

## Огнезащитные гипсоцементновермикулитовые штукатурные растворные композиты с вулканической пемзой

*Ф.М. Шогенова, Т.А. Хежеев, А.В. Журтов, А.Р. Кажаров*

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

**Аннотация:** Представлены результаты исследований прочностных свойств штукатурных растворов с вермикулитом на смешанном вяжущем с применением полифункциональной добавки Д-5. Выявлено незначительное ускорение сроков схватывания растворов с полифункциональной добавкой Д-5, пределы прочности при изгибе и сжатии растворов через 2 ч и 28 сут при этом существенного изменения не претерпевают. Замена части вспученного вермикулита фракции 0 – 0,315 мм вулканической пемзой фракции 0 – 0,315 мм в строительном растворе позволяет существенно повысить их прочностные характеристики и снизить себестоимость без заметного увеличения плотности. Получены выражения зависимости предела прочности при сжатии растворов в зависимости от расчетной полной пористости.

**Ключевые слова:** строительный гипс, портландцемент, вулканическая пемза, вспученный вермикулит, полифункциональная добавка Д-5, штукатурные композиты, предел прочности при сжатии и изгибе.

### Введение

Применение композиционных вяжущих на основе гипса в строительстве является актуальной задачей [1,2]. Гипсовые вяжущие используют при выполнении огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом [3,4]. В качестве заполнителя в огнезащитных составах применяют вспученный вермикулит и перлит .

Нами были предложены огнезащитные вермикулитобетонные композиты на цементных и гипсовых вяжущих с применением вулканического пепла и пемзы [5,6].

Для расширения области применения гипсовых вяжущих разработаны гипсоцементнопуцоллановые вяжущие с применением активных минеральных добавок [7].

Для снижения себестоимости огнезащитного штукатурного раствора актуально исследовать возможность замены дорогостоящего вспученного вермикулита вулканической пемзой, которая может служить в качестве активной минеральной добавки и заполнителя [8,9].

Разработка огнезащитного штукатурного раствора на композиционных вяжущих и заполнителях позволит расширить области их эффективного применения и снизить себестоимость.

### **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 АО «Белгородский цемент» (далее по тексту ПЦ);
- вулканическая пемза фракции 0–0,315 мм Псыхурейского месторождения (далее по тексту Пм);
- вспученный вермикулит Санкт-Петербургской слюдяной фабрики применялся фракции 0,16–2,5 мм (далее по тексту В);
- полифункциональная добавка Д-5 производства ООО НПП «Токар» (г. Владикавказ).

Из смеси подвижностью по погружению конуса 10 см ( $P_k$  3) вермикулитового раствора на основе комбинированного вяжущего изготавливались образцы размерами 40x40x160 мм. Образцы хранились в воздушно-сухих условиях. свойства растворов определялись по ГОСТ 23789–

2018. Средняя плотность исследованных растворов в момент испытаний составляла 460 – 710 кг/м<sup>3</sup>, влажность в 28 сут составляла 4,1 – 7,0 %,

### Результаты исследований

На первом этапе исследовано влияние таких рецептурных факторов, как соотношение Г : В (фракция 0–2,5 мм) : ПЦ : Д-5 на основные строительные-технические свойства огнезащитного раствора.

Полученные результаты представлены в табл. 1.

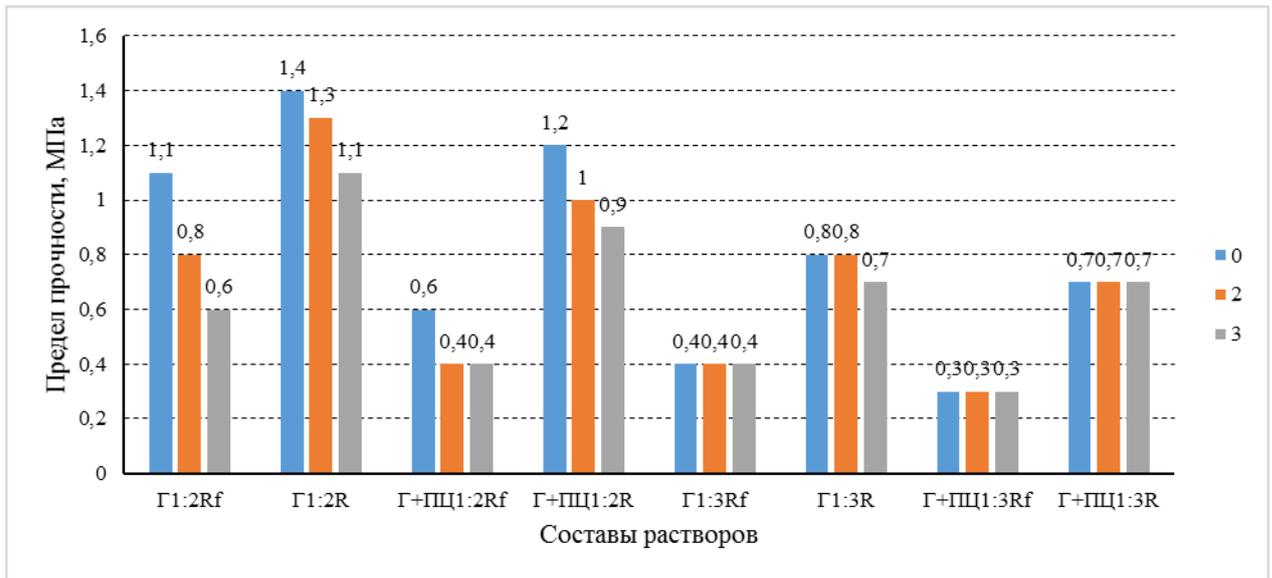
Таблица 1

#### Составы и свойства штукатурных растворов с вермикулитом

№ №	(Г+ПЦ) : В*	ПЦ, % в вяжущем по массе	Д-5 в % от массы вяжущего	Сроки схватывания, мин		Предел прочности, МПа			
				начало	конец	$R_f^1$		$R^2$	
						в возрасте			
						2 ч	28 сут	2 ч	28 сут
1	1:2	–	–	6,2	17,4	1,1	1,1	1,4	2,2
2			2	5,1	15,3	0,8	1,1	1,3	1,8
3			3	4,0	12,2	0,6	1,1	1,1	1,6
4		20	–	6,3	16,1	0,6	1,4	1,2	2,6
5			2	5,5	13,1	0,4	1,2	1,0	1,9
6			3	5,1	11,2	0,4	1,1	0,9	1,7
7	1:3	–	–	8,3	17,2	0,4	0,8	0,8	1,3
8			2	7,5	15,1	0,4	0,7	0,8	1,3
9			3	7,1	14,4	0,4	0,7	0,7	1,2
10		20	–	8,3	16,5	0,3	0,5	0,7	1,7
11			2	7,1	14,4	0,3	0,5	0,7	1,6
12			3	6,6	14,2	0,3	0,4	0,7	1,5

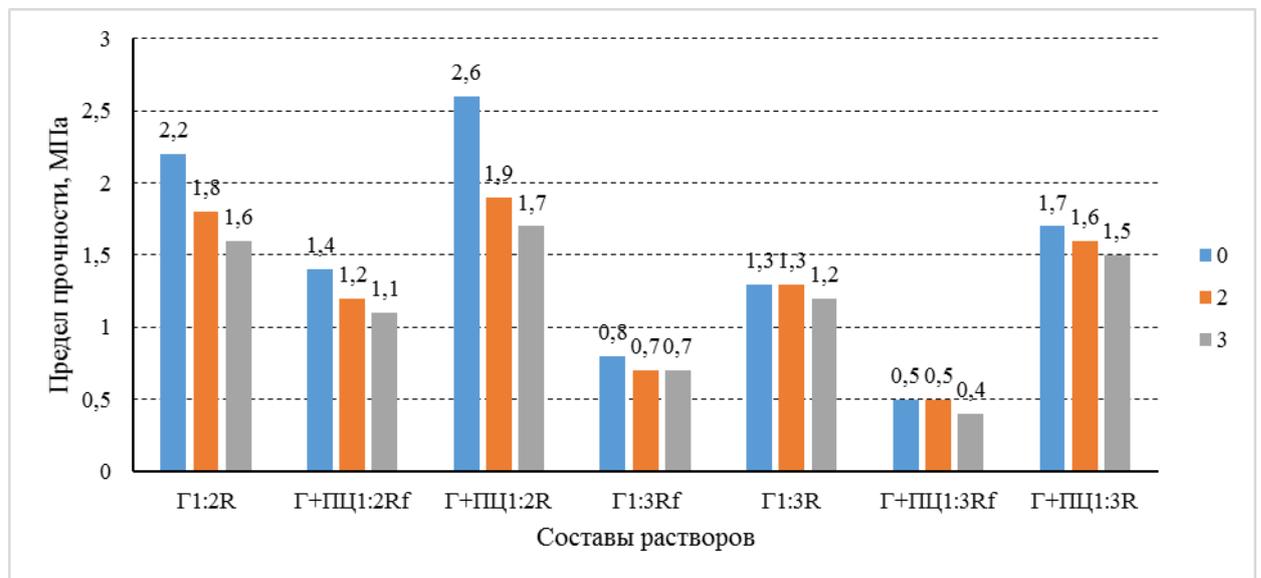
Примечание: \* – по объему; 1 – при изгибе; 2 – при сжатии

Пределы прочности составов по табл. 1 представлены на рис. 1 и 2.



0, 2, 3 – дозировка Д-5, %;  $R_f$  – при изгибе,  $R$  – при сжатии;  
1:2, 1:3 – соотношение вяжущее/вермикулит

Рис. 1. – Пределы прочности составов по табл. 1 в возрасте 2 ч



0, 2, 3 – дозировка Д-5, %;  $R_f$  – при изгибе,  $R$  – при сжатии;  
1:2, 1:3 – соотношение вяжущее/вермикулит

Рис. 2. – Пределы прочности составов по табл. 1 в возрасте 28 сут

На рис. 3 представлено соотношение пределов прочности при изгибе и сжатии растворов по табл. 1

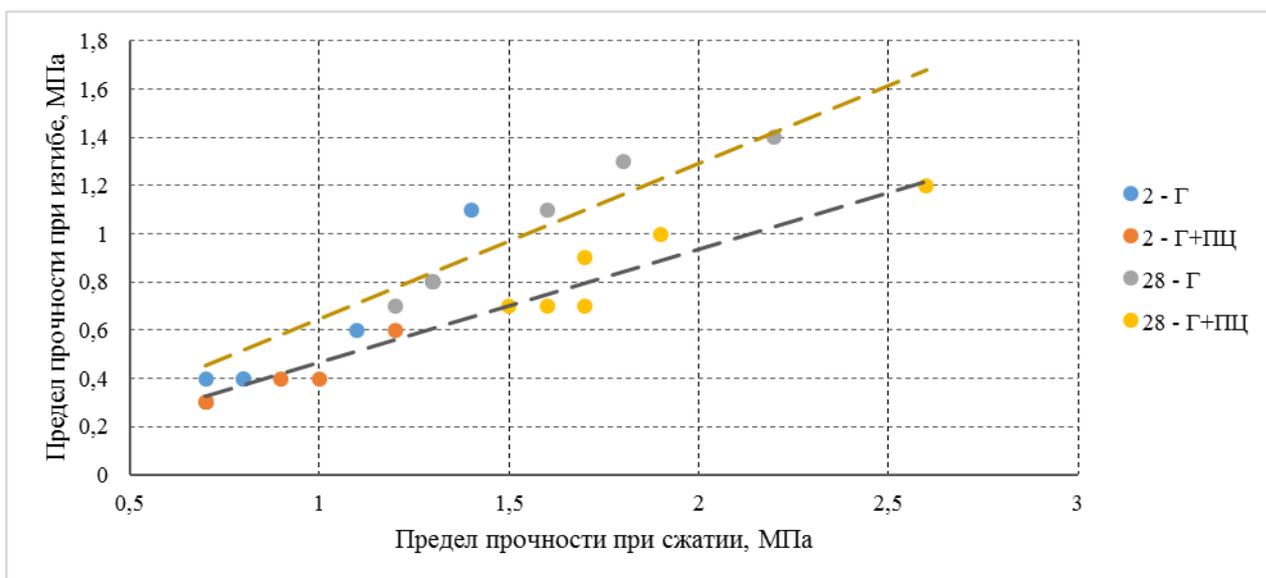


Рис. 3. – Соотношение пределов прочности при изгибе и сжатии растворов по табл. 1

Предел прочности при изгибе  $R_f$  растворов по табл. 1 линейно зависит от предела прочности при сжатии  $R$ :

$$R_f = kR, \quad (1)$$

параметры уравнения ф. (1) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры уравнения ф. (1)

Состав по табл. 5.5	Параметры уравнения ф.(1)	
	k	R <sup>2</sup> *
1-3, 7-9 (Г)	0,63 / 0,65	0,97 / 0,99
4-6, 10-12 (Г+ПЩ)	0,45 / 0,47**	0,99 / 0,99
1-3, 7-9 (Г)	0,65	0,99
4-6, 10-12 (Г+ПЩ)	0,47	0,99

Примечание: \* - показатель достоверности аппроксимации; \*\* - 2 ч / 28 сут

На втором этапе произведена оценка целесообразности для снижения себестоимости строительного раствора замены вермикулита вулканической пемзой фракции 0 – 0,315 мм (табл. 3).

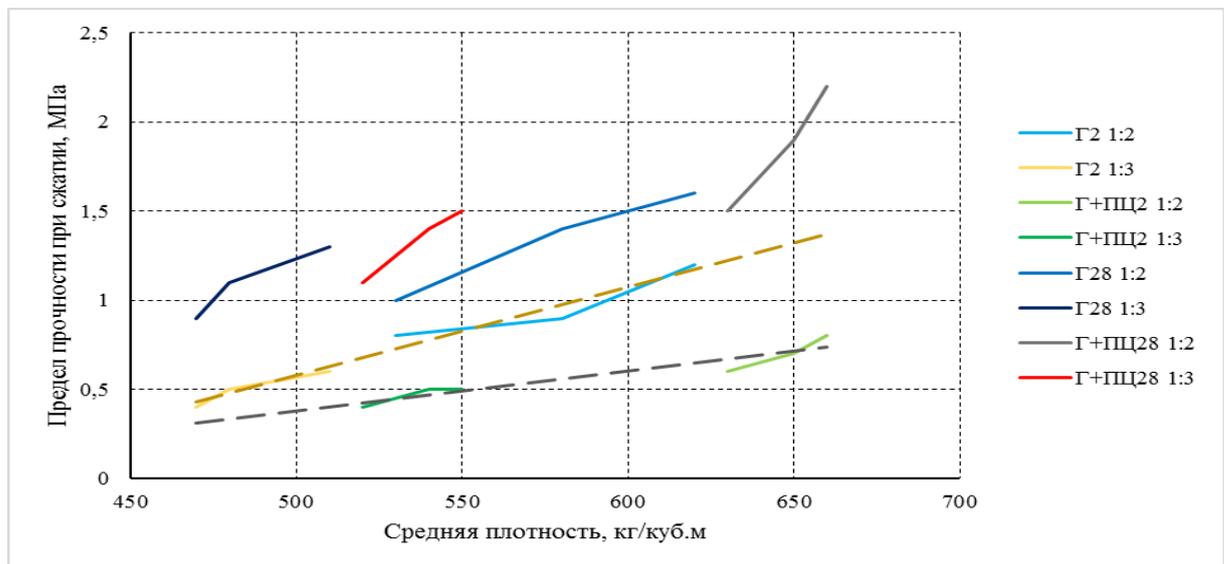
Таблица 3

Состав и свойства штукатурного раствора с вулканической пемзой

№ №	(Г+ПЩ) : (В+Пм)*	ПЩ, % в вяжущем	Д-5, % от массы вяжущего	ρ, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа			
					R <sub>r</sub> <sup>1</sup>		R <sub>r</sub> <sup>2</sup>	
					в возрасте			
					2 ч	28 сут	2 ч	28 сут
1	1:2	–	–	530	0,4	0,7	0,8	1,0
2			2	580	0,4	1,0	0,9	1,4
3			3	620	0,5	1,1	1,2	1,6
4		20	–	630	0,3	1,1	0,6	1,5
5			2	650	0,4	1,4	0,7	1,9
6			3	660	0,4	1,4	0,8	2,2
7	1:3	–	–	470	0,2	0,5	0,4	0,9
8			2	480	0,3	0,5	0,5	1,1
9			3	510	0,3	0,6	0,6	1,3
10		20	–	520	0,3	0,5	0,4	1,1
11			2	540	0,4	0,6	0,5	1,4
12			3	550	0,4	0,6	0,5	1,5

Примечание: \* – по объему; 1 – при изгибе; 2 – при сжатии

На рис. 4 представлена зависимость предела прочности при сжатии строительных растворов по табл. 3 от средней плотности.



Г, ПЩ – соответственно гипс строительный, портландцемент; 2, 28 – возраст 2 ч и 28 сут; 1:2, 1:3 соотношение вяжущее/ вермикулит + пемза

Рис. 4. – Зависимость предела прочности при сжатии от средней плотности строительных растворов

Предел прочности при сжатии  $R$  растворов по табл. 3 линейно зависит от средней плотности  $\rho$  и может быть определен по уравнению:

$$R = a\rho + b \quad (2)$$

параметры уравнения ф. (2) представлены в табл. 4.

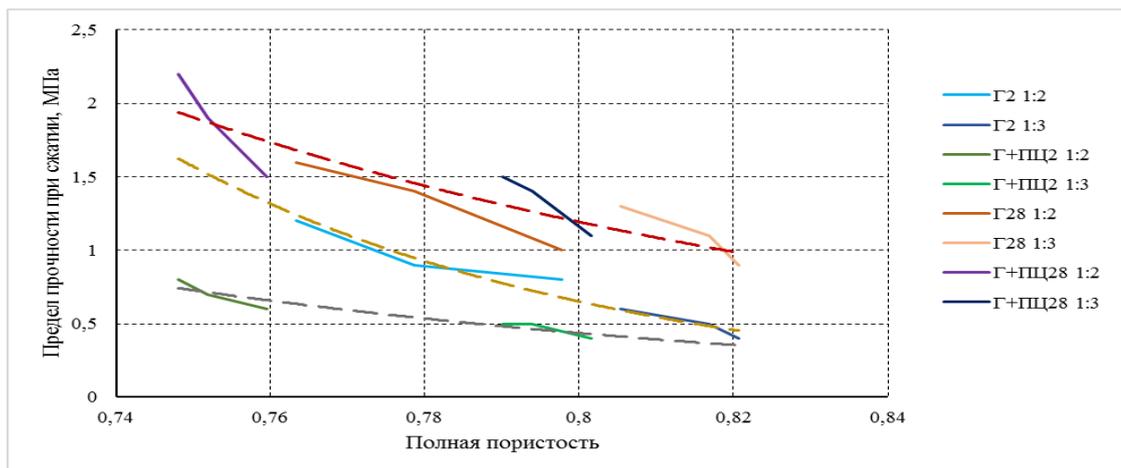
Таблица 4

Параметры уравнения ф. (2)

Растворы и возраст испытаний	Параметры уравнения ф.(2)		
	$a$	$b$	$R^{2*}$
(Г) 2 1:2	0,0043	-1,54	0,89
(Г) 2 1:3	0,0046	-1,746	0,92
(Г+ПЦ) 2 1:2	0,0064	-3,46	0,96
(Г+ПЦ) 2 1:3	0,0036	-1,45	0,89
(Г) 28 1:2	0,0067	-2,54	0,98
(Г) 28 1:3	0,0092	-3,39	0,92
(Г+ПЦ) 28 1:2	0,0229	-12,9	0,99
(Г+ПЦ) 28 1:3	0,0136	-5,95	0,99
(Г) 2	0,005	-1,9	0,97
(Г+ПЦ) 2	0,0023	-0,755	0,90

Примечание: \* - показатель достоверности аппроксимации;

На рис. 5 представлена зависимость предела прочности при сжатии растворов по табл. 3 от величины полной пористости.



Г, ПЦ – соответственно гипс строительный, портландцемент; 2, 28 – возраст 2 ч и 28 сут; 1:2, 1:3 соотношение вяжущее/вермикулит+пемза по объему

Рис. 5. – Зависимость предела прочности при сжатии от расчетного значения полной пористости

Предел прочности при сжатии  $R$  растворов по табл. 3 в зависимости от расчетной полной пористости  $P$  может быть определен по уравнению:

$$R = R_0 \exp(kP) \quad (3)$$

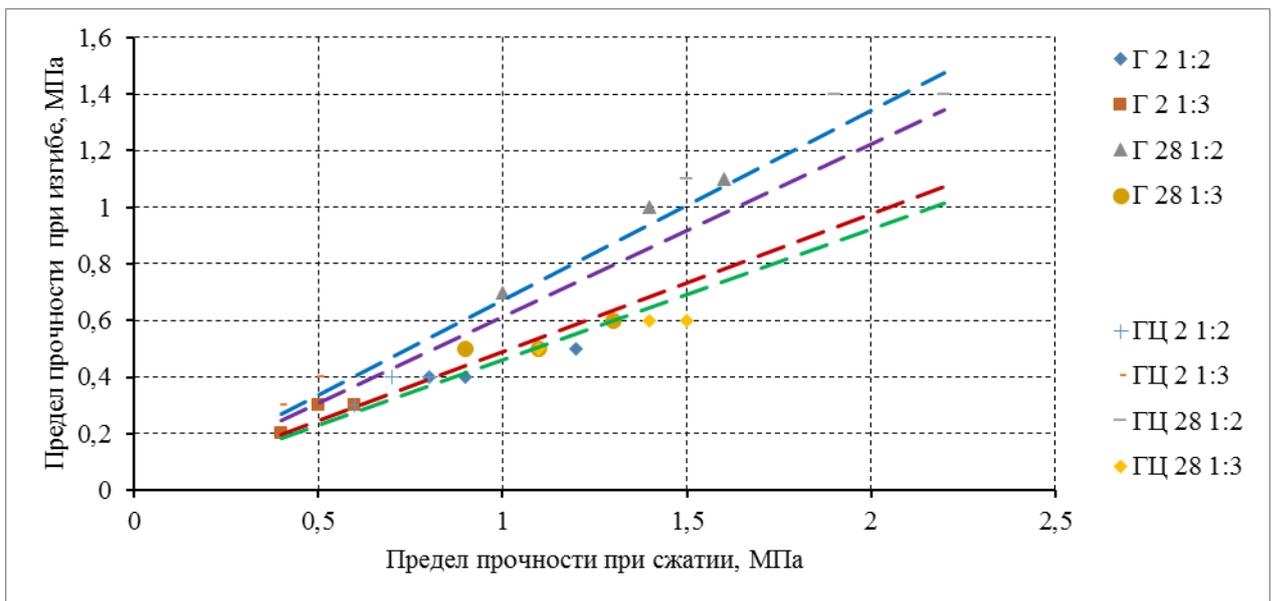
параметры уравнения ф. (3) представлены в табл. 5.

Таблица 5

Параметры уравнения ф. (3)

Растворы и возраст испытаний	Параметры уравнения ф.(3)		
	$k$	$R_0$	$R^{2*}$
(Г) 2	-17,6	$0,849 \cdot 10^6$	0,95
(Г+ПЦ) 2	-10,28	1599	0,91
(Г) 28; (Г+ПЦ) 28	-9,36	2137	0,81

Соотношение пределов прочности при изгибе и сжатии растворов по табл. 3 представлено на рис. 6.



Г, Ц – соответственно гипс строительный и ПЦ; 1:2, 1:3 – соотношение вяжущее/вермикулит+пемза; 2, 28 – возраст 2 ч и 28 сут

Рис. 6. – Соотношение пределов прочности при изгибе и сжатии

Предел прочности при изгибе  $R_f$  составов по табл. 3 линейно зависит от предела прочности при сжатии  $R$ :

$$R_f = kR, \quad (4)$$

параметры уравнения ф. (4) представлены в табл. 6.

Таблица 6

Параметры уравнения ф. (4)

Состав по табл. 5.9	Параметры уравнения ф.(4)	
	k	R <sup>2*</sup>
Г, Г:Пм = 1:2	0,61	0,96
Г, Г:Пм = 1:3	0,49	0,99
Г+ПЩ, Г:Пм = 1:2	0,67	0,99
Г+ПЩ, Г:Пм = 1:3	0,46	0,94

Примечание: \* - показатель достоверности аппроксимации

### Анализ результатов

Представленные в табл. 1, 2 и на рис. 1 – 3 результаты показывают, что:

- применение добавки Д-5 для строительных растворов на вермикулите ускоряют сроки схватывания смесей от 14 до 31 %, улучшают реологические свойства, прочностные показатели раствора не претерпевают существенного изменения;

- соотношение пределов прочности при изгибе и при сжатии практически не зависит от возраста раствора, наличия Д-5 и соотношения вяжущее/вермикулит;

- при равной прочности при сжатии предел прочности при изгибе растворов на строительном гипсе в возрасте 2 ч выше до 1,38 раза по сравнению со смешанными вяжущими, а на 28 сутки меньше на 50 %, в зданиях с повышенными требованиями по водостойкости и огнестойкости эффективнее растворы на комбинированных вяжущих.

Представленные в табл. 3–5 и на рис. 4–6 результаты показывают, что:

- замена части вспученного вермикулита фракции 0 – 0,315 мм вулканической пемзой фракции 0 – 0,315 мм в строительном растворе с применением добавки Д-5 обеспечивает повышение предела прочности при сжатии раствора в проектном возрасте на 33 – 60 %;

- соотношение пределов прочности при изгибе и при сжатии практически не зависит от возраста раствора и наличия Д-5, в растворах на гипсе при соотношении вяжущее: вермикулит+пемза = 1:2 при равной прочности при сжатии предел прочности при изгибе повышается до 24 % в сравнении с растворами с соотношением 1:3, а в растворах на Г+ПЦ до 46 %;

- с увеличением полной пористости (снижением средней плотности) предел прочности растворов закономерно снижается, при этом наблюдается явно выраженное влияние рецептурных факторов на кинетику, причем снижение прочности происходит быстрее, чем можно было ожидать из анализа, например, формулы Бальшина:

$$R_p = R_0 \exp(-kP), \quad (5)$$

$R_p$ ,  $R_0$  – соответственно значение прочности при некоторой величине пористости  $P$ , значение прочности при «нулевой пористости»,  $k$  – коэффициент, равный, по некоторым данным, 4, 84...5, 15 [10].

### **Заключение**

Оптимальной дозировкой полифункциональной добавки Д-5 в штукатурных композитах на вспученном вермикулите и вулканической пемзе является 0,2 % по массе от Г+ПЦ вяжущего.

Существенное снижение стоимости и повышение прочности огнезащитного штукатурного раствора возможно путем замены вспученного вермикулита фракции 0 – 0,315 мм вулканической пемзой фракции 0 – 0,315 мм без ухудшения его огнезащитных свойств.

## 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. Journal of Materials Science Letters. 1987. Vol. 6. № 5. PP. 562–564.
4. Steel Strategy and Fire Protection. International Construction. 1972. Vol. 11. № 1. PP. 13 – 15.
5. 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](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/710).
6. 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](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2015/2851).
7. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. М.: Стройиздат, 1971. – 318 с.
8. Ахматов М.А. Эффективность применения местных строительных материалов и бетона. Нальчик: Эльбрус, 1986. 160 с.
9. Ахматов М.А. Эффективность применения легких бетонов, изделий и конструкций из них // Строительные материалы. 1998. № 4. С. 9 – 13.
10. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Прочность цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении / Бетон и железобетон. – 2013. – № 5. – С. 6-8.

## References

1. Ferronskaya A.V. Dolgovechnost' gipsovykh materialov, izdeliy i konstruktsiy [Durability of gypsum materials, products and structures]. M.: 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. M.: ASV, 2004. 488 p.
3. Journal of Materials Science Letters. 1987. Vol. 6. № 5. PP. 562–564.
4. Steel Strategy and Fire Protection. International Construction. 1972. Vol. 11. № 1. PP. 13 – 15.
5. 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).
6. 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).
7. Volzhenskiy A.V., Stambulko V.I., Ferronskaya A.V. Gipsosementno-puhtsolanovyye vyazhushchiye, betony i izdeliya [Gypsum-cement-pozzolanic binders, concretes and products]. M.: Stroyizdat, 1971. 318 p.
8. 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.
9. Akhmatov M.A. Stroitel'nye materialy. 1998. № 4. PP. 9 – 13.
10. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Beton i zhelezobeton. 2013. № 5. PP. 6 – 8.

**Дата поступления: 1.07.2025**

**Дата публикации: 25.08.2025**