



## Фибропеногипсобетонные композиты с применением вулканического пепла

*Т.А. Хежсев, Н.А. Даов, А.С. Исмаилов, К.В. Молов,*

*А.Ж. Кацукоев, Р.А. Чегемов*

*Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик*

**Аннотация:** Приведены результаты исследований фибропеногипсобетонных композитов с применением вулканического пепла. Разработаны составы гипсоцементопуццоланового композита с применением вулканического пепла, позволяющие существенно сократить расход гипса и улучшить характеристики гипсобетона. Выявлено влияние пенообразователя ПБ-2000 на сроки схватывания гипсового теста. Получены пеногипсобетонные композиты на основе гипсоцементопуццоланового вяжущего и синтетического пенообразователя ПБ-2000. Разработанные составы фибропеногипсобетонных композитов с применением вулканического пепла позволяют сократить расход гипса на 50 % при одновременном улучшении физико-механических свойств исходного пеногипса и снижении себестоимости материала за счет использования местного сырья.

**Ключевые слова:** гипс, портландцемент, пепел, пенообразователь ПБ-2000, базальтовое волокно, гипсоцементопуццолановый композит, сроки схватывания гипсового теста, пеногипсобетон, фибропеногипсобетонный композит, прочность на изгиб и сжатие, средняя плотность.

Ячеистые бетоны относятся к энергоэффективным и недорогим строительным материалам. Обладая небольшой средней плотностью, ячеистые бетоны отличаются достаточной прочностью и хорошими теплоизоляционными свойствами.

Основным минеральным вяжущим в производстве неавтоклавного ячеистого бетона является портландцемент. Однако производство портландцемента связано с высокими капитальными вложениями, энергозатратами и выделением побочных продуктов в виде газов и пыли в окружающую среду. Исследования и разработки в области гипсовых вяжущих, материалов и изделий [1-4] показывают возможность расширения области их эффективного применения в строительстве.



Изделия из гипса отличаются относительной легкостью, прочностью, огнестойкостью, низкими тепло- и звукопроводностью. Наряду с рядом положительных технических свойств гипсовые вяжущие и изделия имеют следующие недостатки: значительная хрупкость, низкая водостойкость, низкая морозостойкость, высокая ползучесть при увлажнении.

Преодоление многих недостатков гипсовых вяжущих и изделий возможно в результате создания композитов с использованием эффективных наполнителей и заполнителей, а также дисперсного армирования. Для снижения стоимости строительства эффективно применение местного сырья для производства строительных материалов [5-8].

Ячеистые бетоны на гипсовых вяжущих обладают такими недостатками, как хрупкость, низкая водостойкость, что сдерживает их применение. Преодоление этих и других недостатков возможно в результате дисперсного армирования пеногипсобетонов базальтовыми волокнами [9, 10] и использования активных минеральных добавок, в том числе вулканических горных пород.

Целью работы является получение эффективных фибропеногипсобетонных композитов с применением вулканического пепла.

В исследованиях использовались: гипсовое вяжущее Усть-Джегутинского гипсового комбината марки Г-5 БП; портландцемент ПЦ500-ДО производства ЗАО «Белгородский цемент»; вулканический пепел Заюковского месторождения с максимальной крупностью зерен 1,25 мм; базальтовые волокна производства ОАО «Ивотстекло» марки РНБ-9-1200-4с; пенообразователь ПБ-2000 производства ОАО «Ивхимпром».

Исследовалось влияние соотношения компонентов на свойства гипсоцементопцуцолановой матрицы. В лабораторных условиях образцы-балочки размером 40×40×160 мм изготавливались по литьевой технологии и сушили в естественных условиях. Перед испытаниями образцы

---



высушивались до постоянной массы при  $t = 50^{\circ}\text{C}$  в сушильном шкафу. Приготовление смеси осуществляли в смесителе принудительного действия, в которой в воду добавляли предварительно перемешанную всухую смесь гипса, портландцемента, пепла, после чего перемешивание всех компонентов продолжали до получения однородной гипсобетонной смеси. Результаты исследований влияния добавок портландцемента на свойства полуводного гипса приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние добавок портландцемента на свойства полуводного гипса

Расход цемента в % от массы гипса	Вода/вяжущее	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
–	0,5	2,6	4,5	5,3	10,5
10	0,52	3,9	5,8	7,8	12,8
20	0,52	4,0	7	8,3	15,7
30	0,53	3,4	6,1	7,8	13,1

Из табл. 1 следует, что существенное увеличение прочности при изгибе и сжатии образцов происходит с добавками портландцемента до 20 % от массы гипса, дальнейшее увеличение добавки цемента приводит к снижению прочности композита.

Результаты исследований композитов с применением гипса, портландцемента и вулканического пепла с максимальной крупностью зерен 1,25 мм приводятся в табл. 2.

Таблица 2

## Физико-механические свойства гипсоцементопуццоланового композита

№ состава	Соотношение гипс : пепел по массе	Расход цемента в % от массы гипса	Свойства композита				
			средняя плотность в возрасте 28 сут, кг/м <sup>3</sup>	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	1:1	–	1090	2,3	4,3	5,4	7,5
2	1:1	10	1086	2,4	3,8	5,4	8,5
3	1:1	20	1120	2,1	3,7	4,8	7,9
4	1:1	30	1150	1,5	3,4	3,3	6,9
5	1:2	–	1130	1,3	2,9	2,5	5,9
6	1:2	10	1180	1,3	2,7	3,0	6,2
7	1:2	20	1140	1,2	2,6	2,9	6,0
8	1:2	30	1160	1,1	2,3	2,1	4,6

Из табл. 2 видно, что добавка портландцемента до 10-20 % оказывает положительное влияние на прочность при сжатии только для состава гипс: пепел с соотношением 1:1. В других составах добавка портландцемента не оказывает заметного влияния на прочностные характеристики композита.

Таким образом, применение вулканического пепла совместно с портландцементом в гипсобетонных композитах позволяет сократить расход гипса до 50 % без существенного снижения прочностных характеристик. При этом разработанные гипсобетонные композиты имеют повышенную водостойкость.



Одной из задач, которую следует решить в производстве пеногипса, является предотвращение схватывания гипсового теста в течении времени, необходимого для вспенивания смеси и ее укладки в формы или опалубку.

Влияние дозировки пенообразователя ПБ-2000 на сроки схватывания гипсового теста приведены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние пенообразователя ПБ-2000 на сроки схватывания  
гипсового теста

№№ состава	Дозировка ПБ-2000, % от массы гипса	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин	Продолжитель- ность схватывания, мин
1	–	12	17	5
2	0,21	15	18	3
3	0,35	23	34	11
4	0,45	43	63	20

Из приведенных данных можно сделать вывод, что значительный замедляющий эффект на сроки схватывания гипсового теста оказывает синтетический пенообразователь ПБ-2000 (активная основа – вторичный алкилсульфат натрия). ПБ-2000 уже при дозировке 0,35 % отодвигает начало схватывания гипса на 11 мин., а конец схватывания – на 17 мин. Увеличение дозировки до 0,45 % усиливает замедляющий эффект до 31 минуты (начало схватывания) и 46 мин. (конец схватывания). При этом период схватывания увеличивается с 5 мин. (для контрольного состава) до 20 мин.

Были проведены эксперименты по получению теплоизоляционно-конструкционных пеногипсобетонов с использованием в качестве заполнителя вулканического пепла с наибольшей крупностью зерен  $D_{\text{наиб}} = 1,25$  мм при водотвердом отношении В/Т=0,47 (табл. 4). Смесь готовилась по классической технологии.

Таблица 4

Физико-механические характеристики пеногипсобетонов с  
использованием вулканического пепла

№№ сос- тава	Расход компонентов на 1 м <sup>3</sup> смеси, кг				Дозировка ПБ-2000, % от массы твердых частиц	Сред- няя плот- ность, кг/м <sup>3</sup>	Предел проч- ности при изгибе, МПа	Предел проч- ности на сжатие, МПа
	гипс	пе- пел	це- мент	во- да				
1	456	–	–	214	0,35	560	0,70	1,4
2	205	228	23	214	0,35	530	0,65	1,2
3	182	228	46	214	0,35	540	0,65	1,3

Из таблицы следует, что при средней плотности пеногипсобетона 530-550 кг/м<sup>3</sup> минимально допустимые прочностные характеристики достигаются при отношении вяжущего к заполнителю, равном единице. При проведении последующих экспериментов это соотношение принималось в качестве базового.

Наряду с достоинствами, ячеистые бетоны на гипсовых вяжущих обладают такими недостатками, как хрупкость, низкая ударостойкость, что сдерживает их применение. Преодоление этих и других недостатков возможно в результате дисперсного армирования пеногипсобетонов дисперсными волокнами.

Соотношение компонентов в смеси и прочностные свойства пеногипсобетонной матрицы для армирования базальтовыми фибрами принят состав №2 табл. 4. Введение базальтовых волокон происходит после получения растворной смеси, затем подается готовая пена и перемешивается. Смеси готовились в высокоскоростных смесителях.

Результаты проведенных экспериментов приведены в табл. 5.



Таблица 5

Прочностные характеристики фибропеногипсобетонного композита  
в зависимости от параметров фибрового армирования

№№ состава	Отношение длины волокон к их диаметру $l/d$	Процент армирования по объему $\mu_v$	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности на сжатие, МПа
1	–	–	0,65	1,30
2	1444	0,3	0,74	1,53
3	1444	0,6	1,12	1,65
4	1444	0,9	1,02	1,53
5	667	0,6	0,79	1,3
6	2221	0,6	0,88	1,35

Результаты исследований показали, что наибольшие значения предела прочности на сжатие и на изгиб фибропеногипсобетонного композита с применением вулканического пепла получены при проценте армирования и  $l/d=1444$ . Увеличение процента армирования базальтовыми волокнами композита приводит к уменьшению прочностных характеристик композита, что обусловлено ухудшением их структуры.

Таким образом, разработанные составы фибропеногипсобетонных композитов с применением вулканического пепла позволяют сократить расход гипса на 50 % при одновременном улучшении физико-механических свойств исходного пеногипса.

### Литература

1. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): справочник под общ. ред. А.В. Ферронской. М.: АСВ, 2004. 488 с.
2. Knauf A.N., Kronert W., Haubert P. Rasterelektromen-mikroskopie, eine ergazende Methode zur Untersuchung von Gipsen // Zement-Kalk-Gips. Wiesbaden. 1972. № 11. ss. 548-552.



3. Walter E. Unterauchungen zum Asbestaufschluss und die Bedeutung für die Praxis // Baustoffindustrie. 1972. №15. s. 40.

4. Schwiete H.E., Knauf A.N. Alte und neue Erkenntnisse in der Herstellung und Anwendung der Gipse. Berlin. 115 s.

5. Овсяков М.Ю., Сухов А.А., Хежев Т.А. Технология фибропенобетонов с применением отходов пиления вулканического туфа // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала. №1 (36). 2015. С. 107–113.

6. 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).

7. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015).

8. Хежев Т.А., Жуков А.З., Хежев Х.А. Огнезащитные и жаростойкие вермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла и пемзы // Инженерный вестник Дона, 2015. №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2902](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2902).

9. Волков И.В. Фибробетон: Состояние и перспективы применения // Промышленное и гражданское строительство. 2002. №9. С. 37.

10. Волков И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве // Строительные материалы. 2004. №6. С. 12.

### References

1. Gipsovye materialy i izdeliya (proizvodstvo i primeneniye): spravochnik pod obshch. red. A.V. Ferronskoy [Gypsum materials and products (production





and application): a directory under the general editorship of A.V. Ferronskoy]. Moscow: ASV, 2004, p. 488.

2. Knauf A.N., Kronert W., Haubert P. Zement-Kalk-Gips. Wiesbaden. 1972. № 11. pp. 548-552.

3. Walter E. Baustoffindustrie. 1972. №15. p. 40

4. Schwiete H.E., Knauf A.N. Alte und neue Erkenntnisse in der Herstellung und Anwendung der Gipse [Old and new knowledge in the production and application of the gypsum]. Berlin, 115 p.

5. Ovsyukov M.Yu., Sukhov A.A., Khezhev T.A. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. Makhachkala. №1 (36). 2015. pp. 107–113.

6. 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](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/710).

7. Khezhev T.A., Mataev T.Z., Gedgafov I.A., Dymov R.Kh. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015. №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015).

8. Khezhev T.A., Kazharov A.R., Naloys A.YU, Semenov R.N., Khamukov Z.A., Zhelokov T.KH. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3776](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3776).

9. Volkov I.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2002. №9. P. 37.

10. Volkov I.V. Stroitel'nye materialy. 2004. №6. P. 12.