

відпрацювання очисної камери другої черги. Забезпечити стійкість очисним камерам і міжкамерному цілику можливо шляхом зменшення площі похилого оголення, однак, порядок відпрацювання необхідно визначити.

Список літератури

1. Письменный С.В. Отработка складно-структурных залежей богатых руд камерными системами разработки / С.В. Письменный // Гірничий вісник : Науково-технічний збірник. – 2014. – Вип. 97. – С. 3-7.
2. Ступник Н.И. Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / Н.И. Ступник, С.В. Письменный // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – Вип. 30. – С. 3-7.
3. М.І. Ступнік. Комбіновані способи подальшої розробки залізородних родовищ Криворізького басейну / М.І. Ступнік, С.В. Письменный // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2012. – Вип. 95(1). – С. 3-7.
4. Pysmennyi, S., Brovko, D., Shwager, N., Kasatkina, I., Paraniuk, D., Serdiuk, O. (2018). Development of complex structure ore deposits by means of chamber systems under conditions of the Kryvyi Rih iron ore field. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5, Issue 1 (95), 33-45.
5. Гирич В.С. Пути совершенствования качества металлургического сырья на шахтах Кривбасса / В.С. Гирич, Н.К. Кравцов, В.А. Витряк // Разраб. рудн. месторождений. Кривой Рог: КТУ. – 2000. – Вип. 70. – С. 10-13.
6. Малахов Г.М. Исследование закономерностей проявления горного давления при отработке параллельных залежей / Г.М. Малахов, Г.Т. Фаустов, П.А. Абашин, А.И. Пикалов, Г.С. Шкробко // Разработка рудных месторождений: Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – 1974. – Вип. 18. – С. 117-125.
7. Логачев Е.И. Снижение потерь и засорения обрушенной руды при отработке месторождений с углом падения 45-60° / Е.И. Логачев, С.В. Письменный // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – 2010. – Вип. 11(161). – С. 96-99.
8. Ступник Н.И. Технология разработки рудных месторождений открыто-подземным способом / Н.И. Ступник, Б.Н. Андреев, С.В. Письменный // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – Вип. 33. – С. 3-8.
9. Сторчак С.А. Повышение качества рудной массы при поэтажном обрушении, за счет технологических факторов / С.А. Сторчак, С.В. Письменный, В.А. Сбитнев – Качество минерального сырья. Сборник научных трудов. – 2002. – С. 70-74.
10. Прохода А.З. Исследование комбинированной системе разработки / А.З. Прохода, Н.И. Ступник, В.М. Елезов, В.А. Зиненко // Разр. руд. месторождений. Кривой Рог. – 1983. - №36. – С. 68-73.
11. Золотарев И.И. Отработка параллельных залежей в условиях Криворожского бассейна / И.И. Золотарев, Н.И. Стариков, Г.Т. Фаустов // Горный журнал. – 1962. - №6. – С. 19-23.
12. Абашин П. А. Исследование устойчивости целиков при отработке параллельных залежей / П.А. Абашин, А.И. Пикалов, Г.Т. Фаустов, Г.С. Шкробко, А.В. Говоров // Горный журнал. – 1974. - №5. – С. 57-59.
13. Khomenko O. Laboratory research of influence of face area dimensions on the state of uranium ore layers being broken / O. Khomenko, D. Maltsev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2013. Issue 2. P. 31-37.
14. Khomenko O. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits / O. Khomenko, A. Sudakov, Z. Malanchuk, Ye. Malanchuk // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2017. Issue 2. P. 35-43.
15. Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках / Н.П. Влох. – М.: Недра, 1994. – 208 с.

Рукопис подано до редакції 20.03.2020

УДК 691.328

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., Д.В. ПОПРУГА,
В.В. АФАНАСЬЄВ, кандидати техн. наук, доценти,
К.В. ЧОРНА, аспірант, О.М. ГРИЦАЄНКО, асистент
Криворізький національний університет

МІЦНІСТЬ БАЛОК З МЕТАЛЕВИМ І СКЛОПЛАСТИКОВО-МЕТАЛЕВИМ АРМУВАННЯМ РОЗТЯГНУТОЇ ЗОНИ

Мета – визначити та порівняти міцність дослідних зразків балок армованих металевим і гібридним склопластиково-металевим армуванням у розтягнутій зоні. Визначити передумови використання склопластикової арматури в якості робочої в згинальних бетонних елементах.

Методи. Експериментальне випробування натурних дослідних зразків у лабораторних умовах. Аналітичне дослідження і порівняння отриманих результатів.

Наукова новизна. Визначені необхідні умови для використання склопластикової арматури в поєднанні з металевим в згинальних бетонних елементах. Встановлено необхідний переріз площі склопластикової і металеві арматури для ефективного підвищення міцності дослідних зразків.

Практична значимість. Отримані результати дозволять розширити спектр використання склопластикової композитної арматури у будівельних конструкціях, що працюють на згин. Незначна вага, висока міцність, протико-

© Валовой О.І., Попруга Д.В., Афанасьев В.В., Чорна К.В., Грицасенко О.М., 2020

розійні та діелектричні властивості композитної склопластикової арматури дозволять підвищити міцність і покращити фізико-механічні властивості згинальних бетонних конструкцій армованих подібними матеріалами.

Результати. Аналізуючи міцність згинальних бетонних елементів з металевим і склопластиково-металевим армуванням розтягнутої зони встановлено:

при гібридному армуванні розтягнутої зони згинальних бетонних елементів робочою склопластиковою арматурою 2Æ12 АКС 800 і металевою Æ12 А400С, з загальною площею, що менше площі металевої робочої арматури 3Æ12 А400С контрольної серії на 2,78%, можна досягти підвищення межі міцності балок на 3,51%;

при гібридному армуванні розтягнутої зони згинальних бетонних елементів робочою склопластиковою арматурою 2Æ14 АКС 800 і металевою Æ12 А400С, з загальною площею, що перевищує площу металевої робочої арматури 3Æ12 А400С контрольної серії на 10,85%, можна досягти підвищення межі міцності балок на 11,23%.

Збільшення площі робочої арматури за рахунок склопластику на 26,96% призводить до підвищення міцності балок на 16,79%. Збільшення площі на 44,76% призводить до підвищення міцності балок на 25,49%.

Ключові слова: склопластикова арматура, міцність, руйнування, розтягнута зона, робоча арматура, діаметр, композитний матеріал, дослідна балка.

doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-64-68

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Склопластикова композитна арматура набула останнім часом широкого застосування в дорожньому будівництві та при зведенні фундаментів будівель і споруд. Саме пружна основа дозволяє максимально використати її корисні фізико-механічні властивості та нівелювати недоліки.

Характерною особливістю композитів є низький модуль пружності, який приблизно в чотири рази менший відповідного показника металевої арматури. Цей фактор обмежує використання склопластику у якості робочої арматури бетонних згинальних конструкцій [5-7].

Одним зі шляхів вирішення проблеми використання композитів у балках і плитах є гібридне, комбіноване, армування розтягнутої зони композитною і металевою арматурою.

Наукове дослідження проводилось у межах науково-дослідної роботи НР/П-81-17 (РК№ 0118U000118) "Дослідження роботи склопластикової арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів".

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженню особливостей застосування і роботи композитних матеріалів у складі будівельних конструкцій присвятили свої роботи: Ю.А. Клімов, О.С. Солдатченко, Д.О. Оршкін, Л.А. Мурашко, П.М. Коваль, О.І. Валовой, О.Ю. Єрмоєнко, О.Я. Гримак, І.П. Гамеляк, В.С. Дорофєєв, М.В. Заволока, Д.Р. Маїлян, В.В. Малиха та інші.

Постановка задачі. Основним завданням наведеної наукової роботи є визначення експериментальним шляхом реальних характеристик міцності дослідних балок з металевим та склопластиково-металевим армуванням розтягнутої зони.

Встановлення закономірності впливу зміни площі склопластикової арматури на міцність дослідних зразків.

Викладення матеріалу та результати. В науковій роботі [1] наведено програму наукового дослідження, геометричні характеристики, схему армування та процес виготовлення дослідних зразків.

На рис. 1 наведено стенд згідно якого відбувалося випробування дослідних зразків балок на гідравлічному пресі.

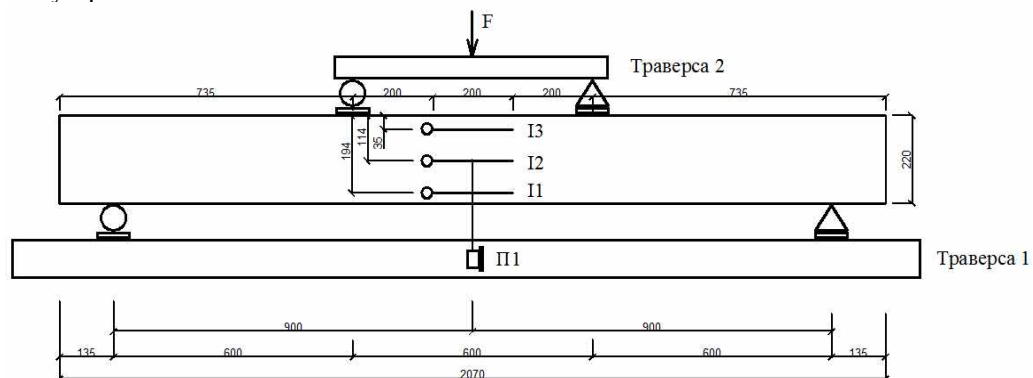


Рис. 1. Схема прикладання навантаження та розміщення приладів: F – прикладене навантаження; I_1, I_2, I_3 – індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм розміщені на базі 200 мм; $П_1$ – прогиномір Максимова з ціною поділки 0,1 мм

Для визначення фактичної площі склопластикової арматури АКС 800 $\text{Æ}8$, 10, 12 і 14 мм (рис. 2), що була надана виробником ТОВ «ТОРГПРОМКОНТРАКТ» (м. Дніпро), був вимірний за допомогою електронного штангенциркуля зовнішній діаметр кожного зі зразків в трьох місцях по довжині. В табл. 1 наведені діаметри і площі зразків композитної арматури АКС 800 $\text{Æ}10$, 12 і 14 мм, що були використанні при виготовленні дослідних балок [1].



Рис. 2. Дослідні зразки склопластикової арматури АКС 800 $\text{Æ}8$, 10, 12 і 14 мм

Фактична площа одного стержня металевої арматури $\text{Æ}12$ А400С становить $A_s=113,1 \text{ мм}^2$.

Площа робочої арматури дослідних серій балок:

серія БМ-1 з робочою металевою арматурою $3\text{Æ}12$ А400С – $A_s=113,1 \times 3=339,3 \text{ мм}^2$;

серія БМС-3 з гібридною робочою арматурою $2\text{Æ}10$ АКС800 і $\text{Æ}12$ А400С – $A_s=73,36 \times 2 + 113,1=259,82 \text{ мм}^2$;

серія БМС-5 з гібридною робочою арматурою $2\text{Æ}12$ АКС800 і $\text{Æ}12$ А400С – $A_s=108,38 \times 2 + 113,1=329,86 \text{ мм}^2$;

серія БМС-7 з гібридною робочою арматурою $2\text{Æ}14$ АКС800 і $\text{Æ}12$ А400С – $A_s=131,504 \times 2 + 113,1=376,11 \text{ мм}^2$.

Міцність зразків склопластикової арматури АКС 800 встановлено згідно протоколу випробувань [9].

Таблиця 1

Площа стержнів композитної склопластикової арматури АКС 800

Класи склопластикової арматури	Æ_1 , мм	Æ_2 , мм	Æ_3 , мм	A_s , мм ²
$\text{Æ}10$ АКС 800	9,77	9,25	9,43	73,36
	9,44	9,75	9,38	
	9,99	9,93	10,06	
$\text{Æ}12$ АКС 800	11,48	11,43	11,51	108,38
	12,01	11,54	11,95	
	11,68	11,87	12,28	
$\text{Æ}14$ АКС 800	13,05	13,27	13,22	131,504
	12,70	12,62	13,06	
	13,38	12,83	12,36	

Майже всі зразки дослідних серій балок зруйнувалися за нормальним перерізом, що свідчить про задовільну міцність зразків за похилої тріщиною [10].

Один зразок серії БМС-7 з гібридним армуванням розтягнутої зони $2\text{Æ}14$ АКС800 і $\text{Æ}12$ А400С, зруйнувався за похилою тріщиною внаслідок зминання стиснутої зони у крайній третині, що є виключенням і не відповідає характеру руйнування інших зразків серії БМС-7.

В табл. 2 наведені показники фактичної міцності і відсоткові залежності міцності та площі робочої арматури дослідних серій балок в порівнянні з контрольною серією.

Таблиця 2

Міцність дослідних серій балок

Серія балок	Площа робочої арматури балок відносно контрольної серії, %	Руйнівний момент M_u , кН·м	Міцність балок відносно контрольної серії, %	Різниця значень міцності балок з контрольною серією, %
БМ-1 (контрольна серія)	100	42,75	100	-
БМС-3	76,58	37,89	88,63	-11,37
БМС-5	97,22	44,25	103,51	+3,51
БМС-7	110,85	47,55	111,23	+11,23

Визначення міцності балок проводилося згідно діючої методики [11] на повіреній гідравлічній станції при монотонному навантаженні з кроком 0,1 від руйнівного навантаження двома зосередженими силами у третинах прольоту.

В результаті проведених експериментальних досліджень отримані наступні результати:

серія БМС-3 (рис. 3) з армуванням розтягнутої зони склопластиковою $2\text{Æ}10$ АКС800 і металевою арматурою $\text{Æ}12$ А400С, в порівнянні з контрольною серією БМ-1 (рис. 4), показала зменшення міцності на 11,37%;

серія БМС-5 (рис. 5) з армуванням розтягнутої зони склопластиковою $2\text{Æ}12$ АКС800 і металевою арматурою $\text{Æ}12$ А400С, в порівнянні з контрольною серією БМ-1, показала збільшення міцності на 3,51%;

серія БМС-7 (рис. 6) з армуванням робочої зони склопластиковою $2\text{Æ}14$ АКС800 і металевою арматурою $\text{Æ}12$ А400С, в порівнянні з контрольною серією БМ-1, показала збільшення міцності на 11,23%.



Рис. 3. Характер руйнування дослідних балок серії БМС-3 з гібридним армуванням $2\text{Æ}10$ АКС800 і $\text{Æ}12$ А400С розтягнутої зони



Рис. 4. Характер руйнування дослідних балок контрольної серії БМ-1 з металевим армуванням $3\text{Æ}12$ А400С розтягнутої зони



Рис. 5. Характер руйнування дослідних балок серії БМС-5 з гібридним армуванням $2\text{Æ}12$ АКС800 і $\text{Æ}12$ А400С розтягнутої зони



Рис. 6. Характер руйнування дослідних балок серії БМС-7 з гібридним армуванням $2\text{Æ}14$ АКС800 і $\text{Æ}12$ А400С розтягнутої зони

Збільшення площі робочої арматури за рахунок склопластику на 26,96% (серія БМС-5), відносно серії БМС-3, призводить до підвищення міцності балок на 16,79%. Збільшення площі на 44,76% (серія БМС-7), відносно серії БМС-3, призводить до підвищення міцності дослідних зразків на 25,49%.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналізуючи міцність згинальних бетонних елементів з металевим і склопластиково-металевим армуванням розтягнутої зони встановлено:

незважаючи на те, що межа міцності на розтяг склопластикової арматури АКС 800 майже в три рази більша за аналогічне значення металевої арматури А400С, використовувати менший діаметр склопластику для рівномірної заміни металевої арматури в згинальних елементах не є можливим без втрати міцності зразків. Балки серії БМС-3 з армуванням розтягнутої зони $2\text{Æ}10$ АКС800 і $\text{Æ}12$ А400С, в порівнянні з контрольною серією БМ-1, яка армована у розтягнутій зоні металевою арматурою $3\text{Æ}12$ А400С, показали зменшення міцності на 11,37%;

при використанні склопластикової арматури $\text{Æ}12$ АКС800 у розтягнутій зоні, відбувається рівномірна заміна металевої арматури $\text{Æ}12$ А400С з невеликим підвищенням міцності дослідних зразків. Балки серії БМС-5 з гібридним армуванням розтягнутої зони склопластиковою арматурою $2\text{Æ}12$ АКС 800 і металевою $\text{Æ}12$ А400С, з загальною площею, що менше площі ме-

талевої робочої арматури 3Æ12 А400С контрольної серії БМ-1 на 2,78%, показали підвищення межі міцності балок на 3,51%;

при гібридному армуванні розтягнутої зони згинальних бетонних елементів робочою склопластиковою арматурою 2Æ14 АКС 800 і металевую Æ12 А400С (серія БМС-7), з загальною площею, що перевищує площу металеві робочої арматури 3Æ12 А400С контрольної серії БМ-1 на 10,85%, можна досягти підвищення межі міцності балок на 11,23%.

В подальшому планується порівняти отримані експериментальні результати показників міцності дослідних балок з розрахунковими значеннями визначеними за діючою нормативною методикою.

Список літератури

1. **Валовой О.І.** Виготовлення будівельних конструкцій армованих металевую і склопластиковою арматурою з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів / О. І. Валовой, Д.В. Попруга, Є.В. Люльченко, К.В. Чорна // Гірничий Вісник. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: КНУ, 2018. - Випуск 104. - С. 130-135.
2. **Валовой О.І.** Визначення прогинів згинальних елементів армованих склопластиковою і металевую арматурою / О. І. Валовой, Д.В. Попруга, Є.В. Люльченко, К.В. Чорна // Гірничий Вісник. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: КНУ, 2018. - Випуск 103. - С. 7-11.
3. **Валовой О.І.** Математичне моделювання згинальних елементів армованих склопластиковою і металевую арматурою з визначенням деформацій прогинів / **О.І. Валовой, Д.В. Попруга, Є.В. Люльченко, К.В. Чорна** // International Multidisciplinary Conference "Science and technology of the present time: priority development directions of Ukraine and Poland". - Wolomin: Z. Gloger Wolomin International and Regional Cooperation University, 2018. - С. 91-94.
4. **Валовой О.І.** Особливості анкерування композитної арматури в бетоні / **О.І. Валовой, Д.В. Попруга, К.В. Чорна** // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Розвиток промисловості та суспільства". - Кривий Ріг: КНУ, 2018. - Том 1. - С. 213.
5. **Попруга Д. В.** Використання склопластикової композитної арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів / **Д.В. Попруга, О.І. Валовой** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – Випуск 44. – С. 147-150.
6. **Валовой О. І.** Особливості використання композитної арматури в згинальних бетонних елементах / **О.І. Валовой, Д.В. Попруга, К.В. Чорна** // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. - Луцьк: ЛНТУ, 2017. - Випуск 8. - С. 58-64.
7. **Valovoi O.** Application of the non-metallic composite armature / **O. Valovoi, D. Popruga, K. Chorna** // International scientific – practical conference of young scientists «Build-Master-Class-2017». - Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, 2017. – P. 196.
8. **Попруга Д. В.** Технологія виготовлення та підсилення залізобетонних згинальних елементів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів / **Д.В. Попруга, О.І. Валовой** // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2011. - Випуск 22. - С. 833-840.
9. Протокол № 221-323/153/14 випробування зразків композитної арматури. - Київ: ДП НДІБК, 2015. - 7 с.
10. Настанова з проєктування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу : ДСТУ-Н В.2.6-185:2012. - [Чинний від 2013-04-01]. - Київ: Мінрегіон України, 2012. - 28 с. - (Нац. стандарт України).
11. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные, сборные. Методы испытания нагружением и оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-94 (ДСТУ БВ.2.6-7-95). – [Действует от 1986-01-01].

Рукопис подано до редакції 20.03.2020

УДК 691.3

С.І. САХНО, Є.В. ЛЮЛЬЧЕНКО, кандидати техн. наук, доценти,
К.С. БЛАШЕНКО, А.О. ДОМНІЧЕВ, студенти
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСОВНОСТІ НЕЛІНІЙНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ МІЦНОСТІ БЕТОНУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РУЙНУВАННЯ БЕТОННИХ ПРИЗМ

Мета. Виявлення математичної моделі нелінійної поведінки бетону, що в найбільшій мірі відтворює поведінку лабораторних зразків призм при руйнуванні.

Методи досліджень. Дослідження є порівнянням результатів експериментальної частини, що проводилась в лабораторії Криворізького національного університету та результатів математичного моделювання руйнування бетону. Математичне моделювання деформацій та руйнування бетонних призм виконувалось в програмній системі Discovery AIM for student.

© Сахно С.І., Люльченко Є.В., Білашенко К.С., Домнічев А.О., 2020