

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.31

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-1-106-117

*Л.А. АНИКАНОВА, А.И. КУРМАНГАЛИЕВА,  
О.В. ВОЛКОВА, Д.М. ПЕРВУШИНА,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ГАЗОГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В статье представлены результаты исследований поризованных гипсовых строительных материалов, обладающих теплоизоляционными свойствами, которые могут найти применение в строительстве малоэтажных зданий при изготовлении межквартирных и межкомнатных перегородок.

В качестве газообразующего компонента гипсовой матрицы, состоящей из строительного гипса и замедлителя схватывания в виде лимонной кислоты, использован кислый фторангидрит Сибирского химического комбината совместно с карбонатом кальция. Для регулирования подвижности растворной смеси в состав введены суперпластификаторы «Штайнберг МР-4» и «Штайнберг PR-1S(A)», исследовано их влияние на свойства поризованной гипсовой смеси и газогипсовых материалов.

Анализ результатов по влиянию суперпластификаторов на свойства образцов показал, что количество пластификаторов «Штайнберг МР-4» и «Штайнберг PR-1S(A)» 2 % от массы строительного гипса является оптимальным для достижения прочности образцов до 27 МПа («Штайнберг МР-4») и низкой плотности («Штайнберг PR-1S(A)'). При этом обеспечивается высокая подвижность поризованной смеси. Основная роль суперпластификаторов в гипсовой водозатворенной композиции заключается в увеличении  $\xi$ -потенциала материала и снижении за счет этого водогипсового отношения смеси при сохранении подвижности. Эффект действия суперпластификаторов в значительной мере зависит от исходной модификации вяжущего, его дисперсности и подвижности.

**Ключевые слова:** фторангидрит; поризованные материалы; суперпластификаторы; прочность; плотность; подвижность смеси.

**Для цитирования:** Анканова Л.А., Курмангалиева А.И., Волкова О.В., Первушина Д.М. Влияние пластифицирующих добавок на свойства газогипсовых материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 1. С. 106–117.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-1-106-117

L.A. ANIKANOVA, A.I. KURMANGALIEVA,  
O.V. VOLKOVA, D.M. PERVUSHINA,  
Tomsk State University Of Architecture And Building

## **GAS-GYPSUM MATERIALS PROPERTIES MODIFIED BY PLASTICIZING AGENTS**

The paper deals with porous gypsum building materials having heat-insulating properties and applied in low-rise building construction, in the manufacture of flat and room dividers.

Anhydrite of the Siberian Chemical Combine together with sodium carbonate is used as a gas-forming component. To regulate the plasticity of the mortar mixture, the Steinberg MP-4 and Steinberg PR-1S(A) superplasticizers are introduced into the composition, and their effect on the porous gypsum mixture properties is studied.

The analysis of the superplasticizer influence on the properties shows that the use of the Steinberg MP-4 with the amount of 2 wt.% of gypsum is optimum to achieve high strength of up to 27 MPa, while providing high mobility of the porous mixture. The main role of superplasticizers in a gypsum water-soluble composition is to increase the  $\xi$ -potential of the material and to reduce the water-gypsum ratio of the mixture while maintaining its mobility. The effect of superplasticizers largely depends on the initial modification of the binder, its dispersibility and mobility.

**Keywords:** anhydrite; porous materials; superplasticizer; compressive strength; density; mixture mobility.

**For citation:** Anikanova L.A., Kurmangalieva A.I., Volkova O.V., Pervushina D.M. Issledovanie vliyaniya plastifitsiruyushchikh dobavok na svoistva gazogipsovykh materialov [Gas-gypsum materials properties modified by plasticizing agents]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 1. Pp. 106–117. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-1-106-117

### **Введение**

Для реализации стратегических задач строительной отрасли Российской Федерации по ресурсо- и энергосбережению необходимо обеспечивать поиск инновационных технологических приемов и обосновывать вероятность повышения конкурентной способности материалов для теплозащиты ограждающих конструкций. В настоящее время актуальными являются энергоэффективные экологически безвредные теплоизоляционные материалы на основе гипсовых и гипсосодержащих исходных компонентов, свойства которых находятся в зависимости от ведущих методик снижения средней плотности строительного гипса. Материалы на основе гипсовых вяжущих обладают прекрасными эксплуатационными характеристиками: высокой прочностью, огнестойкостью, хорошими тепло- и звукоизолирующими свойствами и водостойкостью. Гипсовые материалы удачно сочетают в себе качество сырья и требовательный подход к потребительским свойствам готовой продукции. Строительный гипс не имеет запаха и экологичен. Он быстро набирает прочность, имеет хорошую адгезию к другим строительным материалам, легко принимает форму материалов, контактирующих с ним [1–3].

Основными методами снижения средней плотности гипсовых материалов являются: использование пористых заполнителей, применение газо- и пенообразующих добавок. На данный момент применение таких добавок недостаточно

действенно, что связано с быстрыми сроками схватывания строительного гипса, высокой стоимостью добавок, поэтому актуальными являются методы, основанные на использовании таких добавок, которые выделяют газ при протекании химических реакций. Применение такого способа не является новым, однако подходы к выбору газообразующих добавок, исходной матрицы и технологических процессов производства поризованных материалов существенно различаются [4]. Авторы предлагают в качестве порообразующей добавки использовать вторичное гипсовое сырье с адсорбированной на его зернах серной кислоты и карбонатной муки. Задача утилизации техногенных отходов относится к категории глобальных системных проблем современной науки и технологии. Практический аспект эффективного решения данной проблемы соотносится с формированием комплексов безотходных производств в составе региональных промышленных кластеров. Реализация данной концепции зависит от степени изученности техногенных отходов в качестве потенциальных сырьевых компонентов для конструирования и синтеза структур строительных композитов, создания научно обоснованных принципов и технологий структурообразования систем твердения и получения искусственного камня, который должен пройти тестирование, идентификацию и диагностику с точки зрения его функциональных возможностей [5, 6]. При использовании вторичного сырья одновременно решаются две проблемы: экономия природных ресурсов [7] и переработка вредных отходов с применением безотходных технологий, улучшение экологической обстановки [8–10].

Недостатком гипсовых вяжущих при производстве поризованных материалов является быстрое схватывание, при этом не обеспечивается равномерный процесс газовыделения и схватывания, что приводит к образованию неоднородной пористой структуры и ухудшению эксплуатационных характеристик материала. Для регулирования сроков схватывания и газообразования применяются добавки различного назначения. В настоящей работе в качестве компонента газообразующей добавки использован модифицированный фторангидрит Сибирского химического комбината (СХК) совместно с карбонатом кальция, а также суперпластификаторы на поликарбоксилатной основе – эффективные реологические и водоредуцирующие добавки для различных вяжущих композиций. В качестве замедлителя схватывания гипсового вяжущего использована лимонная кислота. Основные способы модифицирования кислого фторангидрита представлены в исследованиях [11–15], процессы структурообразования гипсовых вяжущих изучены авторами в работах [16–20].

Целью работы является оценка влияния различных поликарбоксилатных пластификаторов на свойства поризованной гипсовой смеси. В качестве исследуемых пластификаторов использовались добавки «Штайнберг МР-4» и «Штайнберг PR-1S(A)». В отличие от традиционно используемых нафталинформальдегидных пластификаторов поликарбоксилатные экологически безопасны, обладают антикоррозионными свойствами, введение их в гипс позволяет значительно увеличить долговечность возводимых объектов.

### **Материалы и методы исследования**

В работе в качестве вяжущего использован нормально твердеющий гипс средней степени помола марки Г-5 АП (ГОСТ 125–2018). В качестве поризу-

ющего компонента использован кислый фторангидрит Сибирского химического комбината (ТУ 2141-030-07622928–2019) совместно с карбонатом кальция (ГОСТ 32802–2014). Состав и качественные характеристики кислого фторангидрита СХК приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Химический и гранулометрический состав кислого фторангидрита**

Температура фторангидрита на выходе из печи	Химический состав фторангидрита, масс. %					Гранулометрический состав, частные остатки на ситах, %					Истинная плотность $\rho_{15}$ , кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность $\rho_{15}$ , кг/м <sup>3</sup>
	CaSO <sub>4</sub> <sup>p</sup>	CaSO <sub>4</sub> <sup>н</sup>	CaF <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HF	2,5–5	1,25–2,5	0,63–1,25	0,315–0,63	0,16–0,315		
180 °С	15	81,3	0,5	3,0	0,2	8,4	11,0	4,2	40,7	35,7	2570	1470

С целью исследования вяжущих свойств фторангидрит естественной гранулометрии высушивался при 45 °С в сушильном шкафу до постоянной массы. Процесс структурообразования фторангидрита естественной гранулометрии оценивался по следующим параметрам: срокам схватывания, прочности при сжатии и степени гидратации. По результатам исследований, представленным в табл. 2, процесс схватывания фторангидрита естественной гранулометрии с различным содержанием остаточной кислоты протекает очень медленно.

*Таблица 2*

**Эксплуатационные характеристики фторангидрита СХК до стадии нейтрализации**

Содержание кислоты, %	Сроки схватывания, ч-мин		Содержание гидратной воды, %		Прочность, МПа
	Начало	Конец	в исходной пробе	28 сут	
0,15	6–30	12–25	0,93	0,98	1,2
3,0	7–25	14–55	4,8	5,1	1,0
5,5	8–30	15–20	6,4	7,1	0,5

Степень связывания воды через 28 сут составляет 0,05–0,7 %, прочность затвердевшего камня в возрасте 28 сут составляет всего 0,5–1,2 МПа и снижается с увеличением содержания серной кислоты во фторангидрите. Процесс структурообразования, по нашему мнению, осуществляется за счет уплотнения гелеобразных составляющих при удалении (испарении) воды.

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что фторангидрит без дополнительной обработки и химической модификации непригоден в качестве вяжущего для производства строительных изделий из-за его

медленной гидратации и низких прочностных характеристик. В данной работе использован кислый фторангидрит, активированный в дизинтеграторе до удельной поверхности  $250 \text{ м}^2/\text{кг}$  в качестве «носителя» серной кислоты. Процесс активации использовался для повышения площади контакта между компонентами газообразователя.

В качестве пластификатора использовались суперпластификаторы «Штайнберг» с концентрацией: 1; 1,6; 2; 5; 10 % в пересчете на сухое вещество, которые вводились в гипсовое вяжущее вместе с водой затворения. Технические характеристики суперпластификаторов «Штайнберг МР-4» и «Штайнберг PR-1S (A)» представлены в табл. 3, 4. В качестве замедлителя сроков схватывания строительного гипса использована лимонная кислота (ГОСТ 908–2004).

Таблица 3

**Технические характеристики суперпластификатора «Штайнберг МР-4»**

Наименование	«Штайнберг МР-4»
Контроль качества	ГОСТ 24211, ГОСТ 30459, ТУ 20.59.59-001-45419370–2018
Внешний вид	Жидкость темно-коричневого цвета
Плотность раствора, $\text{кг}/\text{дм}^3$	$1,095 \pm 0,003$
Водородный показатель рН	7,0–11,0
Граничная дозировка, в % по готовому продукту от массы цемента	1,3–2,5
Оптимальная дозировка, в % по готовому продукту от массы цемента	1,6–2,0
Транспортирование и хранение	По ГОСТ 24211, при температуре не ниже $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ , в герметично закрытой таре
Срок хранения	1 год со дня изготовления
Форма поставки	Пластиковые канистры 5, 10, 20, 30, 50 л, бочки 200 л, специализированные емкости 1000 л, авто и ж.-д. цистерны, на розлив в тару потребителя

Таблица 4

**Технические характеристики суперпластификатора «Штайнберг PR-1S (A)»**

Наименование	«Штайнберг» PR-1S (A)
Внешний вид	Жидкость от прозрачного до светло-желтого цвета
Плотность раствора, $\text{кг}/\text{дм}^3$	$1,005 \pm 0,003$
Дозировка, в % по готовому продукту от веса цемента	0,1–2,0
Контроль качества	ГОСТ 24211, ГОСТ 30459
Срок хранения	1 год со дня изготовления

Оптимальное количество воды определялось опытным путем до достижения нормальной густоты гипсового теста (ГОСТ 125–2018).

Для сравнительных исследований образцов по величине прочности на сжатие использована методика малых образцов размером 2×2×2 см, полученных из гипсового теста литьевым методом. Образцы хранились при температуре  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 28 сут при относительной влажности 70 %.

Микроструктурные исследования экспериментальных образцов проводились в лаборатории электронно-оптической диагностики Международного исследовательского научно-образовательного центра кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов ТПУ на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N (Hitachi, Япония) [21].

### Результаты исследований

При взаимодействии остаточной кислоты и карбонатной муки в процессе химической реакции выделяется углекислый газ, который образует поры в строительном изделии. Так как фторангидрит является отходом производства плавиковой кислоты, а карбонатная мука получена в результате помола природного известняка, то это ведет к существенному снижению стоимости конечного изделия.

Для исследования влияния пластификаторов на свойства поризованных стеновых материалов разработаны составы с добавками суперпластификаторов в количестве от 1 до 10 % от массы гипса в пересчете на сухое вещество. В качестве основных критериев оценки свойств смеси и газогипсового материала использованы следующие параметры качества: диаметр расплава смеси, прочность образцов на сжатие, средняя плотность образцов. Влияние пластификаторов на диаметр расплава смеси представлен на рис. 1.

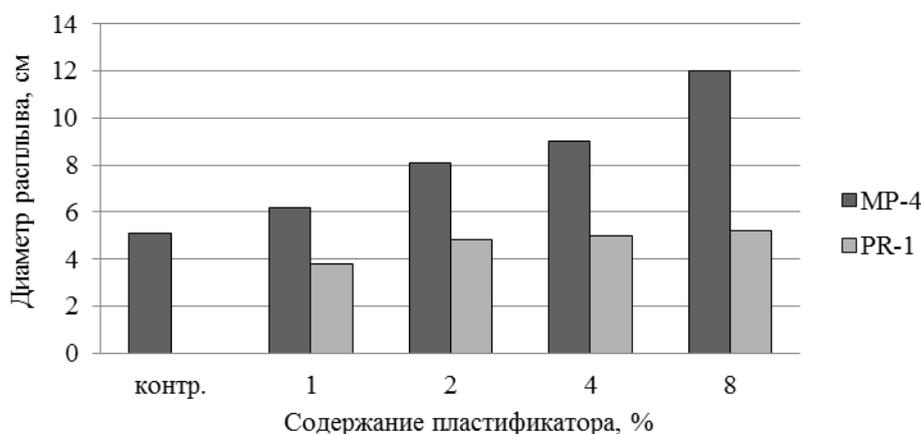


Рис. 1. Влияние пластификаторов на диаметр расплава смеси

По результатам исследований, величина расплава поризованной смеси зависит от вида и количества пластифицирующей добавки. При использовании пластификатора «Штайнберг MP-4» подвижность смеси резко возрастает при увеличении содержания пластификатора. Максимальная подвижность смеси наблюдается при содержании пластификатора в количестве 8 %. Дальнейшее увеличение содержания пластификатора нецелесообразно в связи

с ухудшением эксплуатационных характеристик образцов. Повышение количества пластификатора «Штайнберг PR-1S(A)» приводит к незначительному повышению расплыва смеси.

На рис. 2, 3 представлены результаты исследований по влиянию пластификаторов на величину средней плотности и прочности образцов.

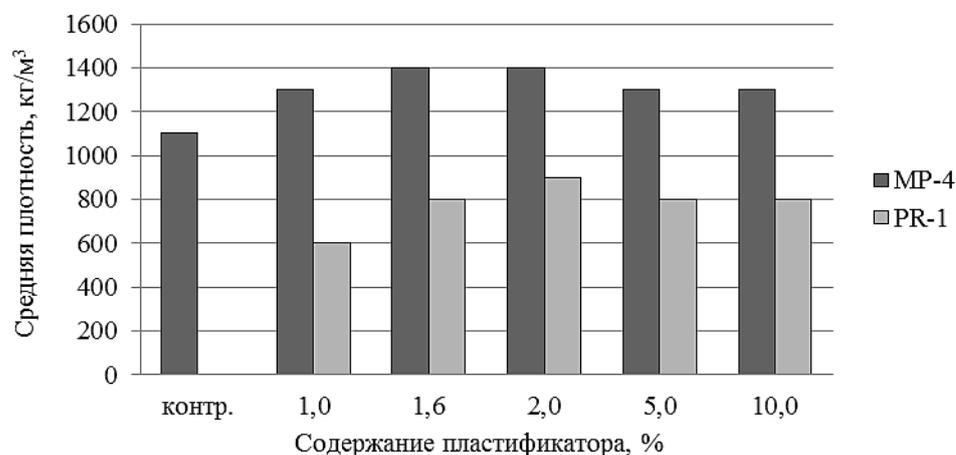


Рис. 2. Влияние пластификаторов на среднюю плотность образцов

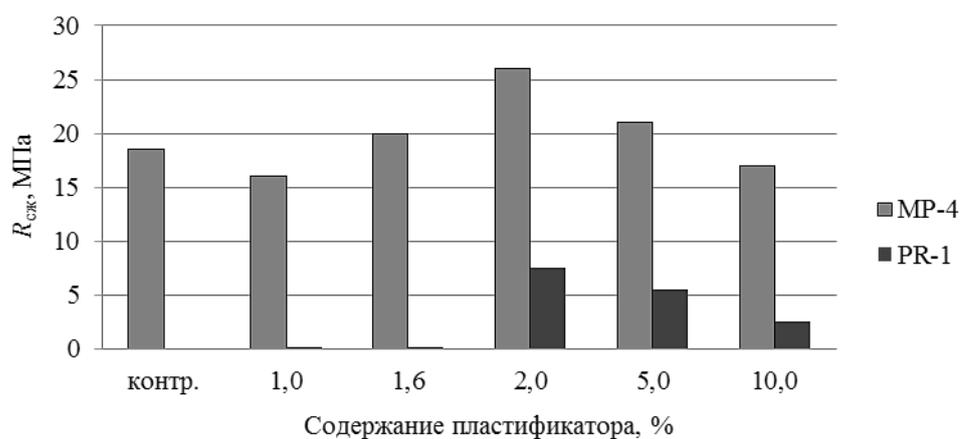


Рис. 3. Влияние пластификаторов на прочность образцов

Проведенные исследования показали, что влияние суперпластификаторов на величину прочности и средней плотности образцов носит экстремальный характер. Так, увеличение количества пластификатора «Штайнберг MP-4» до 2 % от массы гипсового вяжущего приводит к постепенному повышению средней плотности до 1400 кг/м<sup>3</sup>, при этом прочность образцов на сжатие составляет 27 МПа, дальнейшее повышение количества пластифицирующей добавки нерационально, поскольку прочность образцов на сжатие существенно снижается (рис. 2).

Средняя плотность образцов с пластифицирующей добавкой «Штайнберг PR-1S(A)» в количестве 1 % составляет  $600 \text{ кг/м}^3$ , что в два раза ниже плотности контрольных образцов, составляющей  $1100 \text{ кг/м}^3$ . При этом прочность образцов на сжатие с пластифицирующей добавкой «Штайнберг PR-1S(A)» мала, образцы разрушаются при незначительном усилии. Максимальная величина прочности образцов, составляющая 7,5 МПа, достигается при содержании добавок в количестве 2 % от массы гипсового вяжущего, что в 3 раза ниже прочности образцов с применением пластификатора «Штайнберг МР-4».

Анализ результатов по влиянию суперпластификаторов на прочность образцов показал, что количество пластификатора «Штайнберг МР-4» в 2 % от массы гипса является оптимальным для достижения высокой прочности, которая составляет 27 МПа. Это объясняется снижением водопотребности сырьевой смеси и участием поликарбоксилата в структурообразовании гипсового камня. Постепенное снижение прочности при содержании пластифицирующей добавки свыше 2 % в составе смеси обусловлено воздействием поликарбоксилатной составляющей на кинетику твердения и структуру камня. Добавка способствует дополнительному вовлечению пузырьков воздуха, следовательно, получению менее плотной структуры композита. Использование пластифицирующей добавки «Штайнберг PR-1S(A)» уменьшает прочностные характеристики образцов, максимальная прочность образцов составляет 7,4 МПа. На рис. 4 представлены внешний вид и микрофотографии образцов.

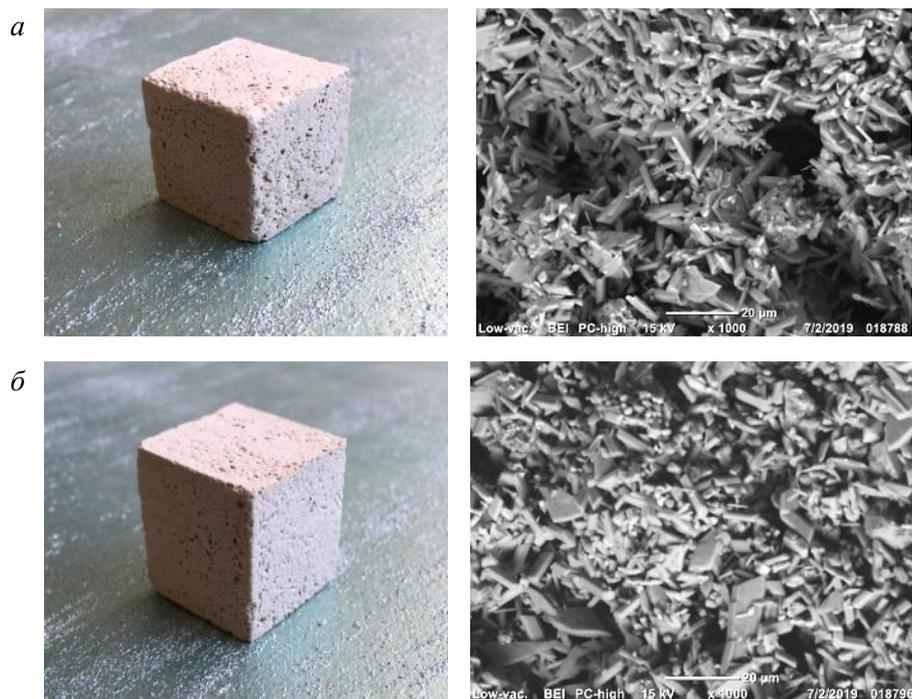


Рис. 4. Внешний вид образцов и электронно-микроскопические снимки с добавками:  
а – суперпластификатора «Штайнберг PR-1S(A)»; б – суперпластификатора «Штайнберг МР-4»

Структура затвердевших образцов с добавкой пластификатора «Штайнберг МР-4» микропористая, с добавкой пластификатора Штайнберг PR-1S(A) – рыхлая, крупнопористая.

Расход компонентов и характеристика материалов по величине средней плотности с использованием пластификаторов «Штайнберг» представлены в табл. 5.

Таблица 5

**Расход компонентов для рациональных составов газогипсовых материалов**

Расход компонентов (кг) на 1 м <sup>3</sup> поризованной смеси							
ФТА	Карбонатная мука	Гипс	Лимонная кислота	Вода	PR-1	MP-4	$\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>
102,89	82,90	331,9	0,16	278,8	3,31	–	600
154,34	124,5	497,9	0,24	418,2	–	4,98	1100

По результатам, представленным в табл. 5, влияние пластифицирующих добавок на микроструктуру и эксплуатационные характеристики образцов существенно различаются. Так, пластифицирующая добавка «Штайнберг PR-1S(A)» оказывает существенное влияние на величину средней плотности образцов и образование высокопористой структуры (рис. 4, а), при этом плотность образцов составляет от 600 кг/м<sup>3</sup>, прочность образцов на сжатие – 0,43 МПа. При введении пластифицирующей добавки «Штайнберг МР-4» плотность и прочность образцов на сжатие увеличиваются до 1100 кг/м<sup>3</sup> и до 27 МПа соответственно (рис. 4, б).

Полученные экспериментальные данные использованы для разработки технологической схемы производства газогипсовых материалов, по которой в состав строительного гипса вводится первоначально лимонная кислота и водный раствор пластифицирующей добавки. Расчетное количество газообразователей вводится в состав гипсовой смеси, перемешивается в течение 1–3 мин и разливается в формы. Твердение изделий рекомендовано проводить в естественных условиях или в сушильных камерах при температуре тепловой обработки не более 70 °С.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что для получения газогипсовых материалов эффективно использовано введение в состав смеси кислого фторангидрита с дополнительным использованием карбоната кальция в качестве основных газообразующих компонентов. Исследование влияния пластифицирующих добавок «Штайнберг МР-4» и «Штайнберг PR-1S(A)» на свойства поризованной смеси выявило, что влияние пластифицирующих добавок носит неравнозначный характер. Оптимальным является введение суперпластификатора «Штайнберг МР-4» в количестве 2 % от массы гипса, который обеспечивает повышение прочности до 27 МПа и плотности материала до 1400 кг/м<sup>3</sup>, при этом обеспечивается высокая подвижность поризованной смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышов Е.М., Потамошинева Н.Д., Монастырев П.В., Ярцев В.П. Строительно-технологическая утилизация техногенных отходов как комплексная системная эколого-экономическая проблема развития территорий и градостроительства // Вопросы современной науки и практики. 2016. № 4 (62). С. 67–86.
2. Пухаренко Ю.В., Харитонова Т.В. Оценка применения карбонатных заполнителей в составе сухих смесей для реставрации // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 121–125.
3. Kodzoev M.-B., Isachenko S., Kosarev S., Basova A., Skvortzov A., Asamatdinov M., Zhukov A. Modified gypsum binder // MATEC Web of Conferences. St. Petersburg, 2017. P. 1–7. DOI: 10.1051/mateconf/201817003022
4. Лесовик В.С., Чернышова Н.В., Клименко В.Г. Процессы структурообразования гипсо-содержащих композитов с учетом генезиса сырья // Известия вузов. Строительство. 2012. № 4. С. 3–11.
5. Пономаренко А.А., Капустин Ф.Л. Технология переработки фторангидрита для использования в производстве портландцемента // Химическая технология. 2011. № 6. С. 323–325.
6. Федорчук Ю.М. Техногенный ангидрит, его свойства, применение. Томск : Изд-во ТПУ. 2005. 110 с.
7. Гаркави М.С., Артамонов А.В., Колодежная Е.В., Нефедьев А.П., Худовекова Е.А., Бурьянов А.Ф., Фишер Х.-Б. Активированные наполнители для гипсовых и ангидритовых смесей // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 14–17. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-14-17
8. Guerra-Cossio M.A., González-Lopez J.R., Magallanes-Rivera R.X., Zaldivar-Cadena A.A., Figueroa-Torres M.Z. Calcium sulfate: an alternative for environmentally friendly construction // 2 International conference on Bio-based Building materials. 2017. P. 1–5.
9. Tayibi H., Choura M., López F.A., Alguacil F.J., López-Delgado A. Environmental impact and management of phosphogypsum // Journal of Environmental Management. 2009. № 90 (8). P. 2377–2386.
10. Leonid D., Nataliya L., Mohammed S. Application areas of phosphogypsum in production of mineral binders and composites based on them: A review of research results // MATEC Web of Conferences. 2018. P. 01012.
11. Кудяков А.И., Аниканова Л.А., Редлих В.В., Саркисов Ю.С. Влияние сульфата и сульфита натрия на процессы структурообразования фторангидритовых композиций // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 50–53.
12. Аниканова Л.А., Курмангалиева А.И., Волкова О.В., Федорчук Ю.М. Газогипсовые материалы с использованием вторичного сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 6. С. 126–137.
13. Jassim Muhsin Aliewi, Abdul Qader Nihad Noori, Arshad Nadhom M. Ali. Effect of adding industrial wastes on the mechanical properties of gypsum // International Journal of Science and Research (IJSR). 2019. № 8. P. 2123–2125. DOI: 10.21275/ART2020736
14. Dominic Gazdic, Jana Mokra, Jan Hanacek. Influence of Plasticizers on Properties of Anhydrite Binder // Key Engineering Materials. 2018. P. 16–21. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.760.16
15. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.-Б., Маева И.С., Новиченкова Т.Б. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. Москва : Де Нова, 2012. 196 с.
16. Peng J., Zhang J., Bai L., Li Q. Hydration and hardening characteristics of anhydrite binder modified with slag // Journal of Tongji University. 2009. P. 32–39.
17. Петропавловская В.Б. Использование минеральных ультрадисперсных модификаторов на основе отходов промышленности в гипсовых композитах // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 18–24.
18. Устинова Ю.В., Сивков С.П., Барина О.П., Санжаровский А.Ю. Влияние различных добавок на морфологию кристаллов двуводного гипса // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 140–144.

19. Аниканова Л.А., Волкова О.В., Кудряков А.И., Курмангалиева А.И. Активированное композиционное фторангидритовое вяжущее // Строительные материалы. 2019. № 1–2. С. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42
20. Klimenko V.G. The role of  $\text{a}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  sulfates based double salts in derivation of anhydrite binders // Vestnik BSTU named V.G. Shukhov. 2017. № 12. P. 119–124. DOI: 10.12737/article\_5a27cb84ae0049.79523605
21. Lei Yang, Min Jing, Lingchao Lu, Xiantao Song, Xiaobin Dong. Properties and micro-structures assessment of building materials based on flue gas desulfurization gypsum modified by cement and industrial waste // Ceramics-Silikaty. 2019. P. 1–12. DOI: 10.13168/cs.2019.0009

## REFERENCES

1. Chernyshov E.M., Potamoshneva N.D., Monastyrev P.V., Yartsev V.P. Stroitel'no-tehnologicheskaya utilizatsiya tekhnogennykh otkhodov kak kompleksnaya sistemnaya ekologiko-ekonomicheskaya problema razvitiya territorii i gradostroitel'stva [Industrial waste utilization as a complex environmental and economic problem of territorial and urban development]. *Vo prosy sovremennoi nauki i praktiki*. 2016. No. 4 (62). Pp. 67–86. (rus)
2. Pukhareno Yu.V., Kharitonova T.V. Otsenka primeneniya karbonatnykh zapolnitelei v sostave sukhikh smesei dlya restavratsii [Carbonate aggregates in dry mixture compositions for restoration]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No. 4 (69). Pp. 121–125. (rus)
3. Kodzoev M.-B., Isachenko S., Kosarev S., Basova A., Skvortzov A., Asamatdinov M., Zhukov A. Modified gypsum binder. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Pp. 1–7. DOI: 10.1051/mateconf/201817003022
4. Lesovik V.S., Chernyshova N.V., Klimenko V.G. Protsessy strukturoobrazovaniya gipsosoderzhashchikh kompozitov s uchedom genezisa syr'ya [Structure formation of gypsum-based composites given the raw material genesis]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2012. No. 4. Pp. 3–11. (rus)
5. Ponomarenko A.A., Ponomarenko A.A., Kapustin F.L. Tehnologija pererabotki ftorangidrita dlja ispol'zovaniya v proizvodstve portlandcementsa. [Anhydrite processing technology in Portland cement manufacture]. *Himicheskaja tehnologija*. 2011. No. 6. Pp. 323–325. (rus)
6. Fedorchuk Yu.M. Tekhnogennyi ангидрит, ego svoistva, primenenie. [Industrial anhydrite, its properties and application]. Tomsk: TPU, 2005. 110 p. (rus)
7. Garkavi M.S., Artamonov A.V., Kolodina E.V., Nefed'ev A.P., Godovikov E.A., Buryanov A.F., Fischer H.-B. Aktivirovannye napolniteli dlya gipsovykh i ангидритovykh smesei [Activated fillers for gypsum and anhydrite mixtures]. *Stroitel'nye materialy*. 2018. No. 8. Pp. 14–17. (rus) DOI: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-14-17
8. Guerra-Cossio M.A., González-Lopez J.R., Magallanes-Rivera R.X., Zaldivar-Cadena A.A., Figueroa-Torres M.Z. Calcium sulfate: an alternative for environmentally friendly construction. *Proc. 2nd Int. Conf. on Bio-Based Building Materials*. 2017. Pp. 1–5.
9. Tayibi H., Choura M., López F.A., Alguacil F.J., López-Delgado A. Environmental impact and management of phosphogypsum. *Journal of Environmental Management*. 2009. No. 90 (8). Pp. 2377–2386.
10. Leonid D., Nataliya L., Mohammed S. Application areas of phosphogypsum in production of mineral binders and composites based on them: A review of research results. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Pp. 01012.
11. Kudyakov A.I., Anikanova, L.A., Redlikh V.V., Sarkisov Yu.S. Vliyanie sul'fata i sul'fita natriya na protsessy strukturoobrazovaniya ftorangidritovykh kompozitsii. [The effect of sulfate and sodium sulfite on structure formation of anhydrite compositions]. *Stroitel'nye materialy*. 2012. No. 10. Pp. 50–53. (rus)
12. Anikanova L.A., Kurmangalieva A.I., Volkova O.V., Fedorchuk Yu.M. Gazogipsovye materialy s ispol'zovaniem vtorignogo syr'ya [Foamed gypsum materials with fluoride additive]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018. V. 20. No. 6. Pp. 126–137. (rus)
13. Jassim Muhsin Aliawi, Abdul Qader Nihad Noori, Arshad Nadhom M. Ali. Effect of adding industrial wastes on the mechanical properties of gypsum. *International Journal of Science and Research*. 2019. No. 8. Pp. 2123–2125. DOI: 10.21275 / ART2020736

14. *Dominic Gazdic, Jana Mokra, Jan Hanacek*. Influence of plasticizers on properties of anhydrite binder. *Key Engineering Materials*. 2018. Pp. 16–21. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.760.16
15. *Belov V.V., Bur'janov A.F., Jakovlev G.I., Petropavlovskaja V.B., Fisher H.-B., Maeva I.S., Novichenkova T.B.* Modifikacija struktury i svojstv stroitel'nyh kompozitov na osnove sul'fata kal'cija. [Modification of structure and properties of construction composites based on calcium sulphate]. Moscow: De Nova, 2012. 196 p. (rus)
16. *Peng J., Zhang J., Bai L., Li Q.* Hydration and hardening characteristics of anhydrite binder modified with slag. *Journal of Tongji University*. 2009. Pp. 32–39.
17. *Petropavlovskaja V.B.* Ispol'zovanie mineral'nykh ul'tradispersnykh modifikatorov na osnove otkhodov promyshlennosti v gipsovykh kompozitakh [Mineral ultrafine modifiers based on industrial waste in gypsum composites]. *Stroitel'nye materialy*. 2018. No 8. Pp. 18–24. (rus)
18. *Ustinova Yu.V., Sivkov S.P., Barinova O.P., Sanzharovskii A.Yu.* Vliyanie razlichnykh dobavok na morfologiyu kristallov dvuvodnogo gipsa [Influence of various additives on crystal morphology of calcium sulfate dihydrate]. *Vestnik MSBU*. 2012. No. 4. Pp. 140–144. (rus)
19. *Anikanova L.A., Volkova O.V., Kudyakov A.I., Kurmangalieva A.I.* Mechanically activated composite fluoroanhydrite binder. *Stroitel'nye materialy*. 2019. No. 1–2. Pp. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42. (rus)
20. *Klimenko V.G.* The role of a+, K+, Ca+, NH4+ sulfates based double salts in derivation of anhydrite binders. *Vestnik BSTU*. 2017. No. 12. Pp. 119–124. DOI: 10.12737/article\_5a27cb84ae0049.79523605
21. *Lei Yang, Min Jing, Lingchao Lu, Xiantao Song, Xiaobin Dong*. Properties and micro-structures assessment of building materials based on flue gas desulfurization gypsum modified by cement and industrial waste. *Ceramics-Silikaty*. 2019. Pp. 1–12. DOI: 10.13168 cs.2019.0009

#### **Сведения об авторах**

*Аниканова Любовь Александровна*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [alasmitt@mail.ru](mailto:alasmitt@mail.ru)

*Курмангалиева Анна Ильясовна*, инженер, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [puma3027@mail.ru](mailto:puma3027@mail.ru)

*Волкова Ольга Витальевна*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [v.olga.nikitina@gmail.com](mailto:v.olga.nikitina@gmail.com)

*Первушина Дарья Максимовна*, студентка, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [pervushina.daryaOO@mail.ru](mailto:pervushina.daryaOO@mail.ru)

#### **Authors Details**

*Ljubov' A. Anikanova*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [alasmitt@mail.ru](mailto:alasmitt@mail.ru)

*Anna I. Kurmangalieva*, Engineer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [puma3027@mail.ru](mailto:puma3027@mail.ru)

*Ol'ga V. Volkova*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [v.olga.nikitina@gmail.com](mailto:v.olga.nikitina@gmail.com)

*Dar'ya M. Pervushina*, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [pervushina.daryaOO@mail.ru](mailto:pervushina.daryaOO@mail.ru)