СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.32

Хежев Т.А., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Х.А., Курбанов Р.М.

ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА ОГНЕЗАЩИТНЫХ ФИБРОГИПСОВЕРМИКУЛИТОБЕТОННЫХ КОМПОЗИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Khezhev T.A., Khadzhishalapov G.N., Khezhev KH.A., Kurbanov R.M.

TECHNOLOGY AND THE PROPERTIES OF THE FIRE-RETARDANT FIBROGIPSOVERMIKULITOBETONNYKH COMPOSITES WITH THE APPLICATION OF THE VOLCANIC ROCKS

Разработаны огнезащитные композиты с применением гипса, негашеной извести, вспученного вермикулита, туфового песка, базальтовых волокон и смолы древесной омыленной. Исследованы способы приготовления огнезащитной смеси и формования изделий из композитов. Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований огнестойкости армоцементных элементов с огнезащитным слоем из гипсовермикулитотуфобетонных и фиброгипсовермикулитотуфобетонных композитов.

Ключевые слова: огнезащита, гипс, известь, вспученный вермикулит, туфовый песок, базальтовые волокна, предел огнестойкости.

Fire-retardant composites with the application of gypsum, unslaked lime, distended vermiculite, tuffaceous sand, basaltic fibers and resin of wood of that saponified are developed. The methods of the preparation of fire-retardant mixture and molding of articles made of the composites are investigated. Are given the results of experimental and theoretical studies of the fire resistance of armotsementnykh elements with the fire-retardant layer from the gipsovermikulitotufobetonnykh and fibrogipsovermikulitotufobetonnykh composites.

Key words: fire protection, gypsum, lime, the distended vermiculite, tuffaceous sand, basaltic fibers, the limit of fire resistance.

К числу наиболее эффективных средств огнезащиты строительных конструкций следует отнести плиты и огнезащитные штукатурки на основе вспученного вермикулита, наиболее термостойкого из легких заполнителей, и минеральных вяжущих [1]. Составы на гипсе широко применяются для внугренней отделки помещений, выполняющие одновременно и огнезащитные функции. Главным недостатком таких штукатурок является невысокая влагостойкость, что определяет область их применения только внугри помещений, а также высокий расход вяжущего.

Преодоление многих недостатков гипсовых вяжущих и изделий возможно в результате создания композитов с использованием эффективных заполнителей и дисперсного армирования. В результате проведенных нами исследований выявлено, что для гипсобетонных композитов в качестве заполнителя эффективно применение вулканических горных пород, в частности, отходы пиления вулканического туфа, так как они одновременно могут служить в качестве активной минеральной добавки и заполнителя, что позволяет существенно уменьшить расход гипса и решить вопросы утилизации промышленных отходов [2].

Исходя из результатов ранее проведенных экспериментов, в дальнейших исследованиях для разработки огнезащитных вермикулитобетонных композитов в качестве активной минеральной добавки и заполнителя применялись отходы пиления

вулканического туфа фракции 0-0,14 мм [3]. При соотношении извести и туфового песка равном 0,9 достигается максимальная прочность на сжатие и изгиб гипсобетонных композитов.

Для решения поставленных задач в исследованиях использованы: гипсовое вяжущее марки Γ –4–II–A; воздушная негашеная известь кальциевая порошкообразная; вспученный вермикулит Санкт-Петербургской слюдяной фабрики фракции 0,16-5мм с насыпной плотностью 150 кг/м³; песок из отходов пиления вулканического туфа Заюковского месторождения с максимальной крупностью зерен 0,14 мм; базальтовое волокно производства ОАО «Ивотстекло» марки РНБ-9-1200-4с.

Образцы размером 4x4x16 см формовали литьевым способом и осуществляли естественную сушку в воздушно-сухих условиях в течение 28 суток. Испытание образцов выполнялось в соответствии с ГОСТ 23789-79.

В результате проведенных исследований предложены составы гипсоизвесткововермикулитотуфобетонной смеси (табл. 1).

Таблица 1 - Соотношения компонентов в смеси и физико-механические свойства гипсобетонных огнезашитных составов

$N_{\underline{0}}N_{\underline{0}}$	Соотно	шение компон	ентов в сме	Средняя	едняя Предел		
составов	гипс	вермикулит	туфовый	известь	плотность	прочнос	ти, МПа
			песок		ρ, κΓ/m ³	на	на
						сжатие	изгиб
1	2	3	4	5	6	7	8
1	71,9	28,1	_	_	750	1,6	1,1
2	41,3	29,8	15,2	13,7	760	1,55	1,1
3	62,1	37,9	_	_	560	0,8	0,55
4	35,8	39,1	13,2	11,9	570	0,75	0,5

Из таблицы 1 следует, что использование негашеной извести в качестве возбудителя скрытой гидравлической активности туфового песка позволяет уменьшить расход гипса на 26,3-30,6 % без снижения прочности огнезащитного бетона. Кроме того, замедляются сроки схватывания и повышается коэффициент водостойкости гипсобетонных композитов.

Таблица 2 - Влияние добавки СДО на основные физико-механические свойства гипсоизвесткововермикулитотуфобетонного композита

N_0N_0	Соотношение компонентов в				Коли-	Вода /	Сред-	Пред	цел
coc-	смеси, мас. %			чество	вяжу-	RRH	прочности, МПа		
та-	гипс	ИЗ-	туфо-	вер-	СДО в %	щее	плот-		
BOB		весть	вый	мику-	от массы		ность	на	на
			песок	ЛИТ	вяжущего		ρ, κг/м ³	сжатие	изгиб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	41,3	13,7	15,2	29,8	_	1,25	760	1,55	1,1
2	41,3	13,7	15,2	29,8	0,1	1,15	740	1,6	1,05
3	41,3	13,7	15,2	29,8	0,15	1,1	725	1,65	1,1
4	41,3	13,7	15,2	29,8	0,2	1,1	720	1,65	1,1
5	41,3	13,7	15,2	29,8	0,3	1,08	715	1,60	1,05
6	35,8	11,9	13,2	39,1	_	1,55	570	0,75	0,55
7	35,8	11,9	13,2	39,1	0,1	1,45	560	0,8	0,55
8	35,8	11,9	13,2	39,1	0,15	1,35	540	0,85	0,6
9	35,8	11,9	13,2	39,1	0,2	1,3	540	0,85	0,6
10	35,8	11,9	13,2	39,1	0,3	1,25	535	0,8	0,55

С целью снижения средней плотности гипсоизвесткововермикулитотуфобетонных композитов, улучшения удобоукладываемости и повышения огнезащитных свойств было исследовано влияние воздухововлекающей добавки СДО в условиях равной подвижности смесей с добавкой и без нее, диаметр расплыва смеси 180 ± 5 мм (табл. 2).

Выявлено, что при содержании добавки СДО 0.15-0.2 % от массы вяжущего расход воды для смеси существенно уменьшается, средняя плотность бетонного композита снижается на $30-40~{\rm kr/m^3}$. При этом пределы прочности при сжатии и при изгибе композита с добавкой и без нее на $28~{\rm cyrku}$ остаются практически неизменными.

Для исследования огнезащитных свойств предлагаемых составов изготавливали армоцементные плиты с огнезащитным слоем. Исследования на огнестойкость проводили испытанием образцов размерами 190×190 мм на электрической печи в горизонтальном положении по температурному режиму «стандартного» пожара, регламентированному ГОСТ(ом) 30247.1–94. Предел огнестойкости по несущей способности (R) армоцементных плит оценивали по прогреву тканой сетки в конструктивном слое (на границе слоев) до $300\,^{\circ}$ С. Влажности мелкозернистого бетона армоцементного слоя и огнезащитного состава к моменту испытаний составляли соответственно $3-4\,\%$ и $8-10\,\%$. Во время огневых испытаний двухслойных элементов нарушений их целостности не обнаружено.

Результаты испытаний на огнестойкость армоцементных плит с гипсовермикулитобетонным огнезащитным слоем представлены на рис. 1.

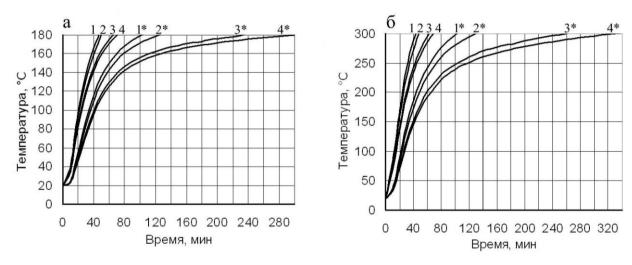


Рисунок 1 - Экспериментальные кривые изменения температуры на необогреваемой поверхности (а) и на уровне тканой сетки (б) двухслойных армоцементных образцов:

- 1, 3 гипсовермикулитобетонные композиты со средней плотностью 750 кг/м 3 и 560 кг/м 3 соответственно, толщиной слоя 15 мм; $1^*, 3^*$ то же, толщиной 25 мм;
- 2, 4 гипсоизвесткововермикулитотуфобетонные композиты со средней плотностью 720 кг/м³ и 540 кг/м³ соответственно, толщиной слоя 15 мм; 2^* , 4^* то же, толщиной 25 мм

Из рисунка 1 следует, что разработанные гипсоизвесткововермикулитотуфобетонные композиты обеспечивают более высокие пределы огнестойкости армоцементных плит по гипсовермикулитобетонными. сравнению Это объясняется образованием гидросиликатов тоберморитовой группы, железистого волластонита аллофана, обладающие более высокими жаростойкими свойствами по сравнению с двуводным гипсом [3]. Кроме того, добавка СДО дополнительно гипсоизвесткововермикулитотуфобетонный композит, что способствует повышению огнезащитных свойств. Наиболее высокими огнезащитными свойствами обладают составы со средней плотностью 540 кг/м³.

Изучение огнестойкости строительных конструкций испытаниями по «стандартному» температурному режиму представляет собой трудоемкую задачу, для решения которой требуется дорогостоящее оборудование. В этой связи большое значение имеют расчетные методы определения пределов огнестойкости конструкций. Нами разработаны алгоритм и программное обеспечение теплотехнического расчета предела огнестойкости многослойных строительных конструкций, обеспечивающие приемлемое совпадение расчетных значений с экспериментальными [4]. Зависимость предела огнестойкости армоцементных конструкций от толщины и состава композита, полученная расчетным методом, приведена на рис. 2.

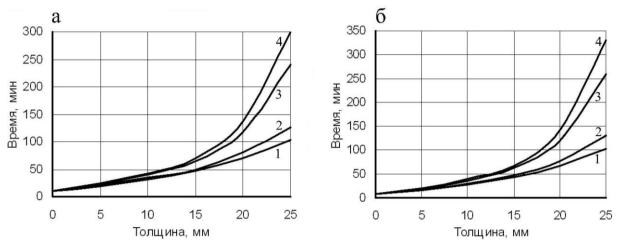


Рисунок 2 - Зависимость предела огнестойкости двухслойных армоцементных элементов по признаку потери теплоизолирующей способности (а) и потери несущей способности (б) от толщины и состава гипсобетонного слоя (1, 2, 3, 4 – см. рис. 1)

Разработанные гипсоизвесткововермикулитотуфобетонные композиты имеют такие недостатки как хрупкость, относительно низкая прочность на изгиб и сжатие. Для получения композитов с улучшенными прочностными и другими характеристикам было исследовано влияние параметров фибрового армирования базальтовыми волокнами на их свойства с применением ротатабельного плана второго порядка типа правильного шестиугольника. Соотношение компонентов матрицы ДЛЯ изготовления фиброгипсоизвесткововермикулитотуфобетонного композита, мас. %: гипсовое вяжущее -35.8; вспученный вермикулит -39.1; туфовый песок -13.1; негашеная известь -11.9; СДО - 0,1. В качестве исследуемых факторов были приняты основные параметры дисперсного армирования: X_1 – процент армирования по объему μ_{ij} , %; X_2 – отношение длины волокон к их диаметру l/d. В качестве параметров оптимизации рассматривались: Y_1 – предел прочности при сжатии $R_{cж}$, МПа; Y_2 – предел прочности при изгибе R_{usc} , МПа (табл. 3).

Таблина 3 - Матрина эксперимента

Nº Nº		альные	Матрица эксперимента						
X ₁		\mathbf{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	0,9	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	0,6	1444	0	0	0	0	0		

Получены следующие уравнения регрессии в кодированном виде:

$$\begin{split} Y_1 &= 1 + 0.09X_1 + 0.014X_2 - 0.2X_1^2 - 0.21X_2^2 + 0.03X_1X_2 \; ; \\ Y_2 &= 1.1 - 0.083X_1 - 0.075X_1^2 - 0.275X_2^2 + 0.058X_1X_2 \; . \end{split}$$

По уравнениям регрессии построены поверхности отклика (рис. 3).

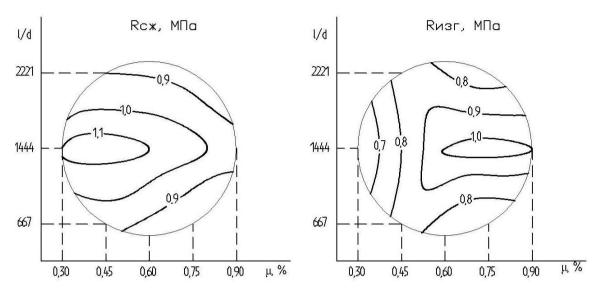


Рисунок 3 - Поверхности отклика:

 $R_{c \to c}$ — предел прочности на сжатие, МПа; $R_{u \ni c}$ — предел прочности при изгибе, МПа; l/d — отношение длины волокон к их диаметру; μ — процент армирования по объему

Анализ полученных уравнений и поверхностей отклика показал, что наибольшие значения прочности на сжатие наблюдаются в области плана с $\mu_{\nu}\approx 0.45\%$ и $\frac{l}{d}=1444$, а прочности на изгиб – $\mu_{\nu}\approx 0.75\%$ и $\frac{l}{d}=1444$ Дальнейшее увеличение процента армирования приводит к снижению прочности, что объясняется нарушением структуры фиброгипсоизвесткововермикулитотуфобетонного композита.

Были проведены исследования огнезащитных свойств разработанного фиброгипсоизвесткововермикулитотуфобетонного композита, армированного базальтовыми волокнами, по ранее описанной методике и получены следующие кривые (рис. 4). Толщины армоцементного и огнезащитного слоев составляли 20 мм.

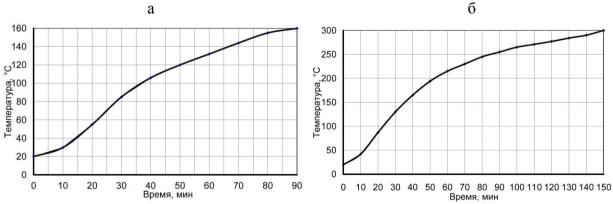


Рисунок 4 - Экспериментальные кривые изменения температуры на необогреваемой поверхности (а) и на уровне тканой сетки (б) двухслойных армоцементных образцов с фиброгипсоизвесткововермикулитотуфобетонным слоем

Из результатов испытаний следует, что армирование базальтовыми волокнами гипсоизвесткововермикулитотуфобетонной матрицы повышает огнезащитные свойства. Армирование исходной матрицы со средней плотностью 540 кг/м³ базальтовыми волокнами позволяет уменьшить толщину огнезащитного слоя с 25 мм до 20 мм.

Известно, что последовательность загрузки материалов в смеситель существенно влияет на свойства вермикулитобетонов. Нами рассматривались два способа приготовления смеси:

- 1) после подачи воды с добавкой СДО в смеситель одновременно загружали предварительно перемешанную всухую смесь гипса, негашеной извести, туфового песка, базальтового волокна и вспученного вермикулита.
- 2) после подачи воды с добавкой СДО в смеситель вначале загружается предварительно перемешанная всухую смесь гипса, негашеной извести, туфового песка и базальтового волокна, предварительно готовят смесь, а затем добавляют вспученный вермикулит и окончательно перемешивают.

Оба способа приготовления смеси обеспечивают качественную распушку и равномерное распределение базальтовых волокон в литых смесях. Но для литых смесей предпочтительнее второй способ, так как обеспечивает лучшее обволакивание зерен вермикулита и способствует «самовакуумированию» композита, что способствует повышению прочности. При первом способе прочность композита ниже из-за того, что часть вяжущего попадает в поры заполнителя, в результате чего прослойка вяжущего между отдельными зернами оказывается сравнительно тонкой. При приготовлении более жестких фиброгипсоизвесткововермикулитотуфобетонных смесей порядок введения компонентов в смеситель возможен только первым способом. При иной последовательности загрузки компонентов происходит комкование смеси.

Влияние способа приготовления фиброгипсоизвесткововермикулитотуфобетонной смеси при формовании изделий методом литья на прочность композита приведено в табл. 4. Композиты имели среднюю плотность 530-540 кг/м³ при проценте армирования базальтовыми волокнами по объему $\mu_{\nu} \approx 0.45\%$ и отношении длины волокон к диаметру l/d=1444.

Таблица 4 - Зависимость прочности фиброгипсоизвесткововермикулитотуфобетонного композита от способа приготовления смеси

Способ приготов- ления	Соотн	ошение к	омпонентов		Пред	цел		
	гипс	верми-	туфовый песок, d<0,14	известь	СДО	Вода / вяжущее	прочности, МПа	
							на	на
			MM				сжатие	изгиб
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	35,8	39,1	13,1	11,9	0,1	1,45	0,95	0,7
2	35,8	39,1	13,1	11,9	0,1	1,35	1,1	0,8

Исследовалось влияние способа формования на прочностные характеристики фиброгипсоизвесткововермикулитотуфобетонного композита. Рассматривались метод литья, вибрирование на виброплощадке и вибрирование с инерционным пригрузом (табл. 5). Композиты имели среднюю плотность $540\text{-}570~\text{кг/м}^3$ при проценте армирования базальтовыми волокнами по объему $\mu_{\nu} \approx 0.45\%$ и отношении длины волокон к диаметру

$$\frac{l}{d} = 1444$$
.

Таблица 5 - Зависимость прочности фиброгипсоизвесткововермикулитотуфобетонного композита от способа формования

	Соот	ношение	компонентов		Предел			
Способ формования	гипс	верми- кулит	туфовый песок, d<0,14 мм	известь	СДО	Вода / вяжущее	прочности, МПа	
							на	на
							сжатие	изгиб
1	2	3	4	5	6	7	8	9
литьевой	35,8	39,1	13,1	11,9	0,1	1,35	1,1	0,8
вибрирование	35,8	39,1	13,1	11,9	0,1	1,20	1,3	0,95
вибрирование с пригрузом	35,8	39,1	13,1	11,9	0,1	1,05	1,6	1,2

Для изготовления изделий из огнезащитного композита предпочтительнее метод литья, поскольку при этом смятие вспученного вермикулита происходит в меньшей степени, что обеспечивает более высокие огнезащитные свойства. Изготовление тонкостенных огнезащитных плит вибрированием на виброплощадке не представляется возможным. Результаты экспериментов показывают, что использование методов вибрирования и вибропрессования позволяют повысить прочность композита в 1,2-1,5 раза по сравнению с литьевым способом.

Таким образом, разработаны эффективные составы и способы приготовления огнезащитных гипсобетонных композитов с применением вспученного вермикулита и туфового песка. Наиболее высокими огнезащитными свойствами обладают композиты со средней плотностью 540-570 кг/м³. Выявлено оптимальное соотношение составляющих композитов

Библиографический список:

- 1. Руководство по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом. М.: Стройиздат, 1977. 46 с.
- 2. Хежев Т.А., Пухаренко Ю.В., Хежев Х.А. Бесцементные бетоны с применением вулканических горных пород // Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ. №1 (26). 2011. С. 107-114.
- 3. Хежев Х.А. Влияние зернового состава туфового песка на свойства гипсобетонных композитов // Материалы І-ого Международного конгресса молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов. Санкт-Петербург. СПбГАСУ. 2012. С. 115-117.
- 4. Хежев Т.А., Культербаев Х.П. Теплотехнический расчет огнестойкости многослойных строительных конструкций // Вестник Кабардино-Балкарского гос. ун-та. (Сер. «Технические науки», вып. 4). Нальчик: КБГУ, 2000. С. 9-11.