

Огнезащитные и жаростойкие вермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла и пемзы

Т.А. Хежсев, А.З. Жуков, Х.А. Хежсев

Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик

Аннотация: Представлены результаты исследований по разработке вермикулитобетонных композитов с применением вулканического пепла и пемзы. Предложены составы вермикулитобетонных композитов, позволяющие существенно сократить расход портландцемента и одновременно повысить их огнезащитные свойства. Применение базальтовых волокон в композитах позволяет повысить прочность, трещиностойкость и огнезащитные свойства покрытия за счет восприятия растягивающих температурных напряжений во время пожара. Замена цемента до 30 % от массы вулканической пемзой фракции $d < 0,16$ мм существенно повышает жаростойкие свойства цементного камня с одновременным увеличением прочности на изгиб и без заметного снижения прочности на сжатие.

Ключевые слова: портландцемент, строительный гипс, известь, вулканический пепел, вулканическая пемза, вспученный вермикулит, базальтовое волокно, смола древесная омыленная, вермикулитобетонный композит, жаростойкие свойства, предел огнестойкости, армоцементные плиты.

Повышение пожарной безопасности зданий и сооружений является актуальной проблемой в связи с увеличением количества пожаров в последние десятилетия. Основной причиной человеческих жертв и материального ущерба при пожаре является обрушение несущих строительных конструкций. Анализ возможных способов повышения предела огнестойкости конструкций показал, что наиболее эффективным считается нанесение огнезащитных теплоизолирующих покрытий с применением легких заполнителей. В качестве легких заполнителей используют вспученный вермикулит, перлит, гранулированная минеральная вата, керамзит и другие [1, 2, 3]. Легкие заполнители нашли применение и в жаростойких конструкционных и теплоизоляционных бетонах [4, 5]. Для повышения жаростойких свойств цементного камня используют шамот, золу, керамзитовую пыль, трепел и другие.

Кабардино-Балкарская республика располагает большими запасами вулканических горных пород – туфы, пеплы, пемзы, пеплопемзы. Они находят применение в качестве заполнителя и активной минеральной добавки при изготовлении вяжущих, растворов и бетонов [6, 7]. Вместе с тем объемы применения вулканических горных пород в строительстве недостаточны. Применение местного сырья для изготовления новых эффективных строительных материалов и изделий может существенно снизить стоимость строительства.

Для расширения области применения вулканических пород нами разработаны композиты с применением туфового песка и пепла [8, 9, 10].

Дальнейшие исследования были направлены на разработку новых огнезащитных и жаростойких композитов с использованием пепла и пемзы.

В экспериментах использовались: пепел фракции 0-0,16 мм; вулканическая пемза Псыхурейского месторождения с насыпной плотностью 700 кг/м³; вспученный вермикулит фракции 0,16-5 мм; Белгородский портландцемент ПЦ500-ДО; негашеная известь; гипс марки Г-4-П-А; воздухововлекающая добавка смола древесная омыленная (СДО), базальтовая фибра изготовления ОАО «Ивотстекло» марки РНБ-9-1200-4с.

Гранулометрические составы вспученного вермикулита и вулканической пемзы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав заполнителей

Наименование материала	Частные остатки на ситах, %					Прошло сквозь сито 0,16
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Вермикулит	26,7	21,9	31,4	14,7	5,3	–
Вулканическая пемза	–	1	11	43,5	35	9,5

Приготовление смеси производили в бетономешалке принудительного действия, в которой в воду с СДО последовательно загружали сухую смесь портландцемента, гипса, извести, базальтового волокна, вулканического пепла (пемзы), затем – вспученного вермикулита, или предварительно перемешанную всухую смесь портландцемента, гипса, извести, базальтового волокна, вулканического пепла (пемзы) и вспученного вермикулита. Перемешивание всех компонентов продолжали до получения однородной огнезащитной фибровермикулитобетонной сырьевой смеси. Продолжительность перемешивания смеси составляла 1,5 – 2 мин.

Образцы размерами 4x4x16 см из вермикулитобетона уплотняли на стандартной виброплощадке. Подвижность смеси составляла 3-5 см по погружению конуса СтройЦНИЛ. Образцы хранились в воздушно-сухих условиях. Перед испытанием балочки высушивались при $t = 105$ °С до постоянной массы в сушильном шкафу.

В результате проведенных экспериментов разработаны вермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение компонентов в смеси и физико-механические свойства вермикулитобетонных композитов

№№ составов	Соотношение компонентов в смеси, мас. %					Количество СДО в % от массы вяжущего	Средняя плотность ρ , кг/м ³	Предел прочности, МПа	
	цемент	вермикулит	пепел	известь	гипс			на сжатие	на изгиб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	71,9	29,1	–	–	–	–	750	6,2	2,7
2	50,3	29,1	21,4	–	–	–	762	5,9	2,5
3	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	–	750	6,0	2,4
4	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	0,1	720	6,2	2,6

5	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	0,2	710	6,15	2,5
6	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	0,3	710	6,0	2,4
7	62,1	37,9	–	–	–	–	595	2,9	1,6
8	43,5	37,9	18,4	–	–	–	600	2,7	1,5
9	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	–	590	2,8	1,4
10	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,1	570	2,9	1,35
11	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,2	560	2,8	1,3
12	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,3	540	2,7	1,2
13	56,2	43,8	–	–	–	–	500	1,8	0,65
14	39,3	43,8	16,7	–	–	–	510	1,7	0,6
15	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	–	500	1,7	0,65
16	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	0,1	480	1,8	0,7
17	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	0,2	470	1,7	0,6
18	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	0,3	460	1,6	0,5

Результаты исследований показывают, что разработанные составы имеют одинаковую прочность на сжатие и изгиб по отношению к контрольным составам при одновременном снижении расхода цемента и плотности, что обеспечивается пуццолановыми свойствами пепла и применением СДО. Применение строительного гипса и извести в качестве возбuditеля скрытой гидравлической активности вулканического пепла позволило значительно сократить расход цемента без снижения прочности огнезащитного композита. При введении смолы древесной омыленной 0,1–0,3 % от массы цемента расход воды для смеси снижается, плотность вермикулитобетона уменьшается на 40–50 кг/м³.

Было исследовано влияние параметров фибрового армирования базальтовыми волокнами на свойства вермикулитобетона с применением ротатбельного плана второго порядка типа правильного шестиугольника.

По результатам эксперимента получены уравнения регрессии в кодированном виде:

$$Y_1 = 3,6 - 0,2X_1 - 0,3X_1^2 - 0,9X_2^2 + 0,12X_1X_2 ;$$
$$Y_2 = 2,6 + 0,2X_1 - 0,65X_1^2 - 0,65X_2^2.$$

Из уравнений регрессии следует, что повышение прочности на сжатие происходит в области плана с $\mu_v \approx 0,35 - 0,65\%$ и $l/d = 1444$, а прочности на изгиб – $\mu_v \approx 0,6 - 0,85\%$ и $l/d = 1444$.

Огнезащитные свойства разработанных фибровермикулитобетонных композитов исследовались на двухслойных армоцементных плитах. Плиты изготавливали на стандартной виброплощадке.

Двухслойные плиты размерами 190×190 мм испытывали на огнестойкость в соответствии с ГОСТ 30247.0–94. Предел огнестойкости по несущей способности (R) армоцементных плит оценивали по прогреву тканой сетки в конструктивном слое (на границе слоев) до 300 °С. Нарушений целостности двухслойных армоцементных плит не обнаружено во время испытаний.

Составы разработанной огнезащитной фибровермикулитобетонной сырьевой смеси приведены в табл. 3.

Таблица 3

Соотношения компонентов в вермикулитобетонной смеси

№№ составов	Соотношение компонентов в смеси, мас. %							
	цемент	вермикулит	пепел	известь	гипс	волокно	СДО	вода
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	8,4	21,32	9,2	8,1	0,4	1,5	0,08	51,0
2	10,6	20,5	11,7	10,6	0,5	–	0,1	46,0
3	10,3	20,1	11,5	10,3	0,5	1,2	0,1	46,0
4	13,2	16,47	15,2	13,3	0,6	1,0	0,13	40,1
5	10,3	20,1	11,5	10,3	0,5	1,2	0,1	46,0
6	10,3	20,1	11,5	10,3	0,5	1,2	0,1	46,0

Физико-механические свойства разработанных фибровермикулитобетонных композитов, пределы огнестойкости двухслойных армоцементных плит приведены в табл. 4.

Таблица 4

Физико-механические свойства композитов и пределы огнестойкости двухслойных армоцементных плит

№№ составов	Средняя плотность ρ , кг/м ³	Прочность в возрасте 28 сут, МПа		Армоцементный слой толщиной, мм	Огнезащитный слой толщиной, мм	Предел огнестойкости плит, мин	
		на изгиб	на сжатие			по несущей способности (R)	по теплоизолирующей способности (E)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	480	1,2	2,3	20	15	94,0	103,0
2	570	1,4	2,8	20	15	91,0	99,0
3	570	2,6	3,6	20	15	102,0	112,0
4	720	4,8	7,9	20	15	80,0	86,0
5	570	2,6	3,6	20	20	223	142
6	570	2,6	3,6	20	25	400	260

Из таблицы 3 и 4 видно, что составы со средней плотностью 480 – 570 кг/м³ имеют более высокие огнезащитные свойства. Кроме того, армирование исходной матрицы базальтовыми волокнами повышает трещиностойкость и огнезащитные свойства покрытия за счет восприятия растягивающих температурных напряжений во время пожара.

В дальнейших экспериментах для получения огнезащитных и жаростойких композитов применялась вулканическая пемза Психурейского месторождения.

Результаты исследований свойств композитов на портландцементе ПЦ500-Д0 без добавок и с добавками вулканической пемзы приведены в табл. 5.

Таблица 5

Свойства цементного камня и бетона на цементе с пемзой

Количество добавки пемзы в % по массе от цемента	Свойства цементного камня (бетона)								
	средняя плотность (кг/м ³), в возрасте, сут			предел прочности при изгибе (МПа) в возрасте, сут			предел прочности при сжатии (МПа) в возрасте, сут		
	28			28			28		
	температура нагрева, °С			температура нагрева, °С			температура нагрева, °С		
	105	600	800	105	600	800	105	600	800
ПЦ500-ДО, без добавки									
0	1788	1769	1760	5,8	5,3	4,4	46,0	26,7	23,2
ПЦ500-ДО, добавка пемзы с размерами зерен $0 < d < 0,16$ мм									
30	1609	1538	1528	6,4	6,3	6,3	39,5	25,4	24,2
ПЦ500-ДО, добавка пемзы с размерами зерен $0 < d < 0,31$ мм									
20	1764	1746	1717	7,6	7,4	6,2	32,2	31,4	27,6
40	1787	1753	1733	5,4	5,0	3,6	28,5	24,0	23,3
60	1725	1700	1680	4,9	4,6	3,5	16,2	15,5	14,7
ПЦ500-ДО, добавка пемзы с размерами зерен $0 < d < 0,63$ мм									
20	1750	1692	1682	7,4	7,0	6,1	35,5	32,8	32,4
40	1656	1623	1606	6,8	6,3	6,2	25,1	23,1	21,7
60	1511	1490	1469	4,6	4,2	3,7	13,7	12,8	12,5
ПЦ500-ДО, добавка пемзы с размерами зерен $0 < d < 1,25$ мм									
20	1711	1684	1673	7,1	6,5	5,3	30,7	27,6	22,4
40	1630	1607	1534	7,4	6,6	6,1	20,8	18,9	15,6
60	1423	1392	1385	3,9	3,7	3,3	10,8	8,2	8,0

Из таблицы 5 следует, что добавка вулканической пемзы фракции $d < 0,16$ мм до 30 % от массы цемента существенно повышает жаростойкие свойства цементного камня с одновременным увеличением прочности на изгиб и без заметного снижения прочности на сжатие, что связано с гидравлической активностью пылевидной фракции вулканической пемзы. Применение пемзы с большими размерами зерен в большей степени снижает прочность на сжатие композита, но при этом существенно повышаются жаростойкие свойства и незначительно снижается средняя плотность композита.

Далее были проведены исследования по разработке огнезащитных и жаростойких вермикулитобетонов с применением вулканической пемзы, результаты экспериментов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Физико-механические свойства вермикулитобетонов с применением вулканической пемзы

№№ составов	Характеристики вермикулитобетонного композита								
	средняя плотность, кг/м ³			предел прочности при изгибе (МПа) в возрасте 28 сут			предел прочности при сжатии (МПа) в возрасте 28 сут		
	температура нагрева, °С			температура нагрева, °С			температура нагрева, °С		
	105	600	800	105	600	800	105	600	800
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Цемент : вермикулит по объему – 1:3									
1	720	715	710	1,6	1,3	1,0	2,9	2,2	2,1
Цемент : вермикулит по объему – 1:3 с добавкой пемзы фракции 0–0,16 мм по массе от цемента									
2	723	712	707	1,4	1,26	0,9	2,4	1,8	1,7
Цемент : пемза (фракции 0–1,25 мм) по объему – 1:3									
3	1461	1436	1426	3,2	2,2	1,9	11,9	7,4	6,7
Цемент : пемза (фракции 0,16–0,315 мм)+вермикулит фракции 0,315–5 мм вместо пемзы фракции 0,315–1,25 по объему – 1:3									
4	1676	1657	1650	3,6	2,9	1,9	14,0	10,7	8,5
Цемент : пемза (фракции 0,16–0,63 мм)+вермикулит фракции 0,63–5 мм вместо пемзы фракции 0,63–1,25 по объему – 1:3									
5	1303	1288	1280	2,1	1,9	1,9	8,8	6,5	6,4

Исследования показали, что при введении до 30 % пемзы фракции 0–0,16 мм по массе от цемента прочностные характеристики вермикулитобетона снижаются незначительно, но при этом повышаются их жаростойкие свойства. Замена части вулканической пемзы вспученным вермикулитом позволяет снизить среднюю плотность вермикулитобетонного композита и повысить их жаростойкие свойства.

Дальнейшие исследования направлены на исследования огнезащитных свойств разработанных композитов с применением вулканической пемзы.

Литература

1. Руководство по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом. М.: Стройиздат, 1977. 46 с.
2. Journal of Materials Science Letters. 1987. Vol. 6. № 5. PP. 562–564.
3. Steel Strategy and Fire Protection. International Construction. 1972. Vol. 11. № 1. PP. 13 – 15.
4. Некрасов К.Д., Масленникова М.Г. Легкие жаростойкие бетоны на пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1982. 152 с.
5. Денисов А.С., Швыряев В.А. Теплоизоляционные жаростойкие торкрет-массы на основе вермикулита. М.: Стройиздат, 1973. 104 с.
6. Ахматов М.А. Эффективность применения местных строительных материалов и бетона. Нальчик: Эльбрус, 1986. 160 с.
7. Ахматов М.А. Эффективность применения легких бетонов, изделий и конструкций из них // Строительные материалы. 1998. № 4. С. 9 – 13.
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. Хежев Т.А., Матаев Т.З., Гедгафов И.А., Дымов Р.Х.. Фиброгипсовермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла // Инженерный вестник Дона, 2015. №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015.
10. Хежев Т.А., Пухаренко Ю.В., Хежев Х.А. Бесцементные бетоны с применением вулканических горных пород // Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ. 2011. №1 (26). С. 107–114.

References

1. Rukovodstvo po vypolneniyu ognezashchitnykh i teploizolyatsionnykh shtukатурок mekhanizirovannym sposobom [Management on the fulfillment of fire-retardant and thermal insulation plasterings in a mechanized manner]. M.: Stroyizdat, 1977. 46 p.
2. Journal of Materials Science Letters. 1987. Vol. 6. № 5. PP. 562–564.
3. Steel Strategy and Fire Protection. International Construction. 1972. Vol. 11. № 1. PP. 13 – 15.
4. Nekrasov K.D., Maslennikova M.G. Legkie zharostoykie betony na poristykh zapolnitelyakh [Light heat-resistant concrete on the porous fillers]. M.: Stroyizdat, 1982. 152 p.
5. Denisov A.S., Shvyryaev V.A. Teploizolyatsionnye zharostoykie torkret-massy na osnove vermikulita [Thermal insulation high-temperature gunite-masses on the basis of the vermiculite]. M.: Stroyizdat, 1973. 104 p.
6. 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.
7. Akhmatov M.A. Stroitel'nye materialy. 1998. № 4. PP. 9 – 13.
8. Khezhev Kh.A., Khezhev T.A., Kimov U.Z., Dumanov K.Kh. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011. №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/710.
9. Khezhev T.A., Mataev T.Z., Gedgafov I.A., Dymov R.Kh. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015. №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015.
10. Khezhev T.A., Pukharenko Yu.V., Khezhev Kh.A. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. SPbGASU. 2011. №1 (26). PP. 107–114.