого стану дослідних зразків балок шляхом їх короткочасних випробувань статичним навантаженням.

Список літератури

1. Mohammad Addul Kader, "Mechanical behavior of multi-row bolted connections of woven fabric GFRP structural members", PhD thesis, University of Nagoya, Japan, 197pp.
2. **Валовой О.І., Єрмоєнко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О.** Особливості роботи базальтової арматури у складі конструкцій що працюють на згин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. / Рівне: НУВГП, 2017. – Випуск 34. с. 103-110.
3. **R. Murugan, G. Kumaran**, 2016. "Flexural Behaviour of Sand Coated GFRP Reinforced Flanged Beams". International Journal of Science and Engineering Investigations, vol. 5, issue 57, October 2016, 32-37.
4. **Maher A. Adam, Mohamed Said, Ahmed A. Mahmoud, Ali S. Shanour**, 2015. "Analytical and experimental flexural behavior of concrete beams reinforced with glass fiber reinforced polymers bars". Journal of Construction and Building Materials, 84, 354-366.
5. **Mostafa A. T. El-Mogy**, "Behaviour of Continuous Concrete Beams Reinforced with FRP Bars", PhD thesis, University of Manitoba, Canada, 2011, 282pp.
6. **Chidananda S. H., Khadiranaikar R. B.** 2017. "Flexural Behaviour of Concrete Beams Reinforced With GFRP Rebars". International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, vol. 3, 119-128.
7. **D. Shantha Kumar, R. Rajkumar**, 2016. "Experimental investigation on flexural behavior of concrete beam with glass fibre reinforced polymer rebar as internal reinforcement". [International Journal of Chemical Sciences](#), 14(S1), 319-329.
8. **G Naveen Kumar, Karthik Sundaravadivelu**. 2017. "Experimental Study On Flexural Behaviour Of Beams Reinforced With GFRP Rebars". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 80, 1-11.
9. **R. Sivagamasundari and G. Kumaran**, 2008. Effect of Glass Fibre Reinforced Polymer Reinforcements on the Flexural Strength of Concrete One Way Slabs under Static and Repeated Loadings. Asian Journal of Applied Sciences, 1: 19-32.
10. **S.Vivekanand*, A. Sumathi**, 2015. "Static Behaviour of Concrete Beams Reinforced in Shear with GFRP Bars". International Journal of ChemTech Research, Vol.8, No.2, pp 635-642.
11. **El-Salakawy, E., Kassem, C. et Benmokrane, B.** (2002). Flexural behaviour of concrete beams reinforced with carbon FRP composite bars. Dans Canadian Society for Civil Engineering - 30th Annual Conference: 2002 Challenges Ahead, June 5, 2002 - June 8, volume 2002. Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, QB, Canada, p. 2025-2033.
12. **OSPINA, C. E. et BAKIS, C. E.** (2007). Indirect Flexural Crack Control of Concrete Beams and One-Way Slabs Reinforced with FRP Bars. Proceedings of FRPRCS, volume 8,
13. **Коваль П. М., Гримак О. Я.** Вплив малоциклових навантажень на роботу бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. пр. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2016. - №10. с. 35-42.
14. **Солдатченко, О. С.** Міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинальних конструкцій зі склопластиковою і базальтопластиковою арматурою : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / **Солдатченко Олександр Сергійович**. – Київ, 2012. – 196 с.
15. **Валовой О.І., Єрмоєнко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О.** Програма випробувань дослідних зразків балок зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою // Гірничий вісник : наук.-техн. зб. / Кривий Ріг: КНУ, 2017. – Випуск 102. с. 169-173.
16. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 34с.

Рукопис подано до редакції 07.05.2018