

УДК 666.914

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-5-26-34>И.В. БЕССОНОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (bessonoviv@mail.ru);  
А.Ф. БУРЬЯНОВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук (rga-service@mail.ru)<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)<sup>2</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

## Пеногипс в современном малоэтажном строительстве

Применение теплоизоляции из пеногипса в ограждающих конструкциях малоэтажных зданий включает ряд преимуществ: доступность гипсового сырья, ускоренные сроки строительных работ, экологичность при эксплуатации и огнестойкость. В работе представлена технология получения пеногипсовой массы. Сырьевая смесь, содержащая гипсовое вяжущее, наполнители и структурирующие добавки подвергаются механической активации и вакуумированию в непрерывно действующем кавитационном активаторе-дезинтеграторе без принудительной подачи воздуха со скоростью вращения ротора не менее 3000 об/мин. В результате получается пеногипсовая масса с оптимальным размером пузырьков, образующих поры, равномерно распределенных по всему объему. Представлены результаты экспериментальных определений физико-механических и теплофизических характеристик пеногипса. Полученные результаты исследования эксплуатационных характеристик позволяют рекомендовать технологию заливочного и плитного пеногипса в малоэтажном строительстве домов из каркасно-обшивных конструкций. Также в настоящее время разрабатывается национальный стандарт ГОСТ Р «Пеногипс. Технические условия».

**Ключевые слова:** малоэтажное строительство, пеногипс, механоактивация, вакуумирование, теплопроводность, морозостойкость.

**Для цитирования:** Бессонов И.В., Бурьянов А.Ф. Пеногипс в современном малоэтажном строительстве // *Жилищное строительство*. 2024. № 5. С. 26–34. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-5-26-34>

I.V. BESSONOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); A.F. BURYANOV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering)<sup>1</sup> Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)<sup>2</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Foam Gypsum in Modern Low-Rise Construction

The use of foam gypsum thermal insulation in the enclosing structures of low-rise buildings includes a number of advantages: the availability of gypsum raw materials, accelerated construction time, environmental friendliness during operation and fire resistance. The paper presents the technology of obtaining a foam gypsum mass. The raw material mixture containing gypsum binder, fillers and structuring additives is subjected to mechanical activation and vacuuming in a continuously operating cavitation activator-disintegrator without forced air supply with a rotor rotation speed of at least 3000 rpm. The result is a foam gypsum mass with an optimal size of bubbles forming pores, evenly distributed throughout the volume. The results of experimental determinations of the physical, mechanical and thermophysical characteristics of foam gypsum are presented. The results of the study of operational characteristics allow us to recommend the technology of pouring and slab foam gypsum in low-rise construction of houses from frame-cladding structures.

**Keywords:** low-rise construction, foam gypsum, mechanical activation, vacuuming, thermal conductivity, frost resistance.

**For citation:** Bessonov I.V., Buryanov A.F. Foam gypsum in modern low-rise construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2024. No. 5, pp. 26–34. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-5-26-34>

Современные требования к теплоизоляционным материалам кроме высоких теплозащитных включают ряд необходимых свойств, среди которых простота и малая энергоемкость производства материалов, доступность сырья, надежность поставщиков, возможность связи с производителями исходных компонентов без посредников, экологическая чистота производства материалов, гигиеничность при эксплуатации, пожарная безопасность, отсутствие выделений мелких волокон, частиц и токсичных газов при обработке материалов, долговечность материалов и др. Но в первую очередь, конечно, негорючесть.

Перечисленным требованиям отвечают теплоизоляционные материалы на основе гипсового вяжущего [1–2].

По сравнению с другими минеральными вяжущими гипсовые вяжущие имеют ряд специфических свойств. К преимуществам использования гипса относятся [3–6]: короткие сроки схватывания гипсового теста, и следовательно, быстрый технологический процесс; хорошая формуемость и удобоукладываемость смеси, равномерность изменения объема при твердении; образование пористой или капиллярной структуры гипса, позволяющей регу-



Рис. 1. Схема расположения источников сырья относительно центров потребления строительного гипса

Fig. 1. Layout of sources of raw materials relative to the centers of consumption of building gypsum

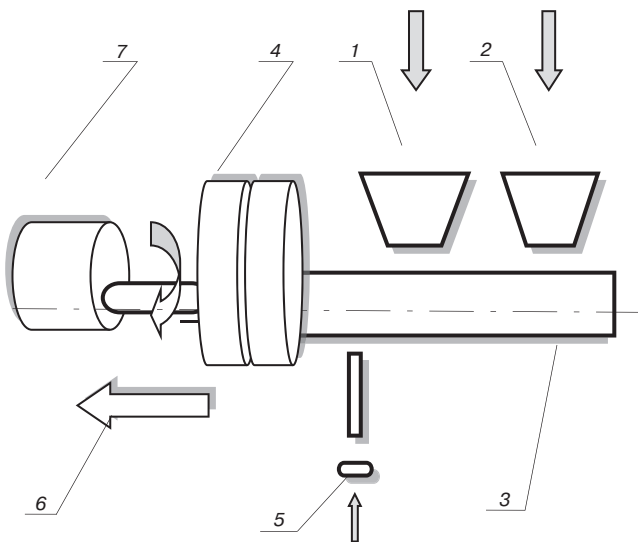


Рис. 2. Способ получения пеногипсовой массы путем вакуумирования в кавитационном активаторе-дизинтеграторе

Fig. 2. Method for producing foam gypsum mass by vacuuming in a cavitation activator-disintegrator

лирование влажность окружающего воздуха и обеспечивающей этим благоприятный для здоровья человека микроклимат в помещениях; незначительная плотность гипса и, как следствие, повышенная теплоизолирующая способность; хорошая звукоизолирующая способность; высокая огнестойкость; быстрое высыхание изделий до достижения равновесной влажности; высокая биостойкость; хорошая обрабатываемость изделий.

Запасы гипса на территории Российской Федерации велики (рис. 1), что позволяет говорить о перспективности производства и применения пеногипса. Применение пеногипсового утеплителя позволяет решить задачи, связанные с повышенными требованиями к теплозащите наружных ограждающих конструкций.

Теплоизоляция ограждающих конструкций может существенно снизить энергопотребление зданий. Эф-



Рис. 3. Скоростное возведение ограждающих конструкций малоэтажного дома

Fig. 3. High-speed construction of enclosing structures of a low-rise building

Таблица 1  
Table 1

Соотношение компонентов для получения пеногипса с заданной плотностью  
The ratio of components to obtain foam gypsum with a given density

Компоненты, мас. %	Плотность пеногипса, кг/м <sup>3</sup>			
	200	300	500	700
Двуводный гипс	15	20	25	30
Полуводный гипс	50	50	50	50
Водный раствор пенообразователя	35	30	25	20

фективная теплозащита не только сокращает расход энергии на отопление, повышает тепловой комфорт в помещениях, но и снижает загрязнение окружающей среды дымовыми газами тепловых станций. Поэтому повышение уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий различного назначения необходимо как с точки зрения экономии тепловой энергии, так и с точки зрения улучшения экологической ситуации.

### Материалы и методы

Гипс имеет массу достоинств, но короткие сроки схватывания и низкая водостойкость существенно ограничивали рамки применения этого материала. Большая работа по решению этих проблем проводилась во ВНИИСТРОМ, МИСИ-МГСУ, НИИСФ, инженеринговых центрах КНАУФ и РИГИПС. Основным

направлением было признано введение минеральных добавок, проявляющих пуццолановую активность, или модификация полимерными веществами. Таким образом, в 1960–1980-е гг. были созданы ГЦПВ (гипсоцементно-пуццолановое вяжущее) и семейство полимергипсовых материалов [6–10].

Снижение объемной массы гипсовых изделий возможно двумя способами: введением легких заполнителей и насыщением материала газом.

При оценке предлагаемых способов необходимо отметить, что введение пористых заполнителей связано с использованием относительно дорогих мате-



**Рис. 4.** Заливка перекрытия пеногипсовой массой

**Fig. 4.** Pouring the ceiling with foam gypsum mass



**Рис. 5.** Свежеуложенная пеногипсовая масса в пустоты каркасно-обшивных стен

**Fig. 5.** Freshly laid foam gypsum mass into the voids of frame-cladding walls



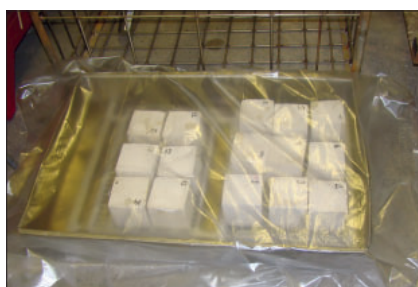
**Рис. 7.** Испытание на прочность при сжатии образцов пеногипса по ГОСТ 10180

**Fig. 7.** Compressive strength test of gypsum foam samples according to GOST 10180



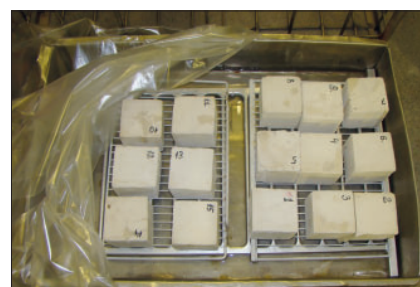
**Рис. 6.** Образцы пеногипса для испытаний

**Fig. 6.** Foam gypsum samples for testing



**Рис. 8.** Проведение испытаний на морозостойкость пеногипса по ГОСТ 25485. Замораживание при  $-20\pm 2^\circ\text{C}$ , оттаивание при  $18\pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $\varphi=95\pm 2\%$

**Fig. 8.** Carrying out tests for frost resistance of foam gypsum according to GOST 25485. Freezing at  $-20\pm 2^\circ\text{C}$ , thawing at  $18\pm 2^\circ\text{C}$  and relative humidity  $\varphi=95\pm 2\%$



риалов, в результате чего значительно увеличивается стоимость изделий. В то же время использование, например, перлита требует увеличения количества воды затворения, что увеличивает затраты при сушке и ухудшает прочностные характеристики материала.

Как показывают исследования, прочность пористых материалов и коэффициент их конструктивного качества в 1,5–2 раза выше, чем у аналогичных материалов на пористых заполнителях. Пористые материалы по своей структуре, как правило, более однородны.

При создании высокопористых структур в цементных системах наибольшее распространение получила технология поризации с помощью газообразователей. Однако, учитывая специфику гипсовых вяжущих, перенос применяемых технологий не представляется возможным [10–15].

Одна из отличительных особенностей гипса состоит в быстром завершении процессов структурообразования. Поэтому совмещение процессов газовой выделенной и структурообразования является особенно трудным. В последние годы в России и за рубежом проводятся многочисленные работы по получению облегченных гипсовых изделий с использованием пенообразователей [15–18].

*Авторы разработали способ получения пеногипсовой массы путем вакуумирования в кавитационном активаторе-дезинтеграторе.*

Целью разработки является повышение качества получаемого продукта – пеногипса, снижение себестоимости производства, упрощение технологического процесса изготовления, а также экономия электроэнергии.

Способ получения пеногипсовой массы для строительных изделий включает механическую активацию дозированных компонентов сырьевой смеси и их вакуумирование. В качестве компонентов используют сырьевую смесь, состоящую из двухводного гипса, представляющего собой отходы производства, измельченные до размера 1–1,5 мм, полуводного гипса и водного раствора пенообразователя. Чтобы сырьевая смесь находилась в пластично-тягучем состоянии в течение всего времени, необходимого для транспортировки и заливки полученной пеногипсовой массы, ее предварительно нагревают до 30–40°C. Все компоненты берутся в соотношении с требуемой на выходе плотностью пеногипса согласно данным (табл. 1). Механическая активация и одновременное вакуумирование пеногипсовой массы происходят в кавитационном активаторе-дезинтеграторе непрерывного действия без принудительной подачи воздуха со скоростью вращения ротора не менее 3000 мин<sup>-1</sup>.

Способ осуществляется следующим образом. Полуводный гипс и двухводный гипс, измельченный до размера 1–1,5 мм, помещаются в загрузоч-

ные устройства 1 и 2 (рис. 2) и подаются шнеком 3 в непрерывно действующий кавитационный активатор-дезинтегратор 4, в соотношении, например, %: 30 – полуводный гипс и 70 – двухводный гипс (или 50 и 50, 70 и 30 соответственно) с одновременным введением в смеситель раствора пенообразователя через специальное отверстие 5 с клапаном и дозатором раствора. Количество разведенного в воде пенообразователя определяется соотношением: 1% пенообразователя на 100 л воды, а отношение воды к гипсовому вяжущему по массе – 0,3–0,8%. При этом все компоненты сырьевой смеси подаются в смеситель нагретыми до 30–40°C. Смесь перемешивают в течение ~1–1,5 мин. Выгрузка полученной пеногипсовой массы происходит непрерывно через отвод 6 с производительностью до 5 м<sup>3</sup> в час.

При перемешивании всех компонентов в кавитационном активаторе-дезинтеграторе со скоростью вращения ротора 7 не менее 3000 мин<sup>-1</sup> в полученной смеси образуются мелкие кавитационные пустоты за счет турбулентных завихрений. В результате активации межмолекулярных связей в полученном составе вакуумные шарики (пузырьки) не успевают схлопываться, а при твердении смеси остаются в массе нового материала (пеногипса) как составляющие элементы структуры пеногипсовой массы. В результате получается пористый строительный материал с оптимальным размером пузырьков вакуума 0,1–0,3 мм, образующих поры и равномерно распределенных по объему.

Полученная пеногипсовая масса используется в качестве теплоизоляционного слоя при изготовлении ограждающих конструкций.

### Реализация технологии на строительном объекте

Монтаж ограждающих конструкций при строительстве малоэтажных зданий позволяет обходиться без грузоподъемных механизмов (рис. 3). Каркасные стены обшивают листами ДСП или OSB, которые являются несъемной опалубкой.

### Экспериментальные определения эксплуатационных характеристик пеногипса

Проведена научно-исследовательская работа, направленная на получение характеристик пеногипсобетона по следующим параметрам:

– коэффициент теплопроводности по ГОСТ 7076 в сухом состоянии,  $\lambda_0$ , Вт/(м·°C);

– определение зависимости коэффициента теплопроводности от влажности,  $\Delta\lambda$ , Вт/(м·°C·%);

– сорбция при  $\phi=40, 60, 80, 90\%$  по ГОСТ 24816 и СП 23-101-2004,  $w$ , мас. %;

– теплопроводность образцов при влажности, соответствующей условиям эксплуатации А и Б,  $\lambda_w$ , Вт/(м·°C);

Таблица 2  
Table 2

Результаты прочностных испытаний образцов пеногипса после циклов замораживания-оттаивания (морозостойкость)  
Results of strength tests of foam gypsum samples after freeze-thaw cycles (Frost resistance)

Наименование материала	№ образца	Размеры образца, см			Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup>	МПа	Средняя прочность $R_{сж}$ , МПа
		а	в	F, кгс			
15 циклов	8	10,3	10,2	226	2,15	0,21	0,21
	9	7,5	7,5	96	1,71	0,17	
	5	10,3	9,9	420	4,14	0,41	
	4	10,1	10,2	226	2,19	0,21	
25 циклов	1	10,26	10,27	153	1,45	0,14	0,16
	6	10,02	10,31	182	1,76	0,17	
	11	10,14	10,43	196	1,85	0,18	
35 циклов	12	10,23	10,15	157	1,51	0,15	0,12
	13	10,28	10,12	85	0,82	0,08	
	15	10,24	10,15	125	1,2	0,12	
Контр.	19	10,42	10,6	306	2,77	0,27	0,23
	20	10,22	10,46	235	2,2	0,22	
	21	9,97	9,98	200	2,01	0,2	

Таблица 3  
Table 3

Результаты экспериментальных определений скорости высушивания образцов пеногипса при температуре 20 и 50°C (изменение массы в %)  
Results of experimental determinations of the drying rate of foamed gypsum samples at temperatures of 20°C and 50°C (weight change in %)

Время	20°C			50°C		
	1	2	3	4	5	6
	5,7	5,1	5,3	6	6,8	7,1
	128,8	125,7	126,4	131,6	127,7	126
10	127,6	124,6	125,4	130,8	126,9	125,2
20	126,8	123,8	124,7	129,3	125,5	123,9
30	126,1	123,2	124	128,1	124,5	122,7
60	124,9	122	122,8	126	122,8	120,7
1 ч 30 м	123,4	120,4	121,2	123,1	120,5	118,2
2 ч 30 м	120,7	117,7	124	119	117,1	114,3
3 ч 30 м	118,3	115,3	115,8	115,4	113,8	110,5
4 ч 30 м	115,5	112,5	112,9	110,9	109,6	106
24 ч	68,8	66,1	65	53,3	56	51,9
30 ч	53,1	50,2	48,7	38,9	36,8	35,4
96 ч	0,1	0,1	0,2	0,1	0	0
120 ч	0,1	0,1	0,2	0,0	0	0
192 ч	0	0	0	0	0	0

– водопоглощение по ГОСТ 17177, ГОСТ 23789,  $W$ , мас. %;

– паропроницаемость по ГОСТ 25898 при условиях эксплуатации А и Б,  $\mu$ , мг/(м·ч·Па);

– динамика увлажнения и скорость высушивания изделий при различных условиях (-5; 10; 20; 50°C) по методике НИИСФ РААСН;

Таблица 4  
Table 4

Результаты экспериментальных определений скорости высушивания образцов пеногипса при температуре -5°C  
Results of experimental determinations of the drying rate of foamed gypsum samples at a temperature of -5°C

Дата, время	-5°C					
	1		2		3	
	г	%	г	%	г	%
Сухие	52,794		53,769		52,992	
26.03.14	117,572	122,7	121,52	126	119,045	124,65
1 мин	116,122	119,95	121,227	125,46	118,858	124,29
10 мин	114,917	117,67	120,332	123,79	117,867	122,42
20 мин	114,328	116,6	119,76	122,7	117,307	121,4
40 мин	113,591	115,2	119,061	121,4	116,62	120,1
1 ч	113,068	114,2	118,486	120,4	116,05	119
2ч	111,694	111,6	117,07	117,7	114,627	116,3
3 ч	110,947	110,2	116,209	116,1	113,719	114,6
4 ч	110,446	109,2	115,742	115,3	113,246	113,7
6ч	109,689	107,8	114,988	113,9	113,066	113,4
27.03.14 24ч	104,392	97,7	109,523	103,7	107,174	102,2
03.03.14 72 ч	89,556	69,6	94,848	76,4	92,161	73,9
05.03.14 120 ч	85,283	61,5	90,57	68,4	87,851	65,8
06.03.14 144 ч	83,042	57,3	88,309	64,2	85,631	61,6
07.03.14	81,214	53,8	86,573	61	83,857	58,2
14.03.14	72,178	36,7	77,539	44,2	74,273	40,2
17.03.14	69,569	31,8	74,754	39	71,954	35,8
18.03.14	68,683	30,1	73,8	37,3	71,005	34
19.03.14						

Таблица 5  
Table 5

Результаты экспериментальных определений скорости высушивания образцов пеногипса при температуре -10°C  
Results of experimental determinations of the drying rate of foamed gypsum samples at a temperature of -10°C

Время	-10°C					
	1		2		3	
	г	%	г	%	г	%
	50,422		50,517		48,071	
	111,324	120,8	117,046	131,7	108,203	125,1
20 мин	110,758	119,7	116,441	130,5	107,577	123,8
40 мин	110,42	119	116,111	129,8	107,197	123
1 ч						
2 ч	109,427	117	114,842	127,3	106,245	121
3 ч 10 м	109,191	116,6	114,503	126,7	105,946	120,4
4 ч	109,236	116,6	114,547	126,7	105,98	120,5
24 ч	109,294	116,8	114,586	126,8	105,902	120,3

Таблица 6  
Table 6

Данные по высушиванию образцов пеногипса в течение первых суток при различной температуре  
Data on drying of foam gypsum samples during the first day at different temperatures

Дата, время	Температура, при которой проводили определение скорости высушивания образцов пеногипса, °C / влажность, мас. %			
	20	50	-10	-5
	134,4	135	125,9	124,5
1 мин	132,3	134,2		123,2
10 мин	133	132,8		121,3
20 мин	131,9	131,7	124,7	120,2
40 мин	129,8	129,8	123,9	118,9
1 ч	128,5	127,2		117,9
2 ч	124,9	123,4	121,8	115,2
3 ч	121,9	119,8	121,7	113,6
4 ч	120,5	115,4	121,3	112,7
6 ч	–	–	–	111,7
24 ч	70,1	60,3	121,3	101,2
30 ч	55,4	43,6		

– воздухопроницаемость по ГОСТ 32493,  $R_{\mu}$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/кг;

– прочность при сжатии по ГОСТ 10180,  $R_{сж}$ , МПа;

– морозостойкость по ГОСТ 31459. Определение снижения прочности и массы образцов при циклических воздействиях замораживания-оттаивания (оттаивание в воде и над водой);

– коэффициент теплоусвоения при условиях эксплуатации А и Б по СП 50.13330.2012.

Морозостойкость пеногипса определяли по ГОСТ 25485. Для пеногипса морозостойкость не нормируется, однако в соответствии с техническим заданием в настоящей научно-технической работе данный показатель определяли на образцах 100×100×100 мм. Основные и контрольные образцы пеногипса перед испытанием на морозостойкость насыщали водой при температуре 18±2°C.

Насыщение образцов проводили погружением в воду (с обеспечением условий, исключающих их всплытие) на 1/3 высоты и последующим выдерживанием в течение 8 ч;

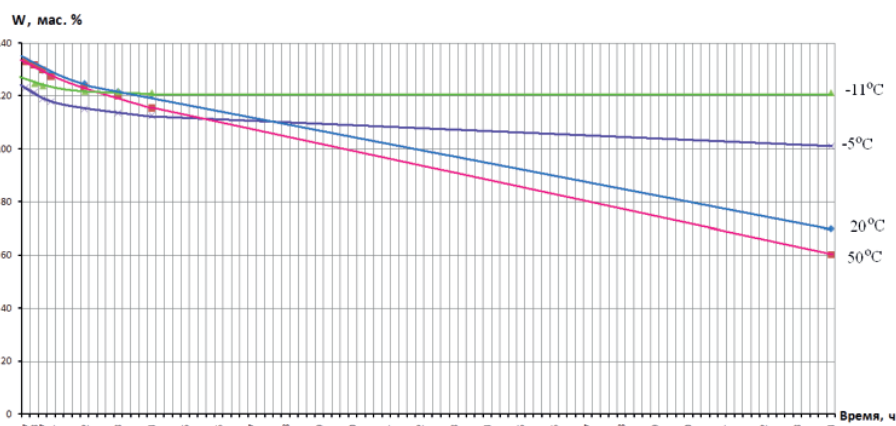


Рис. 9. Интенсивность высушивания образцов пеногипса в течение первых суток при различной температуре

Fig. 9. Drying rate of foam gypsum samples during the first day at different temperatures

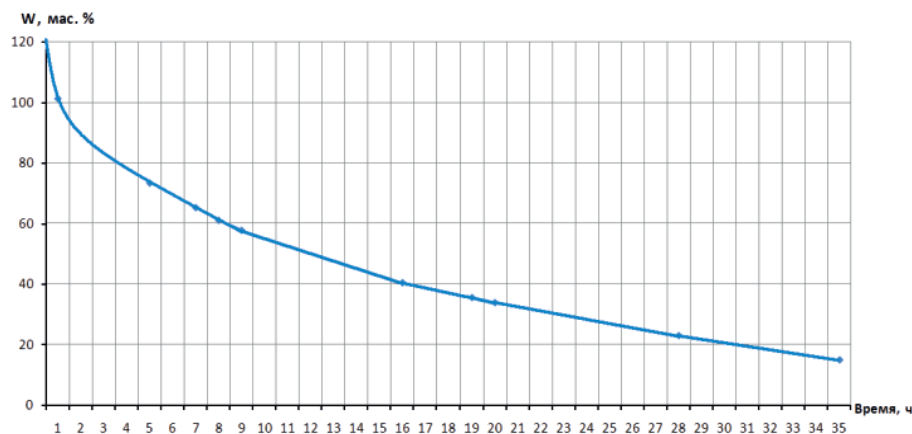


Рис. 10. Интенсивность высушивания образцов пеногипса при температуре -5°C, мас. %

Fig. 10. Drying rate of foamed gypsum samples at a temperature of -5°C, wt.

Таблица 7  
Table 7

**Эксплуатационные характеристики пеногипса**  
**Performance characteristics of foam gypsum**

Наименование показателя	Метод испытания	Единицы измерения	Средние значения
Плотность, среднее значение	ГОСТ 17177 ГОСТ Р ЕН 1602	кг/м <sup>3</sup>	400
Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии при t=25°C	ГОСТ 7076	Вт/(м·°C)	0,12
Сорбция при 40% при 80% при 97%	ГОСТ 24816	%	0,45 2,9 4,8
Водопоглощение при полном погружении на 2 часа	ГОСТ 17177 и ГОСТ 23789	мас. %	135
Приращение теплопроводности на 1% влажности	ГОСТ 7076	Вт/(м·°C·%)	0,01
Расчетные характеристики теплопроводности при условиях эксплуатации конструкций А, при условиях эксплуатации конструкций Б	ГОСТ 7076, СП 23-101-2004	Вт/(м·°C)	0,15 0,17
Паропроницаемость	ГОСТ 25898	мг/(м·ч·Па)	0,264
Предел прочности при сжатии	ГОСТ 10180	МПа	0,8
Коэффициент размягчения	ГОСТ 10180	–	0,31
Коэффициент теплоусвоения	СП50.13330.2012	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Усл. экспл. А 2,28 Усл. экспл. Б 3,33

затем погружением в воду на 2/3 высоты и выдерживанием в таком состоянии еще 8 ч, после чего образцы погружали полностью и выдерживали в таком состоянии еще 24 ч. При этом образцы должны быть со всех сторон окружены слоем воды не менее 20 мм.

Испытания проводили в камере Feutron 3101 при температуре в холодной зоне  $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Продолжительность замораживания составляла 4 ч и положительность оттаивания 4 ч. После выгрузки из морозильной камеры образцы оттаивали при температуре  $18 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $\varphi = 95 \pm 2\%$ . Контрольные образцы выдерживали в таких же условиях.

Результаты прочностных испытаний образцов пеногипса после циклов замораживания-оттаивания приведены в табл. 2.

Снижение прочности после 15 циклов составило 8,5%, снижение прочности после 25 циклов – 30%, снижение прочности после 35 циклов – 47% от значений прочности контрольных образцов.

В работе проводили экспериментальные определения скорости высушивания образцов пеногипса, увлажненных до полного водонасыщения при нормальном атмосферном давлении при различной температуре. Эксперимент проводили на образцах пеногипса размерами  $50 \times 50 \times 50$  мм. Водонасыщение образцов происходит весьма интенсивно, образцы набирают влагу в течение первых 30 мин и в дальнейшем, при выдерживании в воде до 2 ч увеличивают свое влагосодержание незначительно. Результаты экспериментальных определений скорости высушивания образцов пеногипса при различной температуре представлены в табл. 3–5.

В результате получены следующие характеристики пеногипса (табл. 7)

### Заключение

Проведены исследования морозостойкости, воздухопроницаемости и скорости высыхания образцов пеногипса при различной температуре. Пеногипсовая масса достигает расчетной влажности за счет естественной сушки либо посредством принудительного обдува теплым воздухом. К положительным сторонам заливочного утепления относятся: отсутствие стыков в утеплителе, экономия на трудозатратах, транспорте, бортоснастке.

Теплотехнические, физико-механические показатели, а также результаты исследования других эксплуатационных характеристик, полученные в работе, позволяют рекомендовать технологию монолитного малоэтажного домостроения с применением пеногипса.

Рекомендуется применять пеногипс в малоэтажном строительстве домов из каркасно-обшивных конструкций, кирпича и мелких блоков для утепления стен, чердаков, мансард, подвальных помещений, гаражей, хозяйственных построек.

Перспективным представляется применение пеногипса в конструкциях кровель большепролетных цехов. Наиболее важным преимуществом этих плит является их негорючесть. Кроме того, вследствие малой гигроскопичности они не будут увеличивать свой вес при эксплуатации и создавать дополнительной нагрузки на несущие фермы.

Основные технические требования и методы испытания будут отражены в разрабатываемом национальном стандарте ГОСТ Р «Пеногипс. Технические условия».

## Список литературы

1. Рахимов Р.З. Гипс в строительстве с древних веков до современности // *Academia. Архитектура и строительство*. 2021. № 4. С. 120–124.
2. Абрамова А.Ю., Пустовгар А.П. Применение поверхностно-активных веществ в составе бетонов, растворов и сухих строительных смесей на цементном вяжущем // *ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси*. 2021. № 3 (64). С. 54–69.
3. Адамцевич А.О., Пустовгар А.П., Адамцевич Л.А. Аддитивное строительное производство: особенности применения технологии // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023. № 7. С. 70–78.
4. Федорцов В.А., Гладкин С.С., Федорцов А.П., Ерофеев В.Т. Улучшение эксплуатационных свойств цементных композитов комплексными добавками // *Строительные материалы*. 2023. № 8. С. 72–79. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-816-8-72-79>
5. Коровяков В.Ф., Соловьев В.Н., Гальцева Н.А. Легкий бетон на основе водостойкого гипсового вяжущего и пеностекляного заполнителя из диатомитового сырья // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. № 6 (65). С. 144–150.
6. Бурьянов А.Ф., Фишер Х.Б., Коровяков В.Ф., Гальцева Н.А., Булдыжова Е.Н. Ангидритовое вяжущее, модифицированное комплексной добавкой, для сухих строительных смесей // *Строительные материалы*. 2022. № 8. С. 36–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-805-8-36-40>
7. Неганова У.А., Гордина А.Ф., Гинчицкая Ю.Н., Саидова З.С., Александров А.М., Яковлев Г.И. Исследование свойств гипсокерамического материала на основе техногенного ангидрита // *Строительные материалы*. 2022. № 1–2. С. 70–75. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-799-1-2-70-75>
8. Батова М.Д., Жукова Н.С., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Шайбадуллина А.В., Эльрефаи А.Э., Орбан З. Гипсовые материалы, модифицированные комплексной добавкой на основе наносилики // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 64–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-64-71>
9. Отман А.С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Васева С.В. Особенности структурообразования композиционных гипсовых вяжущих с комплексом минеральных и органических добавок // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2023. № 4. С. 24–33.
10. Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Масалитина С.В. Состав

## References

1. Rakhimov R.Z. Gypsum in construction from ancient times to the present. *Academia. Arhitektura i Stroitel'stvo*. 2021. No. 4, pp. 120–124. (In Russian).
2. Abramova A.Yu., Pustovgar A.P. The use of surfactants in the composition of concrete, mortars and dry construction mixtures based on cement binder. *ALITinform: Cement. Beton. Suhie smesi*. 2021. No. 3 (64), pp. 54–69. (In Russian).
3. Adamtsevich A.O., Pustovgar A.P., Adamtsevich L.A. Additive construction production: features of technology application. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo*. 2023. No. 7, pp. 70–78. (In Russian).
4. Fedortsov V.A., Gladkin S.S., Fedortsov A.P., Erofeev V.T. Improving the performance properties of cement composites with complex additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2023. No. 8. pp. 72–79. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-816-8-72-79>
5. Korovyakov V.F., Solovyov V.N., Galtseva N.A. Lightweight concrete based on waterproof gypsum binder and foam glass filler made from diatomite raw materials. *Vestnik of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2017. No. 6 (65), pp. 144–150. (In Russian).
6. Buryanov A.F., Fisher H.B., Korovyakov V.F., Galtseva N.A., Buldyzhova E.N. Anhydrite binder, modified with a complex additive, for dry construction mixtures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 8, pp. 36–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-805-8-36-40>
7. Neganova U.A., Gordina A.F., Ginchitskaya Yu.N., Saidova Z.S., Aleksandrov A.M., Yakovlev G.I. Study of the properties of gypsum ceramic material based on technogenic anhydrite. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 1–2, pp. 70–75. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-799-1-2-70-75>
8. Batova M.D., Zhukova N.S., Gordina A.F., Yakovlev G.I., Shaibadullina A.V., Elrefai A.E., Orban Z. Gypsum materials modified with a complex additive based on nanosilica. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 64–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-64-71>
9. Otman A.S.A., Chernysheva N.V., Drebezgova M.Yu., Kovalenko E.V., Vasheva S.V. Features of structure formation of composite gypsum binders with a complex of mineral and organic additives. *Vestnik of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 4, pp. 24–33. (In Russian).
10. Otman Azmi S.A., Chernysheva N.V., Drebezgova M.Yu., Kovalenko E.V., Masalitina S.V. Comp-



- и свойства композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости // *Строительные материалы*. 2023. № 5. С. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-813-5-81-88>
11. Отман Азми С.А., Чернышева Н.В. Определение водоотталкивающих свойств штукатурных растворов на КГВ, модифицированных органическими добавками. В сборнике: *Инженерное дело на Дальнем Востоке России. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции*. Дальневосточный федеральный университет. 2023. С. 152–157.
  12. Новиченкова Т.Б., Петропавловская В.Б., Петропавловский К.С., Завадько М.Ю., Коровицын Д.А. Подбор оптимального гранулометрического состава безобжиговых гипсовых композитов. В сборнике: *Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий. XI Международная научно-практическая конференция: Материалы конференции / Под научной редакцией А.Ф. Бурьянова*. 2023. С. 126–134.
  13. Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю. Гипсовые дисперсно-армированные композиции с добавочным комплексом на основе техногенных отходов. В сборнике: *Расширение применения местных сырьевых материалов и отходов предприятий Республики Мордовия при изготовлении строительных материалов и изделий. Материалы Международной научно-технической конференции / Отв. редактор В.Т. Ерофеев [и др.]*. Саранск, 2023. С. 309–314.
  14. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Завадько М.Ю. Формирование структуры гипсовых дисперсных систем контактно-конденсационного твердения. В сборнике: *Инновации и моделирование в строительном материаловедении / Под ред. В.В. Белова*. Тверь, 2022. С. 109–115.
  15. Гаркави М.С., Фишер Х.-Б., Бурьянов А.Ф. Особенности кристаллизации двухводного гипса при искусственном старении гипсового вяжущего // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 73–75.
  16. Шигапов Р.И., Недосеко И.В. Способ приготовления сухой сырьевой смеси для пеногипса. Патент на изобретение RU 2774975 C1, 24.06.2022. Заявка № 2021116952 от 09.06.2021.
  17. Шигапов Р.И., Синицин Д.А., Халиков Р.М., Соловьева Е.А., Недосеко И.В. Эффективное использование сухих пенообразователей при изготовлении пеногипсовых теплоизоляционных нанокomпозиций // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2022. Т. 14. № 4. С. 274–281.
  18. Матыева А.К., Асаналиева Ж.Д., Азизова А.Э. Модифицированная сухая бетонная смесь (пеногипсобетон) // *Наука и инновационные технологии*. 2019. № 2 (11). С. 58–63.
  11. Otman Azmi S.A., Chernysheva N.V. Determination of water-repellent properties of plaster mortars on KGV, modified with organic additives. In the collection: *Engineering in the Far East of Russia. Materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference*. Far Eastern Federal University. 2023, pp. 152–157. (In Russian).
  12. Novichenkova T.B., Petropavlovskaya V.B., Petropavlovsky K.S., Zavadko M.Yu., Korovitsyn D.A. Selection of the optimal granulometric composition of unfired gypsum composites. In the collection: *Increasing the efficiency of production and use of gypsum materials and products. XI International scientific and practical conference: conference materials*. Scientifically edited by A.F. Buryanov. 2023, pp. 126–134. (In Russian).
  13. Petropavlovskaya V.B., Zavadko M.Yu. Gypsum dispersed-reinforced compositions with an additional complex based on technogenic waste. In the collection: *Expanding the use of local raw materials and waste from enterprises of the Republic of Mordovia in the manufacture of building materials and products. Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Rep. editor V.T. Erofeev [and others]. Saransk, 2023, pp. 309–314. (In Russian).
  14. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Petropavlovsky K.S., Zavadko M.Yu. Formation of the structure of gypsum dispersed systems of contact-condensation hardening. In the collection: *Innovations and modeling in construction materials science*. Edited by V.V. Belov. Tver, 2022, pp. 109–115. (In Russian).
  15. Garkavi M.S., Fischer H.-B., Buryanov A.F. Features of crystallization of gypsum dihydrate during artificial aging of gypsum binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 73–75. (In Russian).
  16. Shigapov R.I., Nedoseko I.V. *Sposob prigotovleniya sukhoy syr'yevoy smesi dlya penogipsa* [Method for preparing dry raw material mixture for foam gypsum]. Patent for invention RU 2774975 C1, 06.24.2022. Application No. 2021116952 dated 06/09/2021.
  17. Shigapov R.I., Sinitsin D.A., Khalikov R.M., Solovyova E.A., Nedoseko I.V. Effective use of dry foaming agents in the manufacture of foam-gypsum heat-insulating nanocompositions. *Nanotehnologii v Stroitel'stve: Nauchnyj Internet-Zhurnal*. 2022. Vol. 14. No. 4, pp. 274–281. (In Russian).
  18. Matyeva A.K., Asanaliyeva Zh.D., Azizova A.E. Modified dry concrete mixture (foamed gypsum concrete). *Nauka i Innovacionnye tehnologii*. 2019. No. 2 (11), pp. 58–63. (In Russian).