

Слід зазначити, що однозначну відповідь про найкращий алгоритм відновлення пропусків даних, надати складно. Отримані показники роботи алгоритмів наведені у табл.1. Бачимо, що три алгоритми обробки площинних розрізів виявились ефективнішими за об'ємний алгоритм за усіма показниками. Проте, вибрати серед методів *Resampling*, *ZET* або *ZETBraid* один абсолютно найкращий, не можна. Вони надають простір для активної участі у процесі розрахунків людини, що приймає рішення (ЛПР), яка може надати різним критеріям відповідних ваг. Це дозволить вибрати такий оптимальний контур кар'єру, що задовольнятиме дослідників з точки зору різних аспектів гірничої технології.

Таблиця 1

Результати додаткової обробки оптимальних перерізів методами відновлення інформації			
Метод	<i>NPV</i> , у.о.	Об'єм видобутку, тис.м ³	Коефіцієнт розкриття
Заповнення середнім значенням	1 396 580	544 188	3,29
Підстановки	1 830 100	512 019	3,11
Множинної лінійної регресії	1 715 896	527 265	3,17
Бартлетта	2 020 768	490 708	2,81
<i>Resampling</i>	2 064 820	473 312	2,78
<i>ZET</i>	2 115 442	477 005	2,01
<i>ZETBraid</i>	2 001 771	482 951	2,24
Об'ємний	2 041 530	493 504	2,18

Висновки та напрямок подальших досліджень. Алгоритм Лерчса-Гроссмана визначення оптимальних контурів кар'єру потребує додаткових обчислювальних процедур для забезпечення ефективної гірничотехнологічної ситуації на кар'єрі.

Вибір найкращого результату визначення оптимального контуру кар'єру слід розглядати як задачу прийняття рішень з вибору ефективного рішення за багатьма критеріями.

Список літератури

1. **Ю.Е. Капутин.** Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб.: Недра, 2002.
2. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 1. Горные работы. Ликвидация горнодобывающих предприятий. Технико-экономическая оценка и показатели. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007. Издание официальное. – Киев, Министерство промышленности политики Украины, 2007.
3. **Н.В. Назаренко, С.Н. Шолох.** Автоматизация перспективного планирования карьеров горнообогатительных комбинатов на основе геоинформационных технологий.– *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – Днепропетровск, 2016. - №4.- С.90-95.
4. ka1.ua/ru/products/k-mine.
5. **В.Є.Снитюк.** Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми. – К., Маклаут, 2008. – 364 с.
6. Nazarenko M.V. Correlation model of enrichment process creation / M.V. Nazarenko, N.V. Nazarenko // *Metallurgical and Mining Industry.* - 2015. - Vol. 6.
7. www.geovia.com/products/MineSched879
8. **Арсентьев А.И., Советов Г.А.** и др. / Планирование развития горных работ в карьерах // М.: Недра, 1972.
9. Компьютеры и системы управления в горном деле за рубежом / **Ю.П. Астафьев, А.С. Зеленский, Н.И. Горлов** и др. // М.: Недра, 1989.
10. **Р.К. Achireko** / Application of Modified Conditional Simulation and Artificial Neural Networks to Open Pit Optimization // Dalhousie University Daltech, Halifax. - 1998.

Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 624.012.454

О.І. ВАЛОВОЙ¹, канд. техн. наук, проф.,
О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, М.О. ВАЛОВОЙ², кандидати техн. наук, доц.,
С.О. ВОЛКОВ, вишукувач, Криворізький національний університет

ПРОГРАМА ВИПРОБУВАНЬ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ БАЛОК ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ БАЗАЛЬТОВОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ

Мета. Визначення напружено-деформованого стану балок зі змішаним армуванням базальтОВОЮ та металевою арматурою. З'ясування впливу відмінностей механічних властивостей композитної арматури від металевої на показники міцності, жорсткості та тріщиностійкості згинних конструкцій.

Методи дослідження. Аналіз існуючих експериментальних відомостей експлуатаційних показників згинних елементів армованих композитною арматурою у порівнянні з конструкціями армованими металевою арматурою.

Наукова новизна. Узагальнені дані експериментальних випробувань згинних конструкцій армованих композитною арматурою та зроблені висновки. Визначено потребу в додаткових конструктивних заходах для підвищення жорсткості та зменшення ширини розкриття тріщин таких конструкцій. Запроектовано експериментальні зразки балок зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою.

Практична значимість. Аналіз експериментальних відомостей роботи згинних елементів армованих базальтовою арматурою дозволяє стверджувати про можливість її застосування для армування будівельних конструкцій. Наведено конструктивні заходи потрібні для забезпечення вимог за другою групою граничних станів при армуванні конструкцій композитною арматурою. Визначено напрямок подальших досліджень по розвитку способів підвищення показників жорсткості згинних конструкцій армованих композитною арматурою.

Результати. Встановлено, що балки армовані композитною арматурою у порівнянні з балками армованими металевою арматурою мають у 1,5-3 рази вищі показники несучої здатності та \approx на 60% більші прогини. Запроектовано дослідні зразки балок зі змішаним армуванням металевою та базальтовою арматурою, які повинні забезпечити відповідність показників міцності та жорсткості нормативним вимогам. Розроблено програму експериментальних випробувань дослідних зразків.

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

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Світові тенденції розвитку будівельної галузі вказують на зростаючі обсяги використання нових матеріалів при виготовленні, як окремих конструктивних елементів, так і при зведенні будівель в цілому. До таких матеріалів відносять фіброармовані композити (FRP). Останні можуть виготовлятися у вигляді полотнищ, матів, арматурних стержнів, тощо.

Армування конструкцій композитною арматурою (FRP) дозволяє підвищити несучу здатність конструкцій та мінімізувати вплив агресивного середовища на міцнісні і експлуатаційні якості у порівнянні з конструкціями армованими металевою арматурою. Останнє пов'язано з тим, що композитна арматура є стійкою до переважної більшості агресивних рідин та газів, що дозволяє підвищити надійність конструкцій та скоротити витрати на їх утримання.

Водночас проведені дослідження конструкцій армованих композитною арматурою вказують на певні обмеження в застосуванні даного виду арматури, пов'язані з меншим модулем пружності [1], порівняно з металевою арматурою, а також іншими відомими недоліками характерними для композитної арматури.

Базальтова арматура (BFRP) є, порівняно, новим композитним матеріалом, яка має типові властивості притаманні даному виду матеріалів. У той же час її вартість та показники стійкості в лужному середовищі вигідно вирізняють її серед інших різновидів композитної арматури. Стримуючим фактором широкого розповсюдження, як базальтової, так і будь-якої іншої композитної арматури є невизначеність, щодо деформативних характеристик згинних конструкцій армованих даними видами арматури.

Питання розробки заходів, які б дозволили нівелювати відмінності в модулі пружності традиційної та композитної арматури є актуальним на теперішній час.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженню поведінки згинних конструкцій армованих BFRP арматурою присвячено ряд праць вітчизняних [2,3] та закордонних дослідників [4-12]. На підставі отриманих експериментальних даних можна виділити наступні загальні особливості роботи згинних конструкцій армованих базальтовою арматурою:

руйнування згинних конструкцій відбувається, або внаслідок розриву композитної арматури і носить раптовий характер з миттєвим руйнуванням елементу, або внаслідок розроблення бетону стиснутої зони;

характерною є лінійна залежність між навантаженням та прогином обумовлена малою деформативністю арматури

несуча здатність перевищує несучу здатність аналогічних згинних елементів армованих металевою арматурою у 1,5-3 рази;

модуль пружності арматури менший ніж сталевій, що пропорційно збільшує прогини та ширину розкриття тріщин згинних елементів;

несуча здатність згинних елементів зростає, а деформативність зменшується зі збільшенням відсотку армування розтягнутої зони перерізу.

Слід зазначити, що наведені вище узагальнення справедливі не тільки для базальтової, а і для будь-якої іншої композитної арматури.

Отже, застережень щодо застосування базальтової арматури для армування згинних конструкцій немає, якщо виходити з вимог першої групи граничних станів. Знижений, порівняно зі

сталевою арматурою, модуль пружності базальтової арматури потребує окремої уваги, оскільки збільшена деформативність може не відповідати вимогам за другою групою граничних станів.

В табл. 1 наведено усереднені експериментальні відомості, отримані в роботах [13,14], прогинів балок в залежності від виду використаної арматури. Значення прогинів відповідає навантаженню, яке склало 0.7 від руйнівного.

Таблиця 1

Прогини балок армованих композитною та металевою арматурою

№ з/п	Вид арматури	Відсоток армування перерізу (μ), %	Руйнівне навантаження (F), кН	Прогин (f) за рівня навантаження $0,7F$, мм
1 [13]	Металева	1	178	6,25
2 [13]	GFRP (склопластикова)	0,71	125	10,5
3 [13]	CFRP (вуглецева)	1,22	226	9,5
4 [14]	BFRP (базальтова)	1	160	10,1

Величину прогинів, наведених в табл. 1, не можна оцінювати за абсолютними величинами, оскільки геометричні розміри та схеми випробувань балок були різні. При цьому можна визначити певні спільні тенденції. Так при співставних величинах відсотку армування перерізів прогини балок армованих композитною арматурою виявилися більшими ніж металевою в середньому на 60 %. Схожі результати були отримані в роботах [3-12].

Означену проблему намагаються вирішувати за декількома напрямками:

Попередньо напружують композитну арматуру.

Збільшують відсоток армування перерізу.

Використовують змішане армування, коли розтягнуту зону перерізу армують металевою та композитною арматурою, одночасно.

Перший спосіб, на теперішній час, не знайшов широкого вжитку внаслідок технологічної складності створення попереднього напруження в стержнях композитної арматури.

Підвищення відсотку армування розтягнутої зони перерізу значно підвищує жорсткість згинних конструкцій армованих композитною арматурою [3,4, 6-12]. В роботі [4] розглядався вплив збільшення відсотку армування розтягнутої зони балок армованих базальтовою арматурою на величину прогину [4]. Отримані результати відображені на рис. 1. Наведені залежності вказують на те, що збільшення відсотку армування дозволяє значно підвищити не тільки несучу здатність конструкції, а і зменшити її кривизну, тобто підвищити жорсткість. Так збільшення кількості арматури розтягнутої зони вдвічі дозволили, майже, втричі зменшити кривизну балки. Не зважаючи на отриманий ефект підвищення відсотку армування не завжди є прийнятним способом підвищення жорсткості елемента виходячи з економічних чинників, оскільки потребує витрат на додаткове армування, яке потрібне тільки для забезпечення достатнього рівня деформативності та тріщиностійкості.

При використанні змішаного армування, коли композитна арматура використовується разом з металевою для армування розтягнутої зони перерізу, досягнути нормативних вимог за другою групою граничних станів можна без переармування перерізу. Металева арматура, за рахунок високих показників модуля пружності сприяє забезпеченню показників деформативності, а композитна арматура підвищує несучу здатність конструкції.

Роботи по дослідженню напружено-деформованого стану згинних елементів армованих композитною та металевою арматурою проводяться, переважно, за кордоном і носять обмежений характер.

Е роботі [15] дослідженню підлягали балки зі змішаним армуванням арамідною та металевою арматурою. В результаті випробувань було встановлено, що прогини балок зменшилися, а ширина розкриття тріщин зменшилися порівно з контрольною серією балок, армованою тільки арамідною арматурою. Схожі результати були отримані дослідниками [16,17], але для випадку змішаного армування, коли в якості композитної арматури були використані склопластикова та вуглецева арматура.

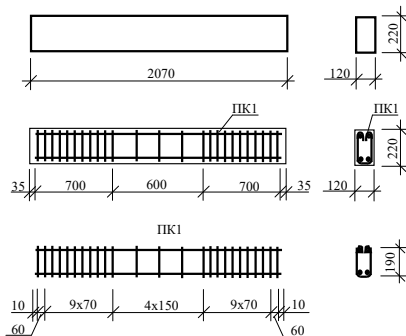
Зважаючи на те, що базальтова арматура є, порівняно, новим матеріалом, відомості про її роботу у складі згинних елементів зі змішаним армуванням, практично, відсутні.

Постановка завдання. Визначення особливостей напружено-деформованого стану згинних елементів армованих базальтовою та металевою арматурою потребує експериментальних

досліджень зразків конструкцій. Відповідно, потрібно запроектувати та виготовити дослідні зразки конструкцій зі змішаним армуванням для подальших випробувань.

Викладення матеріалу та результати. Згідно означеної мети було розроблено програму експериментальних випробувань, виконано проектування дослідних зразків балок. На разі в Україні існує нормативний документ, який регламентує використання композитної арматури в будівництві - ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу [1]. Проектування перерізів балок зі змішаним армуванням та армуванням базальтовою арматурою здійснювалось відповідно до вимог п. 5 та п. 11 [1]. Програма дослідних випробувань передбачає виготовлення трьох серій зразків балок - балки армовані металевою арматурою (контрольна серія), балки армовані базальтовою арматурою, балки зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою, одночасно. Геометричні розміри зразків - $l = 2070$ мм, $b \times h = 120 \times 220$ мм. Схему армування балок контрольної серії наведено на рис. 2.

Рис. 2. Схема армування дослідних зразків балок контрольної серії



Виходячи з мети досліджень клас бетону, розміри перерізів балок та відсоток їх армування передбачається незмінним для зразків всіх серій. Попереднім розрахунком визначено діаметри арматури розтягнутої зони та клас бетону. Клас міцності бетону на стиск прийнято С25/30. Діаметр робочої арматури розтягнутої зони зразків контрольної серії розраховано таким чином, щоб виконувалось співвідношення $\xi < \xi_R$ і він склав $2\emptyset 12$ А400. Оскільки для балок інших серій відсоток армування повинен зберігатися незмінним, то були прийняті наступні діаметри робочої арматури:

для зразків армованих базальтовою арматурою - $2 \emptyset 12$ АКБ800;

для зразків зі змішаним армуванням - $2 \emptyset 8$ АКБ800 та $2 \emptyset 8$ А400.

Базальтова арматура АКБ800 надана ООО "Технобазальт-Інвест" - провідним виробником базальтової арматури в Україні. Армування стиснутої та опорної зон балок всіх серій виконано арматурою $\emptyset 6$ А240. Прийнятий крок поперечних стержнів повинен забезпечити надійну роботу дослідних зразків балок за поперечною силою на всіх етапах випробувань. Програма випробувань експериментальних зразків балок наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Програма експериментальних випробувань дослідних зразків балок

Номер серії	Маркування балок	Матеріали балок	Поперечний переріз балок	Мета випробування
1	БМ-1 БМ-2 БМ-3	Балка виготовлена з використанням металевої арматури (контрольна серія)		Визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості короткочасними випробуваннями
2	ББ-1 ББ-2 ББ-3	Балка виготовлена з використанням базальтової арматури АКБ800		Визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості короткочасними випробуваннями
3	БМБ-1 БМБ-2 БМБ-3	Балка виготовлена з використанням металевої (А400) та базальтової (АКБ800) арматури одночасно		Визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості короткочасними випробуваннями

Висновки та напрямок подальших досліджень. Використання базальтової арматури для армування будівельних конструкцій є перспективним напрямком розвитку будівельної промисловості, як в нашій країні, так і за кордоном.

Менший, порівняно з металевою арматурою, модуль пружності композитної арматури потребує додаткових конструктивних заходів по забезпеченню вимог за другою групою граничних станів. Одним з таких конструктивних заходів є змішане армування конструкцій базальтовою та металевою арматурою.

Визначення ступеню ефективності такого рішення та розробка рекомендацій з армування конструкцій потребують додаткових експериментальних випробувань. апрямок подальших досліджень полягає в випробуваннях експериментальних зразків балок, статичним навантаженням до руйнування, з метою визначення їх напружено-деформованого стану відповідно до розробленої програми випробувань.

Список літератури

1. 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.
2. **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.
3. **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.
4. **Mohamed, E.**, “Behaviour of continuous concrete slabs reinforced with frp bars”, PhD thesis, University of Bradford, UK, 2013, 177pp.
5. **Masmoudi, R., Béland, S., and Benmokrane, B.** 1999 . “Experimental evaluation of Kb factor for glass and carbon isorod FRP rebars”. Technical Report No. 02-1999, submitted to Pultrall Inc., Thetford Mines, Qué
6. **Habeeb, M. N., and Ashour, A. F.** 2008 . “Flexural behavior of continuous GFRP reinforced concrete beams.” *J. Compos. Constr.*, 12(2), 115–124.
7. **El-Mogy, M., El-Ragaby, A. and El-Salakawy, E.** 2010 . “Flexural Behaviour of FRP-Reinforced Continuous Concrete Beams.” *ASCE Journal of Composites for Construction*, 14(6), 486-497.
8. **Pouya, B.**, “Experimental investigation of the mechanical and creep rupture properties of basalt fiber reinforced polymer (bfrp)”, PhD thesis, University of Akron, the USA, 2011, 216pp.
9. **Mahroug, M., Ashour, A. F., and Lam, D.** (2013). Experimental response and code modelling of continuous concrete slabs reinforced with BFRP bars. *Composite Structures*, 107, 664-674.
10. **Ovitigala, T., and Issa, M.** (2013). Flexural behavior of concrete beams reinforced with basalt fiber reinforcement polymer (BFRP) bars. Paper presented at the 11th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer for Reinforced Concrete Structures, Guimarães, Portugal.
11. **Pawlowski, D., & Szumigala, M.** (2015). Flexural behaviour of full-scale basalt FRP RC beams—experimental and numerical studies. *Procedia Engineering*, 108, 518-525.
12. **K. L. Kudyakov1, V. S. Plevkov1 and A. V. Nevskii1** (2015), Strength and deformability of concrete beams reinforced by non-metallic fiber and composite rebar, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 71 /1/012030.
13. **Suzan A.A. Mustafa, Hilal A. Hassan** (2017), Behavior of concrete beams reinforced with hybrid steel and FRP composites, *HBRC Journal, Housing and Building National Research Center* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.hbrcej.2017.01.001>.
14. **Akiel Mohammad, El-Maaddawy Tamer, El Refai Ahmed.** Flexural tests of continuous concrete slabs reinforced with basalt fiber-reinforced polymer bars, *CSCE 2016 Resilient Infrastructure*, London, Ontario (June 1 - 4, 2016), 1-7.
15. **Aiello, M. A., and Ombres, L.** (2002). Structural performances of concrete beams with hybrid (fiber-reinforced polymer-steel) reinforcements. *Journal of Compositesfor Construction*, 6(2), 133-140.
16. **Leung, H., and Balendran, R.** (2003). Flexural behavior of concrete beams internally reinforced with GFRP rods and steel rebars. *Structural Survey*, 21(4), 146-157.
17. **Elsayed, T. A., Eldaly, A., El-Hefnawy, A., and Ghanem, G.** (2011). Behavior of Concrete Beams Reinforced with Hybrid Fiber Reinforced Bars. *Advanced Composite Materials*, 20(3), 245-259.

Рукопис подано до редакції 17.03.17