

## Вспученный фиброгипсовый материал

*Д.А. Ляшенко, П.Э. Соколов, В.А. Перфилов*

*Волгоградский Государственный Технический Университет*

**Аннотация:** В статье рассмотрены перспективы развития комбинированной технологии вспученного фиброгипсового материала. Представлены результаты проведения полного двухфакторного эксперимента с изменением обоих факторов на трех уровнях. Приведены результаты исследований составов и прочностных характеристик вспученных фиброгипсовых образцов. Установлен оптимальный состав гипсового композита.

**Ключевые слова:** вспученный гипс, фиброгипс, фиброволокно, прочность, плотность.

Строительные материалы на основе гипсового вяжущего отличаются повышенной огнестойкостью и высоким классом экологичности, также они имеют низкие показатели звуко- и теплопроводности. Сравнительно малый вес и отличная формуемость гипсовых материалов могут удовлетворить потребности актуальных архитектурных решений, которые все чаще направлены на уменьшение сечения конструкций, и имеют неправильную геометрическую форму, так как гипсовые материалы имеют сравнительно малый вес и отличную формуемость.

Положительными особенностями строительных материалов на основе гипсовых вяжущих являются: высокая экологичность, эстетичность и нормализация микроклимата в помещении. Одним из главных плюсов этих материалов можно назвать малую энергоемкость по сравнению с другими вяжущими материалами. К примеру, энергозатраты на производство гипса в 5-10 раз меньше затрат на производство бетонов и в 2,4 раза меньше чем для изготовления известковых вяжущих [1]. Не стоит забывать и о малой трудоемкости работ, связанных с гипсовыми материалами.

Стоит отметить, что современные разработки часто направлены на повышение энергоэффективности и экологичности строительных материалов [2-4]. Поэтому на сегодняшний день актуальны разработки материалов с пониженной теплопроводностью.

Основным минусом этих материалов являются сравнительно небольшие прочностные характеристики, в особенности это касается прочности на изгиб. О повышении качества гипсовых материалов с добавлением фиброволокна говорят как отечественные [5,6], так и зарубежные исследования [7]. Известно, что наиболее оптимальным вариантом решения проблемы прочности и трещиностойкости является использование различных видов фиброволокон в качестве армирующего элемента [8,9]. Введение фиброволокна может повысить прочностные характеристики более чем на 20% [9,10], а также понизить теплопроводность более чем на 11% [10]. Несмотря на это, в ходе исследований не было найдено оптимальных дозировок фиброволокон для гипсовых вяжущих.

Для получения качественного фиброгипсового материала необходимо уделить внимание равномерности распределения волокон по всей толщине материала, так как этот фактор играет важную роль для получения наилучшего эффекта. В связи с этим имеются разные способы введения различного вида фиброволокна в смесь:

1. Введение заранее определенного количества фиброволокна в сухую смесь полностью;
2. Порционное введение расчетного количества фиброволокна в сухую смесь;
3. Добавление расчетного количества фиброволокна в воду затворения (такой метод подходит в основном для полипропиленовых фиброволокон, так как их производят с нанесением маслянистого покрытия, которое в свою очередь отталкивает волокна друг от друга в воде);
4. Порционное введение расчетного количества фиброволокна при замешивании в готовую смесь [9].

Помимо этого имеются разработки, направленные на понижение плотности гипсовых материалов, а именно: ячеистые гипсы. Существуют два

---

основных способа получения ячеистых гипсов: при помощи пено- и газообразователей. Пенообразователи, как правило, вводят в воду затворения и при ее активном высокоскоростном перемешивании получают пену, после чего добавляется гипсовое вяжущее и производится совместное перемешивание. В результате получается вспученная гипсовая смесь, которая в дальнейшем формуется. Применение газообразователей позволяет получать вспученные смеси при помощи химической реакции, как правило, эта реакция приводит к выделению водорода по всей толщине смеси. Часто в таких материалах используется реакция алюминия с водой, наилучшее протекание которой наблюдается при определенных условиях, а именно при  $t_{\text{воды}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ , и достаточной щелочности среды ( $\text{pH} = 10-12$ ).

Основная задача таких материалов направлена на получение меньшей плотности, как следствие, такие материалы теряют свои прочностные характеристики. В данной работе предлагается комбинирование двух технологий для получения ячеистых гипсов с повышенными прочностными показателями. Стоит отметить, что комбинирование этих технологий уже применялось для изготовления материалов на основе бетона [11].

Цель работы – определить влияние введения полипропиленового фиброволокна на прочностные характеристики газогипсовых материалов.

Для проведения экспериментальных исследований были использованы следующие материалы: гипс марки Г-5 ОАО «Хабезский гипсовый завод», фибра полипропиленовая (ФП) «Семmix CemFibra» длиной 10 мм, известь гранулированная высокоактивная ООО «Стройкомплект», алюминиевая пудра. Необходимость применения извести связана с повышением щелочности среды, а также, как известно, введение извести (5-15%) в гипсовое вяжущее повышает его прочностные характеристики. На основании проведенных ранее экспериментальных исследований установлено, что полипропиленовое волокно вводится в пределах 0,3-0,6 % от массы

---

гипсового вяжущего. Так же был определен состав для получения газогипса, в процентах по массе: гипс – 90 %, известь (ИЗВ) – 9,75%, алюминиевая пудра – 0,25%. Количество воды определялось самостоятельно, исходя из достаточной подвижности смеси и составило 525 миллилитров воды на 750 г гипса ( $V/G = 0,7$ ). Помимо этого, потребовалось введение поверхностно-активных веществ, для снятия парафиновой пленки с алюминиевой пудры, которое составило 0,1 % от массы алюминиевой пудры.

Следует отметить, что для ячеистых материалов на основе гипсовых вяжущих с применением фиброволокна не имеется нормативной документации. В связи с этим было принято решение о подготовке исходных материалов и изготовлении испытываемых образцов – балочек с размерами 40x40x160 мм в соответствии с ГОСТ 23789 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

С целью определения оптимального состава вспученного фиброгипсового материала был разработан план полого двухфакторного эксперимента. Факторами в данном эксперименте служили: количество полипропиленового волокна ( $X_1$ ) и количество извести ( $X_2$ ) в процентах от массы вяжущего. Изменение факторов производилось на максимальном, минимальном и среднем уровнях. Результаты проведенного испытания были проанализированы с помощью программы «Statistica». В качестве контрольного образца был выбран вспученный гипсовый материал с водогипсовым отношением равным 0,7. Для всех образцов были определены следующие показатели: предел прочности на сжатие, предел прочности на изгиб и средняя плотность. В таблице 1 представлены результаты проведенного эксперимента.

Таблица № 1

## План проведения эксперимента

№ точек плана	Изменяемые факторы				Полученные характеристики		
	В натуральных величинах, % от массы		В кодированных величинах		Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа	$R_{изг}$ , МПа
	ФП	ИЗВ	$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
1	0,6	14	1	1	0,891	3,4	2,246
2	0,6	11	1	0	0,863	2,85	2,602
3	0,6	8	1	-1	0,858	3,1	2,138
4	0,45	14	0	1	0,884	3,3	2,193
5	0,45	11	0	0	0,88	3,92	2,821
6	0,45	8	0	-1	0,852	2,72	2,226
7	0,3	14	-1	1	0,876	3,2	2,18
8	0,3	11	-1	0	0,841	2,87	2,357
9	0,3	8	-1	-1	0,839	2,86	2,2

В программном комплексе «Statistica» для всех показателей были рассчитаны уравнения регрессии, которые представлены в формулах (1-3).

$$\rho_{ср} = 1,001946 + 0,000015 \cdot \text{ИЗВ}^3 - 0,384 \cdot \frac{1}{\text{ПФ}} - 0,1511 \cdot \text{ФП} \quad (1)$$

Уравнение 1 описывает зависимость плотности от количества полипропиленового фиброволокна и извести.

$$R_{изг} = -3,942 + 5,323 \cdot \text{ФП} + 0,971 \cdot \text{ИЗВ} - 5,607 \cdot \text{ФП}^2 - 0,044 \cdot \text{ИЗВ}^2 \quad (2)$$

Уравнение 2 описывает зависимость предела прочности на изгиб от количества полипропиленового фиброволокна и извести.

$$R_{сж} = 9,214 - 6,237 \cdot \frac{1}{\text{ИЗВ}} - 1,176 \cdot \frac{1}{\text{ПФ}} - 5,733 \cdot \text{ФП} \quad (3)$$

Уравнение 3 описывает зависимость предела прочности на сжатие от количества полипропиленового фиброволокна и извести.

Была получена математическая модель, которая позволяет прогнозировать свойства материала. На основе проведенных экспериментальных исследований определен оптимальный состав ячеистого фиброгипсового материала с максимальными показателями прочности, которые достигаются при расходе полипропиленовой фибры 0,47 % и извести 11 % от массы гипсового вяжущего. Предел прочности при сжатии в этом случае равняется 3,45 МПа, предел прочности при изгибе равняется 2,678 МПа при значении плотности 0,869 г/см<sup>3</sup>.

Таким образом, при незначительном увеличении плотности на 0,9 % было установлено повышение прочностных характеристик материала на основе гипсового вяжущего армированного полипропиленовым фиброволокном. При этом повышение прочности на сжатие составило 24 %, прочности на изгиб – 21 %.

### Литература

1. Завадская Л.В. Влияние микроармирующих добавок на свойства газогипса // Фундаментальные исследования. 2011. №12. С. 770-772.
2. Mishchenko V.Ya., Kukina O.B., Zolotukhin S.N., Larionov S.V. Waste-free phosphogypsum processing technology when extracting rare-earth metals // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 983. pp. 339-351.
3. Кукина О.Б., Золотухин С.Н., Золотухин М.Л., Шуваев Д.И. Безотходная технология переработки фосфогипса при добыче редкоземельных металлов // Научная опора Воронежской области. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж: ВГТУ, 2019. С. 50-51.
4. Кукина О.Б. Техногенные карбонаткальциевые отходы и технология их использования в строительных материалах с учетом структурообразующей роли: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Воронеж, 2002. 186 с.

5. Мухаметрахимов Р.Х, Рязанов Р.Р, Изотов В.С. Дисперсно-армированные строительные композиционные материалы на основе гипсового вяжущего // Известия КГАСУ. 2011. № 3. С. 145-149.
6. 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/n1p2y2015/2851 (дата обращения 25.03.2021).
7. Jamshid Aghazadeh Mohandesi Ali Sanghaleh Ali Nazari. International Journal of Damage Mechanics, vol. 21, 1: pp. 129-149. , First Published January 28, 2011.
8. Берестянская А.А., Опанасенко Е.В. Виды фибрового армирования // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2015. № 30. С. 57–64.
9. Баранюк Д.И., Шаманов В.А., Полушина Н.И. Исследование Трещиностойкости дисперсно-армированного гипса // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2018. Т 2. С. 294-299.
10. Соскин М.И., Шулепова А.В. Перспективы использования микроармированных гипсовых композиционных материалов. Бакалавр. – 2016. № 3-4 (16–17). С. 48–53.
11. Пушенко О.В., Мортугин В.Н. О структуре фибропенобетонов // Инженерный вестник Дона. 2012. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/955 (дата обращения 16.03.2021).

### References

1. Zavadskaya L.V. Fundamental`ny`e issledovaniya. 2011. №12. pp. 770-772.
  2. Mishchenko V.Ya., Kukina O.B., Zolotukhin S.N., Larionov S.V. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 983. pp. 339-351.
-



3. Kukina O.B., Zolotuxin S.N., Zolotuxin M.L., Shuvaev D.I. Bezotxodnaya texnologiya pererabotki fosfogipsa pri doby`che redkozemel`ny`x metallov [Waste-free technology for processing phosphogypsum in the extraction of rare earth metals]. Nauchnaya opora Voronezhskoj oblasti. Sbornik trudov pobeditelej konkursa nauchno-issledovatel`skix rabot studentov i aspirantov VGTU po prioritety`m napravleniyam razvitiya nauki i texnologij. Voronezh: VGTU, 2019. pp. 50-51.
  4. Kukina O.B. Texnogenny`e karbonatkal`ciyevy`e otxody` i texnologiya ix ispol`zovaniya v stroitel`ny`x materialax s uchetom strukturoobrazuyushhej roli [Technogenic calcium carbonate waste and the technology of its use in building materials, taking into account the structure-forming role]: dis. ... kand. texn. nauk: 05.23.05. Voronezh, 2002. 186 p.
  5. Muxametxaximov R.X, Ryazapov R.R, Izotov V.S. Izvestiya KGASU. 2011. № 3. pp. 145-149.
  6. Xezhev T.A., Mataev T.Z., Gedgafov I.A., dy`mov R.X. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2851](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2851).
  7. Jamshid Aghazadeh Mohandesi Ali Sangghaleh Ali Nazari. International Journal of Damage Mechanics, vol. 21, 1: pp. 129-149. First Published January 28, 2011.
  8. Berestyanskaya A.A., Opanasenko E.V. Resursoekonomni materiali, konstrukcii, budivli ta sporudi. 2015. № 30. pp. 57–64.
  9. Baranyuk D.I., Shamanov V.A., Polushina N.I. Sovremenny`e texnologii v stroitel`stve. Teoriya i praktika. 2018. Vol. 2. pp. 294-299.
  10. Soskin M.I., Shulepova A.V. Bakalavr. 2016. № 3-4 (16–17). pp. 48–53.
  11. Pushenko O.V., Mortugin V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/955](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/955).
-