

## Получение сухого пенообразователя для пеногипса пониженной плотности

*Р.И. Шигапов<sup>1</sup>, А.В. Ключев<sup>2</sup>, Д.А. Синицин<sup>1</sup>, О.С. Дорофеева<sup>1</sup>, И.В. Недосеко<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*<sup>2</sup>Белгородский государственный технический университет имени В.Г. Шухова*

**Аннотация:** В работе рассмотрен метод получения пеногипса на основе различных составов сухих смесей, включающих пенообразователь, различные сорбенты, гипсовое вяжущее. В качестве сорбентов использовался вспученный вермикулит, перлитовый песок, отходы дробления керамзитового гравия. Самым эффективным сорбентом из вышеперечисленных является отходы дробления производства керамзитового гравия. Как показали исследования, возможно получен пеногипс плотности 250 кг/м<sup>3</sup> и прочности 0,9 МПа.

**Ключевые слова:** Сухая смесь, адсорбция, пеногипс, гипсовое вяжущее, сорбент, керамзитовый песок, вермикулит, перлит, пенообразователь.

Малоэтажное строительство является одной из быстроразвивающихся направлений строительной отрасли. Одним из наиболее эффективных теплоизоляционных строительных материалов, возможности которого в настоящее время не полностью реализуется далеко не полностью, является пеногипс и различные изделия на его основе. Использование материалов и изделий на основе различных составов гипсовых вяжущих обусловлено во многом совокупностью положительных свойств, как правило, присущих только этой группе вяжущих. В первую очередь, это практически полное отсутствие усадочных деформаций, более быстрый набор прочности, хорошие теплотехнические и звукоизоляционные свойства, достаточно высокая огнестойкость. К данному комплексу положительных свойств также добавляется экологичность производства и применение изделий на основе пеногипса и его высокая паропроницаемость (что благоприятно сказывается на его долговременной эксплуатации) [1].

Разработка экологичных гипсовых материалов ячеистой структуры, обладающих достаточно низким удельным весом (плотностью), высокими

теплоизоляционными, эксплуатационными характеристиками с высокими технико-экономическими показателями, остается актуальной задачей, в настоящее время остро стоящей перед промышленным и гражданским строительством. Твердение пеногипса с использованием сухих пенообразователей с управляемыми технологическими процессами является весьма перспективным направлением в технологии производства теплоизоляционных материалов строительного назначения [2].

Основным преимуществом изготовления и применения сухих смесей является высокая точность дозирования, хорошая степень гомогенизация их компонентов и стабильнее свойства полученных строительных материалов. Однако, все исходные компоненты смеси в этом случае должны быть сухими, а для производства пеногипса, в основном, применяются концентрированные водные растворы пенообразователей [3].

За основу модифицирования сухих смесей для пеногипса была взята идея перевода водного раствора пенообразователя в сухую субстанцию путем его совместного перемешивания с сорбентом и гипсом.

При работе наполнителей сорбционного действия, ориентировались на то, чтобы все эти продукты были строительного назначения и могли оказывать положительное влияние на свойства пеногипса.

В работе применяли различные виды доступного наполнителя, которые могли бы адсорбировать пенообразователь, но при этом оставалось полусухом виде (не требовала сушки) и могло перемешиваться с гипсом [4].

Способ приготовления сухого пенообразователя решается физико-химическим (сорбционным) – путем смешения с порошкообразным или гранулированным пористым сорбентом.

Первым этапом является получение «сухого» пенообразователя. Для реализации этого этапа дозировано подаем в турбулентный смеситель

отходы дробления керамзитового песка и жидкий пенообразователь (пропорционально с одновременным перемешиванием).

Для достижения необходимой адсорбции (используемых пористых сорбентов) и равномерного распределения всех компонентов, обычно достаточно 3-4 минут интенсивного перемешивания.

Далее, на полученный состав «сухого» пенообразователя дозировано подается гипсовое вяжущее и смесь перемешивается около 3 минут [5].

Весь цикл занимает примерно 12-15 минут, в зависимости от объема смесителя.

Для функциональной добавки применили сорбенты (легкие заполнители) для гипсовых материалов, распространенные теплоизоляционные наполнители перлит, вермикулит и керамзитовый песок:

1. Вспученный вермикулит производства Общества с ограниченной ответственностью «Альтернатива». Объемный насыпной вес  $150 \text{ кг/м}^3$  и фракции 2,0 мм. Физико-механические показатели приведены в таблице 1.

2. Песок перлитовый вспученный марки ВПМ М75 ГОСТ 10832-2009 производства Общества с ограниченной ответственностью «Альтернатива». Основные физико-механические показатели представлены в таблице 1, а химический состав представлен в таблице 3.

3. Отходы дробления керамзитового песка производства Обществом с ограниченной ответственностью «Уфимская гипсовая компания» марки по насыпной плотности М350, М400, соответствующий ГОСТу 32496-2013 [6].

На таблице 1 представлены сравнительные характеристики перечисленных материалов, которые были выбраны как сорбент, для переноса жидкого пенообразователя в сухое состояние.

По своим свойствам материалы очень разные, особенно плотность. Для полного понимания, сравнили химический состав сорбентов в таблице 2.

Таблица № 1

## Сравнительные характеристики материалов

№ п/п	Показатели	Характеристики различных видов сорбентов		
		Вермикулит	Перлит	Отходы дробления керамзитового песка
1	Объемный насыпной вес в кг/м <sup>3</sup>	150	75	350-400
2	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,055	0,043	0,14
3	Влажность, %	3	2	0,5
4	Зерновой состав, мм	0,71-4	0,1-1,25	0,315-1,25

Таблица № 2

## Химический состав сорбентов

№ п/п	Материал	Содержание оксидов, % мас. %										
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	FeO	TiO <sub>2</sub>	п.п.п
1	Керамзитовый песок	64,08	14,36	6,42	1,87	1,84	0,57	1,92	1,04	0,19	0,89	5,89
2	Перлит	73,2	13,1	1,0	0,7	0,3	-	4,1	3,8	-	-	3,5
3	Вермикулит	38,0	15,1	5,6	1,2	22,1	-	5,6	0,3	1,1	1,5	6,2

В качестве синтетического пенообразователя использовали: пенообразователь ПБНС—водный раствор анионных поверхностно-активных веществ со стабилизирующими добавками ТУ 2481-002-31232365-2006. Пенообразователь синтетический, углеводородный, биоразлагаемый, предназначенный для получения устойчивой пены низкой кратности. Производится Обществом с ограниченной ответственностью «Заводом ТехноХимСинтез». Физико-механические показатели пенообразователя ПБНС представлены в таблице 3.

Таблица № 3

## Физико-механические показатели пенообразователя ПБНС

Наименование показателя	Характеристики
Внешний вид 20-25 °С	Прозрачная жидкость без осадка
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	1000-1200
Водородный показатель (рН), в пределах	6,5-8,5
Температура застывания, °С	-3
Кратность пены рабочего раствора с объемной долей 4%, не менее	5 (лабораторная методика)
Устойчивость пены, с, не менее	300

Для исследования был использован полуводный строительный гипс марки Г5Б-II производства Общества с ограниченной ответственностью «Уфимская гипсовая компания», произведенный по ГОСТ 125-79. Физико-механические показатели гипсового вяжущего приведены в таблице 4.

Таблица № 4

## Физико-механические показатели гипсового вяжущего

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Значение
1	Тонкость помола, остаток на сите	%	5-6
2	Нормальная густота	%	61
	Сроки схватывания		
	-начало	мин	6
	-конец		10
4	Предел прочности при изгибе: -через 2 часа -в высушенном до постоянной массы состоянии	МПа	2,5 5,2
5	Предел прочности при сжатии: - через 2 часа - в высушенном до постоянной массы состоянии	МПа	5,3 13,5

Прочностные и теплоизоляционные свойства пеногипса, полученного на основе «сухого» пенообразователя с различными соотношениями «жидкого» пенообразователя и сорбента представлены в таблице 5. В частности, если пропорции пенообразователя с сорбентом равен 1:12, то с

гипсом это соотношение будет соответствовать Пенообразователь: Сорбент: Гипс также будет соответствовать следующей величине 1:12:97 [7].

Данная техническая задача решается предлагаемым способом приготовления сухой сырьевой смеси для пеногипса низкой плотности, включающем предварительную подготовку сухого пенообразователя, дозирование и смешивание сухого пенообразователя с гипсовым (или композиционным) вяжущим. При этом сухой пенообразователь обычно получают на основе перемешивания в смесителе жидкого пенообразователя ПБНС с сорбентом и отходами дробления керамзитового песка (зернового состава 0,315 - 1,25 мм) в течение 3 - 4 мин – при соотношении компонентов 1:12.

Таблица № 5

Виды сорбента

№ состава	Наименование сорбента	Соотношение ПО:Сорбента	Полученный объем пеногипса из 1 кг сухой смеси	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, Мпа
1	Перлит	1:6	2,7	390-410	0,31-0,39
2	Перлит	1:12	3,1	340-365	0,24-0,34
3	Перлит	2:3	3,4	301-335	0,11-0,12
4	Вермикулит	1:6	2,8	380-410	0,34-0,43
5	Вермикулит	1:12	2,5	435-451	0,45-0,51
6	Вермикулит	2:6	3,2	330-350	0,21-0,26
7	Отходы дробления КП	1:6	3,15	350	0,25
8	Отходы дробления КП	1:12	3,6	250	0,09
9	Отходы дробления КП	2:6	3,6	285-320	0,09-0,13

Далее, производится последующее перемешивание (в течение 2 - 3 мин) полученного сухого пенообразователя с вяжущим – полуводным гипсом марки Г5Б-II, при соотношении компонентов в массовых частях

пенообразователь ПБНС: указанные отходы дробления керамзитового песка: гипсовые вяжущие – 1:12:93 [8].

На основе полученных данных таблицы 5, в зависимости от видов сорбента и пенообразователя было выявлено оптимальное соотношение компонентов - состав №8 1:12 с использованием отходов дробления керамзитового песка. Основными параметрами для сравнения использовали объем полученного пеногипса, для состава №8 этот показатель составила 3,6 и самый низкий показатель плотности показала 250 кг/м<sup>3</sup>[9].

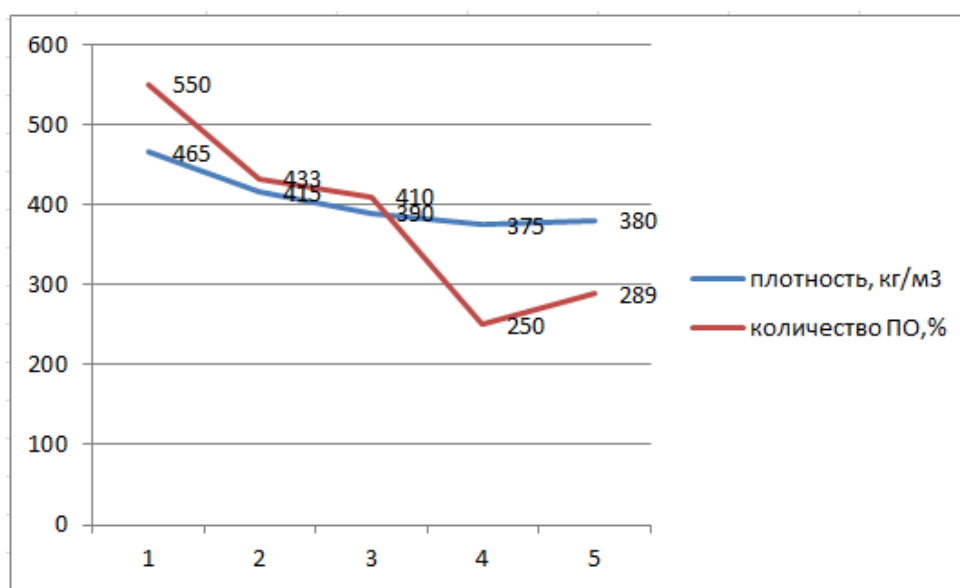


Рис. 1. - Результаты зависимости плотности пеногипса от количества вводимого пенообразователя

Для определения эффективности полученного «сухого» пенообразователя, было исследовано влияние жидкого и сухого пенообразователя на пеногипсовую смесь. В состав №8 вводили пенообразователь двумя способами. Первое жидким способом в воду добавляли пенообразователя и потом перемешивали. И второй способ, в сухую смесь с определённой последовательностью. На рис.1 представлены результаты зависимости плотности от количества вводимого пенообразователя, где позицией 1 с жидким пенообразователем, а позицией 2

- с сухим пенообразователем. Водогипсовое отношение взяли для всех составов 1,0.

На основе полученных данных видно, что увеличение количества пенообразователя больше 1 мас.ч. не целесообразно, так как при уже 1,5 мас.ч. происходит увеличение плотности получаемого пеногипса [10].

На основе проведенных испытаний получен состав сухого пенообразователя и отработана технология получения пеногипса. Как показали исследования, самым эффективным сорбентом является отходы дробления керамзитового производства с соотношением 1:12:93 Пенообразователь: Сорбент: Гипс. Получен пеногипс плотности 250 кг/м<sup>3</sup> и прочности 0,9 МПа. Также хорошие технико-экономические показатели по получению объема пеногипса, из 1 кг сухой смеси можно получить 3,6 л пеногипса [11].

### Литература

1. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосеко И.В., Юнусова С.С., Печенкина Т.В., Красногоров М.И. Опыт производства и эксплуатации гипсовых стеновых изделий // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 78-80.
  2. Кондратенко Т.О., Сайбель А.В. Оценка воздействия строительного производства на окружающую среду // Инженерный вестник Дона. 2012. №4 (часть 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1298](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1298)
  3. Шигапов Р.И., Недосеко И.В. Способ приготовления сухой сырьевой смеси для пеногипса. // Патент на изобретение RU 2774975 С1, 24.06.2022. Заявка №2021116952 от 09.06.2021.
  4. Kuznetsov D.V., Klyuev S.V., Ryazanov A.N., Sinitsin D.A., Pudovkin A.N., Kobeleva E.V., Nedoseko I.V. Dry mixes on gypsum and mixed bases in the construction of low-rise residential buildings using 3D printing technology. Construction Materials and Products. 2023. 6 (6). P.5. URL: [doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-6-5](https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-6-5).
-



5. Бессонов И.В., Шигапов Р.И., Бабков В.В. Теплоизоляционный пеногипс в малоэтажном строительстве // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 9–13.

6. Бабков В.В., Латыпов В.М., Ломакина Л.Н., Шигапов Р.И. Модифицированные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости и гипсокерамзитобетонные стеновые блоки для малоэтажного жилищного строительства на их основе // Строительные материалы. 2012. №7 С.4-7.

7. Саидов Д.Х., Умаров У.Х. Влияние минерально-химических добавок на коррозионностойкость цементных бетонов с применением промышленных отходов // Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_4\\_saidov.pdf\\_1634.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_4_saidov.pdf_1634.pdf)

8. Шигапов Р.И., Синицин Д.А., Халиков Р.М., Соловьев Е.А., Недосеко И.В. Эффективное использование сухих пенообразователей при изготовлении пеногипсовых теплоизоляционных нанокompозиций // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2022. Т.14. №4 С.274-281.

9. Klyuev A.V., Kashapov N.F., Klyuev S.V., Lesovik R.V., Ageeva M.S., Fomina E.V., Ayubov N.A. Development of alkali-activated binders based on technogenic fibrous materials. Construction Materials and Products. 2023. 6 (1). P. 60 – 73. [doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-60-73](https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-60-73).

10. Шигапов Р.И., Недосеко И.В. Способ приготовления сухой сырьевой смеси для пеногипса. Патент на изобретения RU 2774929 С1, 24.06.2022. Заявка № 2021116952 от 09.06.2021.

11. Klyuev A.V., Kashapov N.F., Klyuev S.V., Zolotareva S.V., Shchekina N.A., Shorstova E.S., Lesovik R.V., Ayubov N.A. Experimental studies of the processes of structure formation of composite mixtures with technogenic mechanoactivated silica component. Construction Materials and Products. 2023. 6 (2). pp. 5 – 18. URL:[doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18](https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18)

---

## References

1. Mirsaev R.N., Babkov V.V., Nedoseko I.V., Yunusova S.S., Pechenkina T.V., Krasnogorov M.I. *Stroitelnye materialy*. 2008. № 3. pp. 78-80.
2. Kondratenko T.O., Sajbel A.V. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2012. №4 (chast 2). URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1298](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1298)
3. Shigapov R.I., Nedoseko I.V. *Sposob prigotovleniya suxoj syrevoj smesi dlya penogipsa* [The method of preparing a dry raw material mixture for gypsum foam]. Patent na izobretenie RU 2774975 C1, 24.06.2022. Zayavka №2021116952 ot 09.06.2021.
4. Kuznetsov D.V., Klyuev S.V., Ryazanov A.N., Sinitsin D.A., Pudovkin A.N., Kobeleva E.V., Nedoseko I.V. Dry mixes on gypsum and mixed bases in the construction of low-rise residential buildings using 3D printing technology. *Construction Materials and Products* [Dry mixes on gypsum and mixed bases in the construction of low-rise residential buildings using 3D printing technology]. *Construction Materials and Products* 2023. 6 (6). 5. URL:[doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-6-5](https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-6-5).
5. Bessonov I.V., Shigapov R.I., Babkov V.V. *Stroitelnye materialy*. 2014. № 7. pp. 9–13.
6. Babkov V.V., Latypov V.M., Lomakina L.N., Shigapov R.I. *Stroitelnye materialy*. 2012. №7 pp.4-7.
7. Saidov D.X., Umarov U.X. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_4\\_saidov.pdf\\_1634.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_4_saidov.pdf_1634.pdf)
8. Shigapov R.I., Sinicin D.A., Xalikov R.M., Solovev E.A., Nedoseko I.V. *Nanotexnologii v stroitelstve: nauchnyj internet-zhurnal*. 2022. T.14. №4. pp.274-281.
9. Klyuev A.V., Kashapov N.F., Klyuev S.V., Lesovik R.V., Ageeva M.S., Fomina E.V., Ayubov N.A. Development of alkali-activated binders based on technogenic fibrous materials. *Construction Materials and Products*



[Development of alkali-activated binders based on technogenic fibrous materials. Construction Materials and Products.] 2023. 6 (1). pp. 60 – 73. doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-60-73.

10. Shigapov R.I., Nedoseko I.V. Sposob prigotovleniya suhoj syrevoj smesi dlya penogipsa [The method of preparing a dry raw material mixture for gypsum foam]. Patent na izobreteniya RU 2774929 C1, 24.06.2022. Zayavka № 2021116952 ot 09.06.2021.

11. Klyuev A.V., Kashapov N.F., Klyuev S.V., Zolotareva S.V., Shchekina N.A., Shorstova E.S., Lesovik R.V., Ayubov N.A. Experimental studies of the processes of structure formation of composite mixtures with technogenic mechanoactivated silica component. [Experimental studies of the processes of structure formation of composite mixtures with technogenic mechanoactivated silica component]. Construction Materials and Products. 2023. 6 (2). pp. 5 – 18. doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18

**Дата поступления: 13.02.2025**

**Дата публикации: 1.04.2025**