

Фиброгипсовермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла

Т.А. Хежев, Т.З. Матаев, И.А. Гедгафов, Р.Х. Дымов

Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик

Аннотация: Рассматриваются фиброгипсовермикулитобетонные композиты с применением гипса, портландцемента, вулканического пепла, вспученного вермикулита и базальтовых фибр. Приведены результаты исследований составов и физико-механических свойств фиброгипсовермикулитобетонных композитов, зависимости характеристик композита от армирования базальтовыми фибрами. Представлены графические интерпретации уравнений регрессии прочности на сжатие и изгиб композитов.

Ключевые слова: гипс, портландцемент, вулканический пепел, вспученный вермикулит, базальтовое волокно, фиброгипсовермикулитобетонные композиты, коэффициент размягчения, предел прочности при изгибе и сжатии.

Снижение себестоимости строительной продукции является главной задачей строительства. Использование отходов промышленного производства и местного сырья для создания композиционных материалов позволит снизить себестоимость и улучшить их свойства.

Результаты исследований по разработке новых композиционных вяжущих с применением гипса, а также благоприятные экологические и технико-экономические аспекты их производства и применения свидетельствуют о том, что созданы предпосылки для расширения области применения их в новом строительстве, а также при реконструкции и капитальном ремонте существующих зданий и сооружений [1, 2, 3, 4]. Наряду с рядом положительных технических свойств материалы из гипса обладают такими недостатками: относительно высокая хрупкость, низкий коэффициент размягчения, большая ползучесть гипсобетона во влажных условиях эксплуатации [5].

Устранение недостатков материалов из гипса возможно путем создания композитов с применением отходов промышленного производства, местного сырья и армирования фибрами. Фибробетоны по сравнению с обычным

бетоном имеют повышенные прочностные характеристики, трещиностойкость и ударостойкость [6]. Для гипсобетонов в качестве заполнителя и активной минеральной добавки эффективно могут быть использованы материалы естественного и техногенного происхождения [7, 8]. Одним из таких материалов являются вулканические пеплы Кабардино-Балкарской республики, ранее недостаточно исследованные для применения в гипсобетонных композитах [9].

В ранее проведенных исследованиях нами были разработаны гипсовермикулитобетонные композиты с применением негашеной извести и отходов пиления вулканического туфа [8]. Использование в композитах вулканического пепла, базальтовых волокон и портландцемента позволит расширить сырьевую базу для получения композитов с улучшенными физико-механическими характеристиками.

В исследованиях для разработки огнезащитных фиброгипсовермикулитобетонных композитов применялись:

- гипсовое вяжущее Усть-Джегутинского гипсового комбината марки Г–5 БП по ГОСТ 125–79 с характеристиками по ГОСТ 23789–79: нормальная плотность – 50 %; начало схватывания – 12 мин, конец схватывания – 17 мин; прочность на сжатие и изгиб соответственно – 5,3 МПа и 2,6 МПа;

- портландцемент ПЦ500-ДО завода «Белгородский цемент»;

- вермикулит, вспученный фракции 0,16-5 мм с насыпной плотностью 150 кг/м³;

- базальтовая фибра изготовления ОАО «Ивотстекло» марки РНБ-9-1200-4с.

В качестве заполнителя и активной минеральной добавки применялся вулканический пепел Заюковского месторождения с максимальной крупностью зерен 0,14 мм.

Балочки размерами 4x4x16 см из композита формовались литьевым способом из смеси нормальной густоты. Фиброгипсовермикулитобетонная смесь готовилась в смесителе принудительного действия. Вспученный вермикулит добавлялся в заранее перемешанную смесь гипса, портландцемента, пепла, базальтовых волокон и воды. Хранение балочек проходило в естественных условиях. Характеристики композитов определялись по ГОСТ 23789–79.

Вначале было определено оптимальное соотношение компонентов гипса, пепла и портландцемента, которое обеспечило бы получение композита с улучшенными физико-механическими свойствами при меньшем расходе вяжущего вещества. Одновременно исследовалось влияние зернового состава пепла на свойства гипсоцементнопуццоланового композита.

Выявлено, что влияние гранулометрического состава пепла на прочностные свойства композита неоднозначно, в составах с большим содержанием пепла целесообразно использование более крупных фракций, а с содержанием менее 50 % пепла в композите – мелких фракций. Предложена сырьевая смесь для изготовления гипсобетонного композита, позволяющая снизить расход гипса на 30,0 % без снижения прочности композита. Выявлено оптимальное соотношение компонентов для изготовления гипсобетонного композита: гипс : пепел – 1:1, портландцемент – 10-20 % от массы гипса. Разработанный гипсобетонный композит имеет повышенный коэффициент размягчения – 0,75.

Далее было исследовано влияние соотношения компонентов в смеси на прочность и плотность гипсовермикулитобетонных композитов (табл. 1).

Таблица 1

Состав смеси и характеристики гипсовермикулитобетонных
КОМПОЗИТОВ

№№ образцо в	Состав смеси			Средняя плотность ρ , кг/м ³	Предел прочности, МПа			
	Гипс: вермикулит по объему	Расход цемента в % от массы гипса	Добавк а пепла в % от массы цемента		на изгиб в возрасте		на сжатие в возрасте	
					2 ч	28 сут	2 ч	28 сут
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1:2	–	-	6,31	0,7	1,4	1,0	2,5
2	1:2	20	30	6,19	0,5	1,1	0,9	2,8
3	1:3	-	-	5,29	0,4	0,77	0,6	1,6
4	1:3	20	30	4,8	0,4	0,75	0,8	1,5
5	1:4	–	-	4,29	0,3	0,49	0,6	0,9
6	1:4	20	20	3,63	0,35	0,53	0,78	0,89

Из таблицы 1 следует, что до 30 % портландцемента можно заменить вулканическим пеплом без существенного снижения прочности гипсовермикулитобетонного композита.

Разработанные гипсовермикулитобетонные композиты обладают такими недостатками: хрупкость, относительно небольшие прочностные характеристики. Свойства композитов с базальтовыми фибрами было изучено с применением метода математического планирования эксперимента [10].

Соотношение компонентов в гипсовермикулитобетонной матрице и ее характеристики для дисперсного армирования фибрами даны в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства гипсовермикулитобетонной матрицы

Соотношение гипс : вермикулит по объему	Расход цемента в % от массы гипса	Добавка пепла в % от массы цемента	Свойства композита				
			средняя плотность в возрасте 28 сут, кг/м ³	предел прочности при изгибе (МПа) в возрасте		предел прочности при сжатии (МПа) в возрасте	
				2 ч	28 сут	2 ч	28 сут
1	2	3	4	5	6	7	8
1:3	20	30	4,8	0,4	0,75	0,8	1,5

Варьируемые факторы: X_1 – процент армирования по объему μ_v , %; X_2 – отношение длины фибры к их диаметру l/d . Параметры оптимизации: Y_1 – предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа; Y_2 – предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа. Матрица эксперимента представлена в табл. 3.

Таблица 3

Матрица эксперимента

№ п/п	Натуральные переменные		Матрица эксперимента				
	x_1	x_2	X_1	X_2	X_1^2	X_2^2	$X_1 X_2$
1	0,30	1444	-1	0	+1	0	0
2	0,90	1444	+1	0	-1	0	0
3	0,75	2221	+0,5	+0,87	+0,25	+0,75	+0,43
4	0,75	667	+0,5	-0,87	+0,25	+0,75	-0,43
5	0,45	2221	-0,5	+0,87	+0,25	+0,75	-0,43

6	0,45	667	-0,5	-0,87	+0,25	+0,75	+0,43
7	0,60	1444	0	0	0	0	0

В результате обработки данных эксперимента получены математические модели фиброгипсовермикулитобетонного композита через 2 часа схватывания в кодированном виде:

$$Y_1 = 1,75 - 0,19X_1 - 0,07X_1^2 - 0,48X_2^2 + 0,03X_1X_2 ;$$

$$Y_2 = 1,36 + 0,03X_1 - 0,24X_1^2 - 0,38X_2^2 + 0,004X_1X_2 ;$$

По математическим моделям строим поверхности отклика (рис. 1).

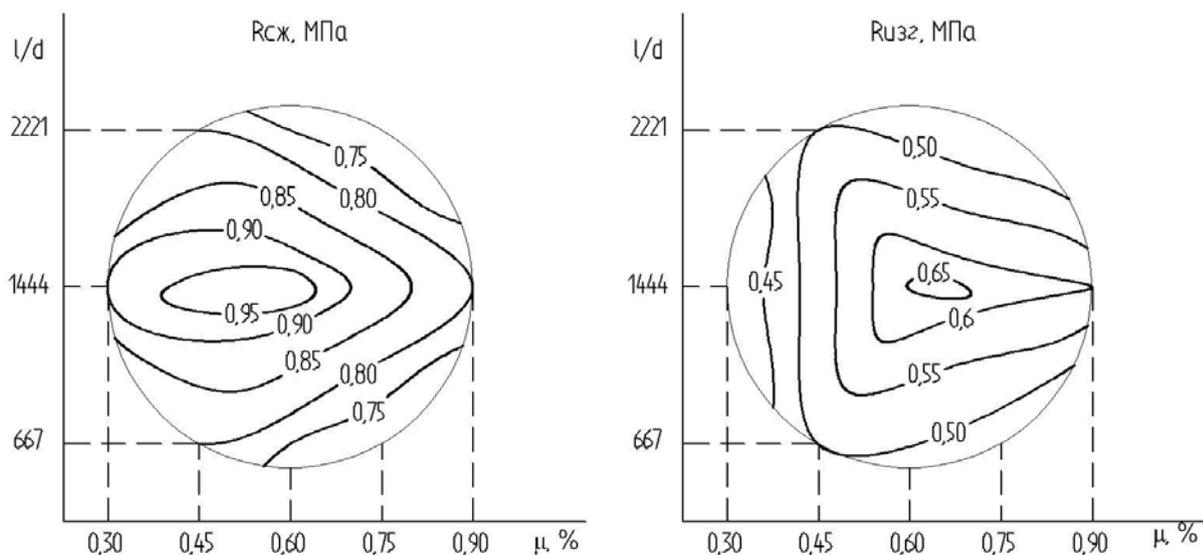


Рис. 1. Поверхности отклика через 2 часа схватывания композита:

$R_{сж}$ – прочность на сжатие, МПа; $R_{изг}$ – прочность при изгибе, МПа;

l/d – отношение длины фибр к их диаметру; μ_v – процент армирования по объему

Из полученных результатов следует, что максимальные значения прочностных характеристик при сжатии достигаются в области плана с

$\mu_v \approx 0,30 - 0,65\%$ и $l/d = 1444$, а прочности на изгиб – $\mu_v \approx 0,55 - 0,90\%$ и $l/d = 1444$. Большое содержание базальтовых фибр уменьшает прочностные характеристики композита.

В результате обработки данных эксперимента получены математические модели фиброгипсовермикулитобетонного композита на 28-е сутки твердения в кодированном виде:

$$Y_1 = 0,94 - 0,10X_1 - 0,03X_1^2 - 0,26X_2^2 + 0,03X_1X_2 ;$$

$$Y_2 = 0,64 + 0,03X_1 - 0,14X_1^2 - 0,15X_2^2 + 0,01X_1X_2 ;$$

По математическим моделям строим поверхности отклика (рис. 2).

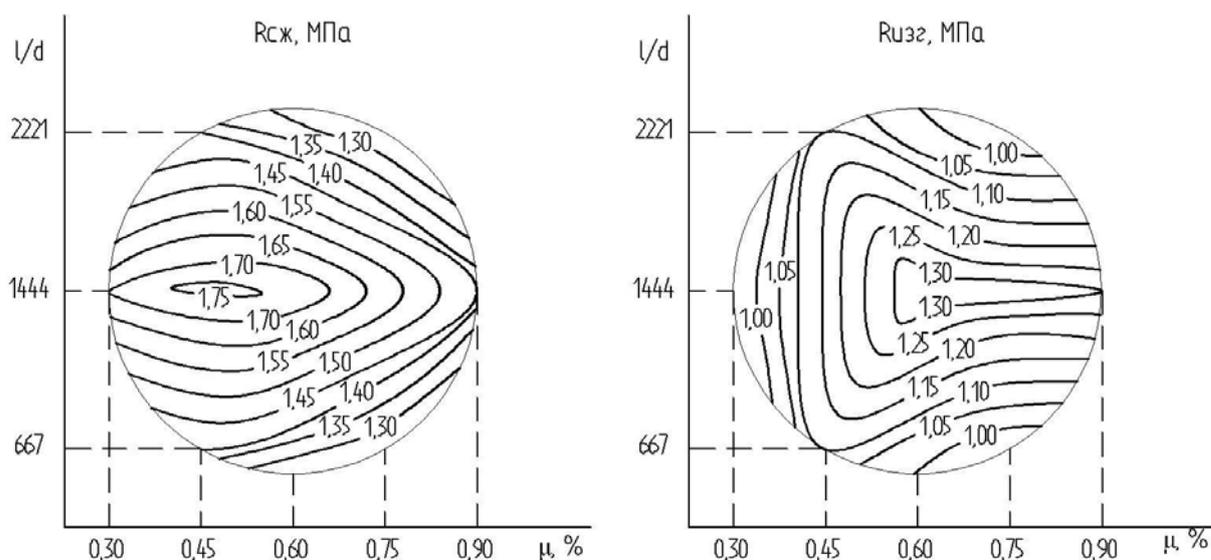


Рис. 2. Поверхности отклика на 28-е сутки твердения композита:

$R_{сж}$ – прочность на сжатие, МПа; $R_{изг}$ – прочность при изгибе, МПа;

l/d – отношение длины фибр к их диаметру; μ_v – процент армирования по объему

Из полученных результатов следует, что максимальные значения прочностных характеристик композита на 28-е сутки твердения от процента

армирования и соотношения длины волокон к диаметру аналогичны характеристикам композита через 2 часа схватывания.

Таким образом, выявлено, что максимальные значения параметров оптимизации наблюдаются в центральной области плана с $\mu_v \approx 0,30 - 0,65\%$ и $l/d = 1444$. Прочность на сжатие фиброгипсовермикулитобетонного композита повышается в 1,16-1,18 раза, при изгибе – в 1,62-1,73 раза по сравнению с прочностью матрицы. Разработанные композиты позволяют сократить расход портландцемента на 30 % и повысить коэффициент размягчения до 0,8. Дальнейшие исследования направлены на исследования огнезащитных свойств разработанных композитов.

Литература

1. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): справочник под общ. ред. А.В. Ферронской. М.: АСВ, 2004. 488 с.
2. Ферронская А.В., Волков Ю.С. Роль строительства в решении экологических проблем современной цивилизации // Строительный эксперт. 2003. № 13 (152). С. 7.
3. Journal of Materials Science Letters. 1987. Vol. 6. № 5. PP. 562–564.
4. Bulletin des Avis Techniques du CSTB. 1984, Spec. Novembre. Avis technique. № 9/84. S. 323.
5. Гипс: исследование и применение гипсовых строительных материалов / пер. с нем. под ред. В.Б. Ратинова. М.: Стройиздат, 1981. 223 с.
6. Моргун Л.В. Размышления об эффективности стеновых материалов // Инженерный вестник Дона, 2008. №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2008/97.
7. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Развитие теории формирования структуры и свойств бетонов с техногенными отходами // Изв. вузов. 1996. №7. С. 13–15.
8. 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.

9. Ахматов М.А. Эффективность применения местных строительных материалов и бетона. Нальчик: Эльбрус, 1986. 160 с.

10. Карпов В.В., Коробейников А.В., Малышев В.Ф., Фролькис В.А. Математическая обработка эксперимента и его планирование. Учеб. пособие М.: АСВ, СПб., СПбГАСУ, 1998. 100 с.

References

1. Gipsovye materialy i izdeliya (proizvodstvo i primeneniye) [Gypsum materials and article (production and application)]: spravochnik pod obshch. red. A.V. Ferronskoy. М.: ASV, 2004. 488 p.

2. Ferronskaya A.V., Volkov Yu.S. Stroitel'nyy ekspert. 2003. № 13 (152). S. 7.М.: ASV, 2004. 488 p.

3. Journal of Materials Science Letters. 1987. Vol. 6. № 5. PP. 562–564.

4. Bulletin des Avis Techniques du CSTB. 1984, Spec. Novembre. Avis technique. № 9/84. S. 323.

5. Gips: issledovanie i primeneniye gipsovykh stroitel'nykh materialov [Gypsum: a study and the application of gypsum building materials]. Per. s nem. pod red. V.B. Ratinova. М.: Stroyizdat, 1981. 223 p.

6. Morgun L.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2008. №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2008/97.

7. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. Izv. vuzov. 1996. №7. PP. 13–15.

8. Khezhev Kh.A., Khezhev T.A., Kimov U.Z., Dumanov K.Kh. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011. №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/710.



9. Akhmatov M.A. Effektivnost' primeneniya mestnykh stroitel'nykh materialov i betona [Effectiveness of the application of local building materials and concrete]. Nal'chik: El'brus, 1986. 160 p.

10. Karpov V.V., Korobeynikov A.V., Malyshev V.F., Frol'kis V.A. Matematicheskaya obrabotka eksperimenta i ego planirovanie [Mathematical working of experiment and its planning]. Ucheb. posobie M.: ASV, SPb., SPbGASU, 1998. 100 p.