

Фиброгипсоцементовермикулитобетонные теплоогнезащитные композиты с вулканическим пеплом

Т.А. Хежев, Ф.М. Шогенова

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

Аннотация: Представлены результаты исследований прочностных свойств теплоогнезащитных фиброгипсоцементовермикулитобетонных (ФГЦПВБ) композитов с вулканическим пеплом с максимальной крупностью зерен 0,16 мм полидисперсно армированных полипропиленовыми RS производства Руссеал и базальтовыми волокнами марки РНБ-9-1200-4с производства ПАО «Ивотстекло». Вспученный вермикулит Санкт-Петербургской слюдяной фабрики применялся фракции 0,16–5 мм. Выявлено, что эффективность добавки СДО при дозировке до 0,2 % составляет от 2,3 до 3,1 % вовлеченного воздуха на 0,1 % СДО, дальнейшее повышение дозировки нецелесообразно. Полипропиленовые фибры не оказывают существенного влияния на прочностные свойства ФГЦПВБ композитов. Армирование базальтовыми волокнами ФГЦПВБ композитов повышает предел прочности при сжатии до 16 %, при изгибе до 73 %, соотношение R_f/R при равной прочности на сжатие возрастает до 51 %. Полидисперсное армирование базальтовыми и полипропиленовыми волокнами ФГЦПВБ композитов повышает предел прочности при сжатии возрастает до 40 %, при изгибе более чем в два (2,26) раза, соотношение R_f/R при равной прочности на сжатие возрастает до 65 %.

Ключевые слова: гипс, портландцемент, пепел, вспученный вермикулит, полипропиленовые и базальтовые волокна, композиты, предел прочности при сжатии и изгибе.

Введение

Дальнейшее улучшение физико-механических свойств теплоогнезащитных материалов с применением композиционных вяжущих является актуальной задачей [1,2]. При этом гипсовым вяжущим уделяется большое внимание, т.к. изделия из гипса обладают достаточной огнестойкостью, отличаются относительной легкостью, прочностью,

низкими тепло- и звукопроводностью [3,4]. В районах с неблагоприятными погодными условиями (ливнями, грозами) отделочный слой раствора, приготовленного с использованием гидрофобного гипса, наносят толщиной 1,5 см. Теплоизоляционные свойства таких стен в 4 раза выше, чем бетонных [5]. Звукоизоляционные свойства гипсовых камней зависят от их плотности [6].

Для устранения недостатков гипсовых вяжущих предложены гипсоцементопуцоллановые вяжущие с применением портландцемента и активных минеральных добавок [2,7]. В качестве заполнителя и активной минеральной добавки нами эффективно были использованы вулканические пеплы [8].

Многочисленными исследованиями доказано, что в качестве заполнителя для огнезащитных составов эффективно можно использовать вспученный вермикулит [9–11].

Исследования Хежева Х.А. фиброгипсовермикулитобетонных композитов, содержащих известь и вулканический туф [12] позволяют считать целесообразным проведение исследований по применению в композитах вулканических пород, в частности, пепла, для расширения сырьевой базы с целью производства композитов с улучшенными строительно-техническими свойствами.

Разработка теплоогнезащитных композитов с применением комбинированных вяжущих, эффективных заполнителей – вспученного вермикулита и полидисперсного армирования полипропиленовыми и базальтовыми волокнами позволит преодолеть многие недостатки материалов и изделий из гипса.

Материалы и методика исследований

Использовались материалы:

- гипс строительный Г–5 БП по ГОСТ 125-2018 Усть-Джегутинского гипсового комбината (далее по тексту Г);
- портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108-2020 ПАО «Белгородский цемент» (далее по тексту ПЦ);
- вулканический пепел с максимальной крупностью зерен 0,16 мм Заюковского месторождения (далее по тексту П);
- вспученный вермикулит Санкт-Петербургской слюдяной фабрики применялся фракции 0,16–5 мм (далее по тексту В);
- смола древесная омыленная (СДО);
- полипропиленовая фибра RS производства Руссеал длиной 12 мм;
- базальтовые волокна марки РНБ-9-1200-4с производства ПАО «Ивотстекло».

Введение компонентов осуществлялось в воду затворения с СДО. В случае одновременного введения нескольких компонентов предварительно осуществлялось их перемешивание всухую. Для исследований использовались литые смеси, при их перемешивании в воду затворения вводилась смесь Г+ПЦ+П+В (гипс + портландцемент + пепел + вермикулит) с базальтовыми и полипропиленовыми волокнами. Образцы для определения средней плотности и показателей прочности использовались 40х40х160 мм. Выдерживание осуществлялось в воздушно-сухих условиях. Испытания образцов выполнялись в соответствии с ГОСТ 23789–2018.

Результаты исследований

Исследовано влияние рецептурных факторов на предел прочности при изгибе и сжатии и среднюю плотность гипсоцементопепловермикулитобетонных (ГЦПВБ) композитов. Свойства ГЦПВБ композитов, полученных их равноподвижных смесей с диаметром расплыва по вискозиметру Суттарда $d = 180 \pm 5$ мм, представлены в табл. 1.

Прочностные характеристики ГЦПВБ композитов определялись в возрасте 2 ч и 28 сут после выдерживания в воздушно-сухих условиях, средняя плотность определялась в возрасте 28 сут.

Таблица 1

Состав смеси и характеристики ГЦПВБ композитов

№№ образцов	Состав смеси			Дозировка СДО, % Г+Ц+П (по массе)	ρ , кг/м ³	Предел прочности, МПа			
	Г: В (по объему)	Ц, % от Г, (по массе)	П, % от Ц (по массе)			R_f в возрасте		R в возрасте	
						2 ч	28 сут	2 ч	28 сут
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1:2	20	30	–	619	0,5	1,1	0,9	2,8
2	1:2	20	30	0,1	605	0,5	1,15	0,9	2,9
3	1:2	20	30	0,2	590	0,55	1,2	0,8	2,8
4	1:2	20	30	0,3	585	0,5	1,2	0,75	2,7
5	1:3	20	30	–	480	0,4	0,75	0,8	1,5
6	1:3	20	30	0,1	470	0,45	0,8	0,85	1,55
7	1:3	20	30	0,2	455	0,4	0,75	0,8	1,5
8	1:3	20	30	0,3	450	0,37	0,7	0,75	1,4

Примечания: Г – гипс строительный; В – вермикулит; Ц – портландцемент; П – пепел; ρ – средняя плотность; R_f – при изгибе; R – при сжатии

На рис. 1 представлена зависимость дополнительной пористости ГЦПВБ композитов от дозировки СДО и соотношения Г : В (по объему).

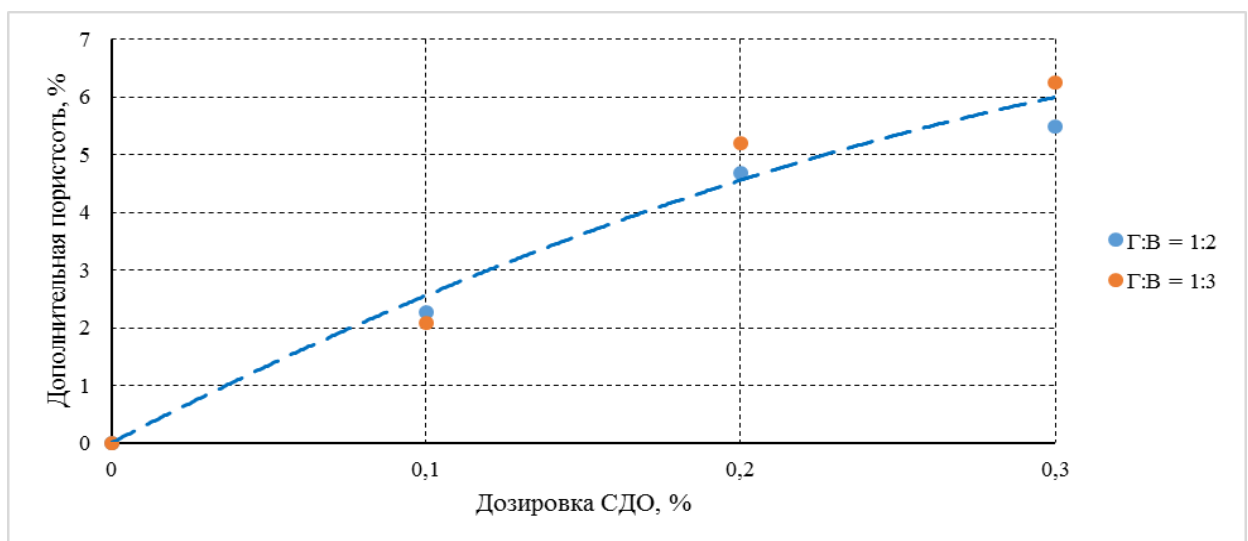


Рис. 1. – Зависимость дополнительной пористости ГЦПВБ композитов от дозировки СДО

Дополнительная пористость ΔP определялась по формуле:

$$\Delta P = 100 \left(1 - \frac{\rho_{\text{СДО}}}{\rho_{\text{Э}}} \right), \% \quad (1)$$

где $\rho_{\text{СДО}}$, $\rho_{\text{Э}}$ – соответственно средняя плотность составов с СДО и бездобавочного эталона.

Зависимость дополнительной пористости ГЦПВБ композитов (воздухововлечение) от дозировки СДО (D) описывается уравнением:

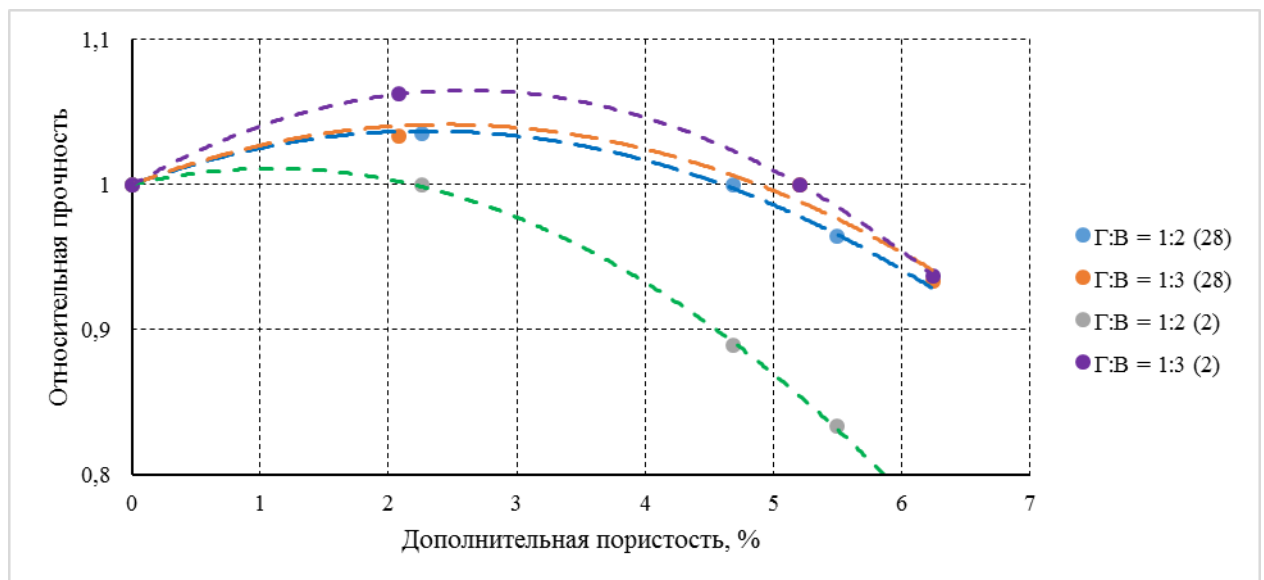
$$\Delta P = 28,4(D) - 28(D)^2 \quad (2)$$

с показателем достоверности аппроксимации $R^2 = 0,97$, из чего следует, что:

- величина воздухововлечения в исследованном диапазоне дозировки СДО составляет от 2,3 до 3,1 % вовлеченного воздуха на 0,1 % СДО при дозировке СДО до 0,2 % и от 0,8 до 1 % при дозировке СДО 0,3 %;

- соотношение Г: В мало влияет на величину воздухововлечения.

На рис. 2 представлена зависимость относительного предела прочности при сжатии $R_{\text{СДО}}/R_{\text{Э}}$ от дополнительной пористости в возрасте 2 ч и 28 сут.



(2), (28) – соответственно через 2 ч и 28 сут твердения;

Г: В – гипс: вермикулит

Рис. 2. – Зависимость предела прочности при сжатии R от дополнительной пористости

Относительный предел прочности $R_{сдо}/R_{э}$ при сжатии нелинейно зависит от дополнительной пористости ΔP , %:

$$\frac{R_{сдо}}{R_{э}} = 1 + a \cdot \Delta P + b \cdot \Delta P^2 \quad (3)$$

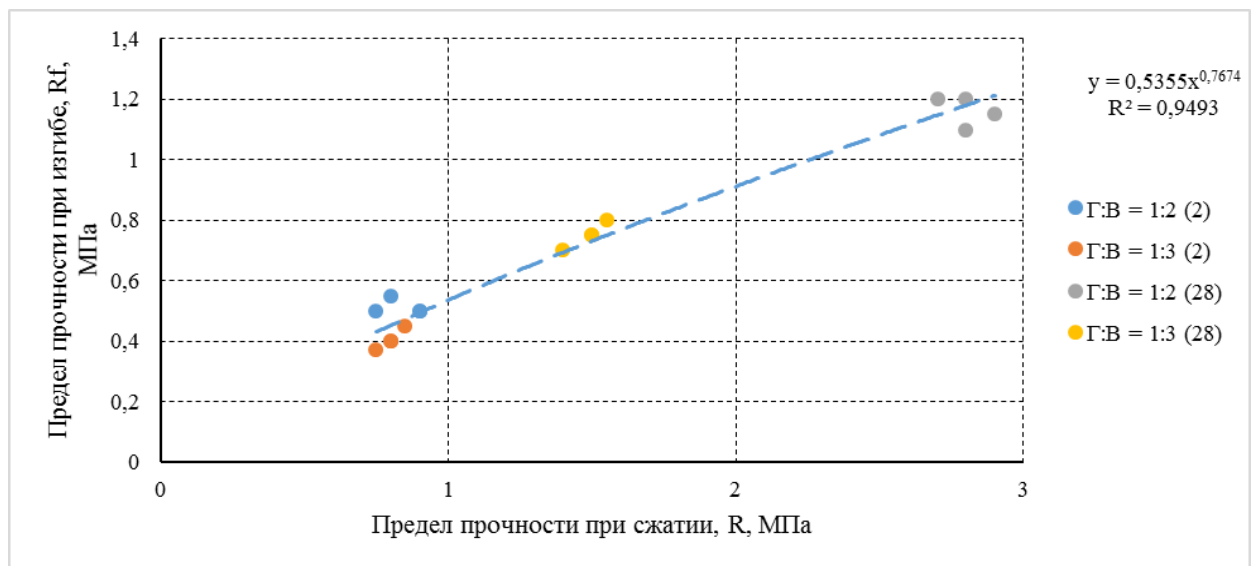
параметры уравнения ф. (3) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры уравнения ф. (3)

Г : В	Параметры уравнения ф. (3) в возрасте					
	2 ч			28 сут		
	<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	<i>a</i>	<i>b</i>	R ²
1:2	0,02	-0,009	0,99	0,032	-0,007	0,99
1:3	0,05	-0,001	1,0	0,034	-0,007	0,95

На рис. 3 представлено соотношение пределов прочности при изгибе и сжатии ГЦПВ композитов при различных соотношениях Г : В после 2 ч и 28 сут твердения.



(2), (28) – соответственно через 2 ч и 28 сут; Г : В – гипс : вермикулит

Рис. 3. – Зависимость предела прочности при изгибе от предела прочности при сжатии

Зависимость $R_f = f(R)$ ГЦПВ композитов практически независимо от $\Gamma : В$ и сроков твердения описывается уравнением:

$$R_f = 0,536R^{0,767} \quad (4)$$

с показателем достоверности аппроксимации $R^2 = 0,97$.

Введение компонентов осуществлялось в воду затворения с СДО. В случае одновременного введения нескольких компонентов предварительно осуществлялось их перемешивание всухую. Для исследований использовались литые смеси, при их перемешивании в воду затворения вводилась смесь $\Gamma + ПЦ + П + В$ (гипс + портландцемент + пепел + вермикулит) с базальтовыми и полипропиленовыми волокнами. Образцы для определения средней плотности и показателей прочности использовались 40x40x160 мм. Выдерживание осуществлялось в воздушно-сухих условиях. Испытания образцов выполнялись в соответствии с ГОСТ 23789–2018.

В табл. 3 представлены составы исследованных ФГЦПВБ смесей.

Таблица 3

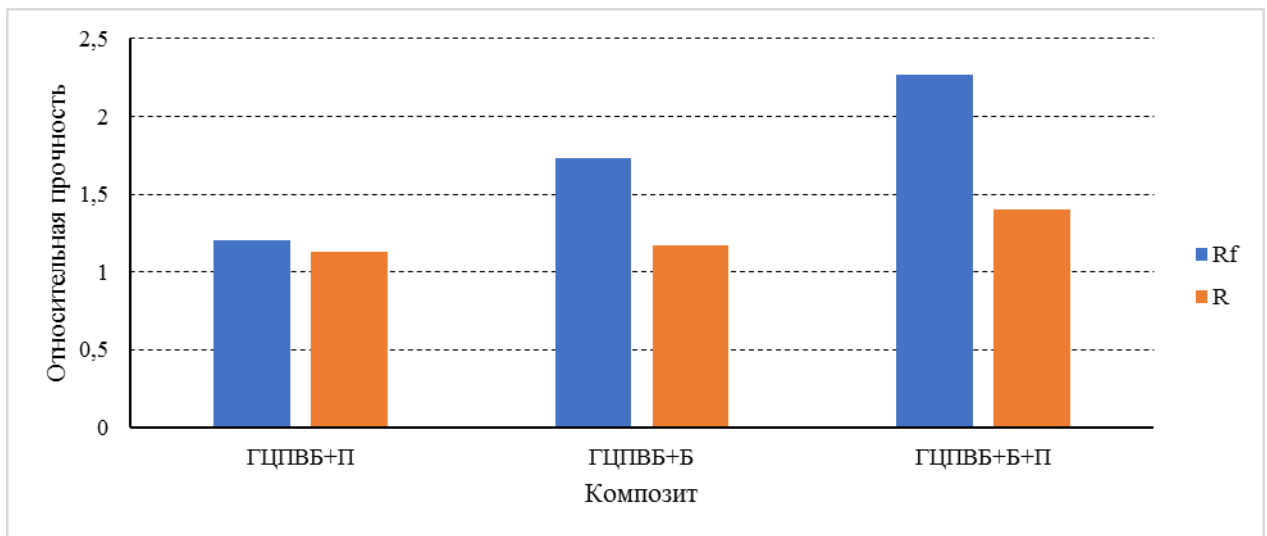
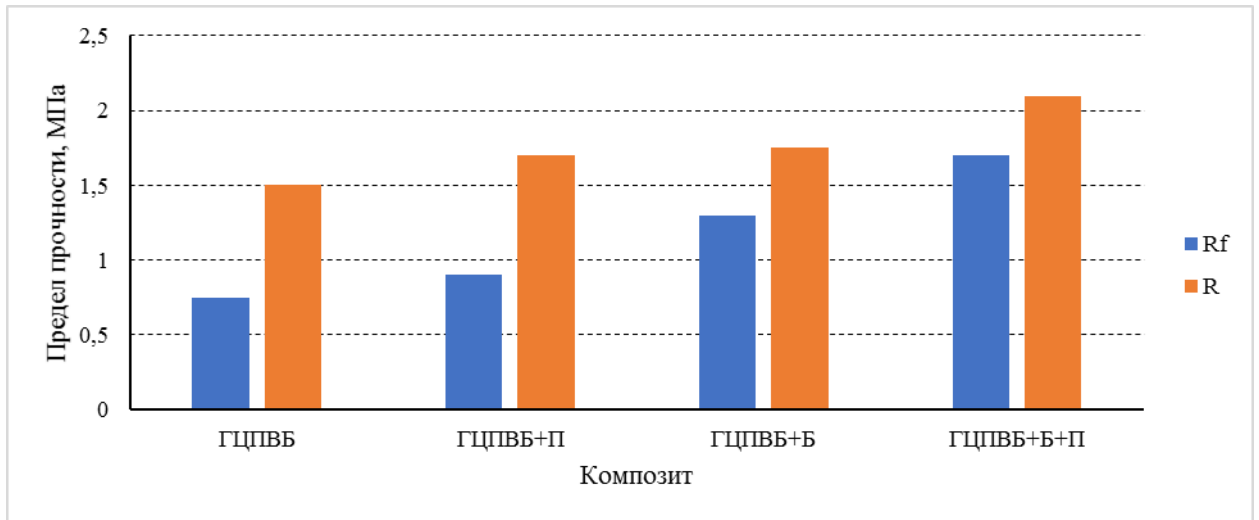
Составы и свойства ФГЦПВБ композитов

Составы	Состав смеси, (% по массе)						Свойства бетона в возрасте 28 сут			
	Г	В	П	Ц	фибра		СДО	ρ - кг/м ³	R_f , (МПа)	R , (МПа)
					Б	ПП				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	40,1	45,83	3,3	10,7	–	–	0,07	480	0,75	1,5
2	40,1	45,33	3,0	10,0	1,5	–	0,07	480	1,3	1,75
3	40,1	46,35	3,0	10,0	–	0,48	0,07	480	0,9	1,7
4	40,1	44,85	3,0	10,0	1,5	0,48	0,07	480	1,7	2,1

Примечания: Г – гипс строительный; В – вермикулит; Ц – портландцемент; П – пепел; Б – базальтовая; ПП – полипропиленовая; ρ – средняя плотность; R_f – при изгибе; R – при сжатии

На рис. 4 представлены результаты испытаний образцов на прочность в возрасте 28 сут составов № 1,2,3,4 по табл. 3 при следующих параметрах

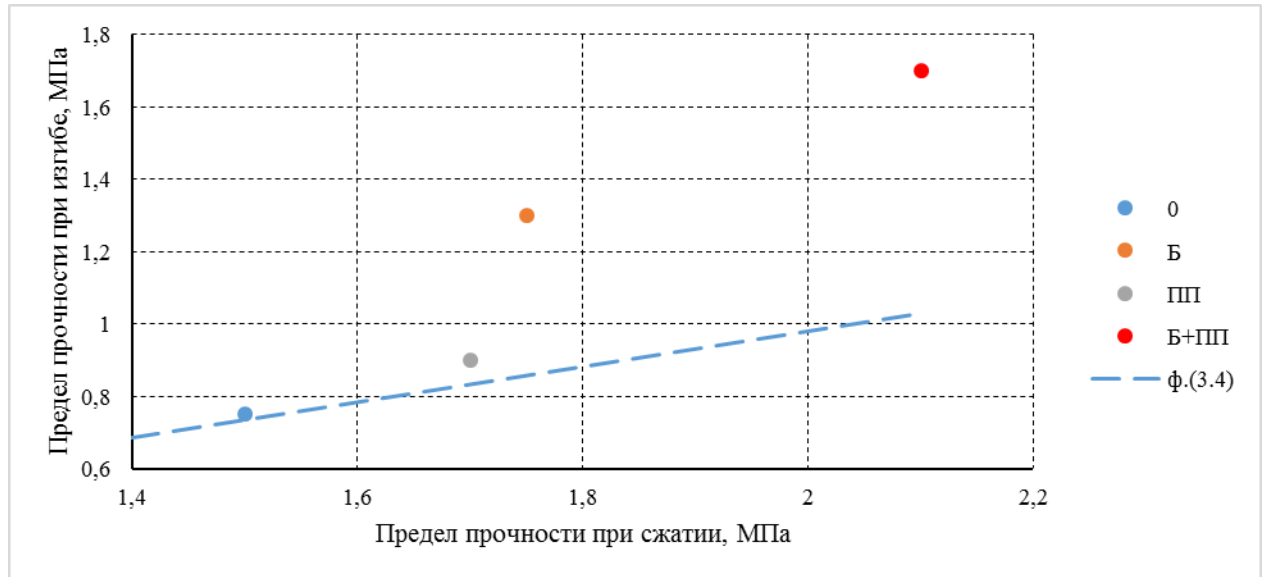
армирования: полипропиленовая фибра (П) 0,48 %; базальтовое волокно (Б) 1,5 %.



Вверху – абсолютные, внизу – относительно неармированного состава;
ГЦПВБ – гипс+пепел+цемент+вермикулит; П – полипропиленовые волокна;
Б – базальтовые волокна

Рис. 4. – Пределы прочности при изгибе и сжатии образцов различного состава в возрасте 28 сут

Влияние вида дисперсной арматуры на соотношение пределов прочности $R_f = f(R)$ в различные сроки твердения ГЦПВБ композитов показано на рис. 5.



0, Б, ПП, Б+ПП – соответственно без дисперсной арматуры, базальтовые волокна, полипропиленовая фибра, полидисперсное армирование композитов по табл. 3; $\phi. (3.4)$ – по уравнению $R_f = 0,491 R$

Рис. 5. – Соотношение пределов прочности при изгибе R_f и сжатии R

Анализ результатов

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- эффективность добавки СДО при дозировке до 0,2 % составляет от 2,3 до 3,1 % вовлеченного воздуха на 0,1 % СДО, далее с повышением дозировки до 0,3 % снижается до 0,8–1 %;

- практически независимо от соотношения Г: В дозировка СДО до 0,2 % не оказывает негативного влияния на предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, а при дозировке СДО 0,3 % отмечается некоторое снижение прочности при сжатии, особенно при Г: В = 1: 2;

- применение СДО в дозировке более 0,2 % нецелесообразно;

- при армировании полипропиленовой фиброй предел прочности при сжатии возрастает до 13 %, при изгибе до 20 %, соотношение R_f/R при равной прочности на сжатие возрастает до 8 %, что свидетельствует о незначительном влиянии полипропиленовой фибры на прочностные свойства композитов;

- при армировании базальтовыми волокнами предел прочности при сжатии возрастает до 16 %, при изгибе до 73 %, соотношение R_f/R при равной прочности на сжатие возрастает до 51 %, что свидетельствует о значительном влиянии базальтовой фибры на предел прочности композитов при изгибе, при этом рост предела прочности при сжатии в принципе аналогичен при использовании полипропиленовой фибры, такое изменение прочностных показателей достаточно типично в случае армирования высокомодульными волокнами;

- при полидисперсном армировании предел прочности при сжатии возрастает до 40 %, при изгибе более чем в два (2,26) раза, соотношение R_f/R при равной прочности на сжатие возрастает до 65 %, что свидетельствует о значительном влиянии полидисперсного фибрового армирования на прочностные свойства композитов при низкой прочности матрицы.

Заключение

Оптимальной дозировкой СДО в ГЦПВБ композитах является 0,2 % по массе от ГЦП вяжущего.

Полипропиленовые фибры не оказывают существенного влияния на прочностные свойства ФГЦПВБ композитов.

Армирование базальтовыми волокнами ФГЦПВБ композитов повышает предел прочности при сжатии до 16 %, при изгибе до 73 %, соотношение R_f/R при равной прочности на сжатие возрастает до 51 %.

Полидисперсное армирование базальтовыми и полипропиленовыми волокнами ФГЦПВБ композитов повышает предел прочности при сжатии возрастает до 40 %, при изгибе более чем в два (2,26) раза, соотношение R_f/R при равной прочности на сжатие возрастает до 65 %.

Литература

1. Ферронская А.В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций. М.: Стройиздат, 1984. – 280 с.
2. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): справочник под общ. ред. А.В. Ферронской. М.: АСВ, 2004. – 488 с.
3. Гипс в малоэтажном строительстве: под общ. ред. Ферронской А.В. М.: АСВ, 2006. – 263 с.
4. Руководство по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом. М.: Стройиздат, 1977. – 46 с.
5. Journal of Materials Science Letters. 1987. Vol. 6. № 5. pp. 562–564.
6. Bulletin des Avis Techniques du CSTB. 1984, Spec. Novembre. Avis technique. № 9/84. 323 p.
7. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. М.: Стройиздат, 1971. – 318 с.
8. Хежев Т.А., Шогенова Ф.М. Фиброгипсопеплоцементобетонные композиты с полидисперсным армированием // Инженерный вестник Дона. – 2025. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2025/9889.
9. Дубенецкий К.Н., Пожнин А.П. Вермикулит. Л.: Стройиздат, 1971. – 175 с.
10. Хежев Х.А., Хежев Т.А., Кимов У.З., Думанов К.Х. Огнезащитные и жаростойкие композиты с применением вулканических горных пород // Инженерный вестник Дона. 2011. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/710.

11. Хежев Т.А., Матаев Т.З., Гедгафов И.А., Дымов Р.Х. Фиброгипсовермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла // Инженерный вестник Дона. 2015. №1. ч.2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2015/2851.
12. Хежев Х.А. Техничко-экономическая эффективность гипсосодержащих композитов с применением вулканических горных пород // Вестник ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. Волгоград. – №29 (48). – 2012. – С. 148–156.

References

1. Ferronskaya A.V. Dolgovechnost' gipsovykh materialov, izdeliy i konstruktsiy [Durability of gypsum materials, products and structures]. М.: Stroyizdat, 1984. 280 p.
 2. Gipsovyye materialy i izdeliya (proizvodstvo i primeneniye) [Gypsum materials and products (production and application)]: spravochnik pod obshch. red. A.V. Ferronskoy. М.: ASV, 2004. 488 p.
 3. Gips v maloetazhnom stroitel'stve [Gypsum in low-rise construction]: pod obshch. red. Ferronskoy A.V. М.: ASV, 2006. 263 p.
 4. Rukovodstvo po vypolneniyu ognezashchitnykh i teploizolyatsionnykh shtukатурок mekhanizirovannym sposobom [Management on the fulfillment of fire-retardant and thermal insulation plasterings in a mechanized manner]. М.: Stroyizdat, 1977. 46 p.
 5. Journal of Materials Science Letters. 1987. Vol. 6. № 5. pp. 562–564.
 6. Bulletin des Avis Techniques du CSTB. 1984, Spec. Novembre. Avis technique. № 9/84. 323 p.
 7. Volzhenskiy A.V., Stambulko V.I., Ferronskaya A.V. Gipsotsementno-putstsolanovyye vyazhushchiye, betony i izdeliya [Gypsum-cement-pozzolanic binders, concretes and products]. М.: Stroyizdat, 1971. 318 p.
-



8. Khezhev T.A., Shogenova F.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. №3. URL: [ivdon.ru /magazine/archive/n3y2025/9889](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2025/9889).
9. Dubenetskiy K.N., Pozhnin A.P. Vermikulit [Vermiculite]. L.: Stroyizdat, 1971. 175 p.
10. Khezhev KH.A., Khezhev T.A., Kimov U.Z., Dumanov K.KH. Inzhenernyj vestnik Dona. 2011. №4. URL: [ivdon.ru /magazine/archive/n4y2011/710](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/710).
11. Khezhev T.A., Matayev T.Z., Gedgafov I.A., Dymov R.KH. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. №1. URL: [ivdon.ru /magazine/archive/n1y2015/2851](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2015/2851).
12. Khezhev KH.A. Vestnik VolGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. Volgograd. 2012. №29 (48). pp. 148–156.

Дата поступления: 11.02.2025

Дата публикации: 26.03.2025