

Научная статья

УДК 691:666:620.1/.22+691.5:666.9

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2025-3/98-105>

Влияние армирующего наполнителя на физико-механические характеристики газогипса

Любовь Владимировна Завадская✉, Лилия Владимировна Ильина

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,

Новосибирск, Российская Федерация

✉ zlv2712@mail.ru

Аннотация. Армирование строительных изделий, как правило, применяют для того, чтобы повысить прочность изделий на растяжение при изгибе. При изгибе армирующий эффект зависит как от самого армирующего материала, так и от обволакивающего материала матрицы. У гипсовых материалов соотношение между значениями прочности при растяжении и сжатии лучше, чем у бетонов, однако прочность при растяжении значительно меньше, чем при сжатии. Авторами исследовано влияние волокнистых добавок на физико-механические характеристики газогипса (среднюю плотность, прочность и теплопроводность). В качестве модифицирующих волокнистых добавок использовались базальтовые, полимерные и стеклянные волокна. Для проведения экспериментов волокнистые материалы измельчались до удельной поверхности 220–240 м²/кг. Введение дисперсных волокнистых добавок в количестве 0,3–0,5% мас. обеспечивает повышение прочности и уменьшение теплопроводности газогипсовых изделий. При введении 0,4% стекловолокон обеспечивается получение газогипсовых изделий, имеющих следующие свойства: прочность при сжатии – 2,5–3,7 МПа; средняя плотность – 865–985 кг/м³; теплопроводность – 0,258–0,265 Вт/(м·°С).

Ключевые слова: газогипс, строительный гипс, волокнистые добавки, физико-механические свойства, армирующий наполнитель, прочность при сжатии, удельная поверхность

Для цитирования: Завадская Л.В., Ильина Л.В. Влияние армирующего наполнителя на физико-механические характеристики газогипса // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2025. № 3(64). С. 98–105.

Original article

The effect of reinforcing filler on the physico-mechanical characteristics of gas gypsum

Lubov V. Zavadskaya✉, Lilia V. Ilina

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,

Novosibirsk, Russian Federation

✉ zlv2712@mail.ru

Abstract. Reinforcement of building products is usually used to increase the tensile strength of products during bending. When bending, the reinforcing effect depends on both the reinforcing material itself and the enveloping matrix material. Gypsum materials have a better ratio between the values of tensile and compressive strength than concrete, but the tensile strength is significantly less than that of compression. The authors investigated the effect of fiber additives on the physical and mechanical characteristics of the material (average density, strength and thermal conductivity). Basalt, polymer, and glass fibers were used as modifying fiber additives. For the experiments, fibrous materials were crushed to a specific surface area of 220–240 m²/kg.

Introduction of dispersed fiber additives in the amount of 0.3–0.5% by weight, provides increased strength and reduced thermal conductivity of gas gypsum products. With the introduction of 0.4% glass fibers, gypsum products with the following properties are obtained: compressive strength – 2.5–3.7 MPa; average density – 865–985 kg/m³; thermal conductivity – 0.258–0.265 W/(m·°C).

Keywords: gas gypsum, building gypsum, fibrous additives, physico-mechanical properties, reinforcing filler, compressive strength, specific surface area

For citation: Zavadskaya L.V., Ilyina L.V. The effect of reinforcing filler on the physical and mechanical characteristics of gas gypsum. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2025, no. 3(64), pp. 98–105. (In Russ.).

Введение

Повышенные требования по энергосбережению в промышленности строительных материалов и строительстве, в частности к теплозащите ограждающих конструкций зданий, требуют увеличения объёма выпуска эффективных стеновых материалов с высокими теплозащитными свойствами [1].

В каждом строящемся здании наиболее дорогостоящими, материалоемкими, а также массивными конструкциями являются наружные и внутренние стены и перегородки. Стоимость перегородок может составлять до 15%, а стен – до 35% общей стоимости здания. Важнейшим резервом экономии топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации зданий и сооружений различного назначения является использование эффективного теплозвукоизоляционного материала – газогипса [2].

Материалы и изделия на основе гипса отличаются достаточной прочностью и огнестойкостью, низкой тепло- и звукопроводностью, относительной низкой средней плотностью. Использование изделий и конструкций из гипсового вяжущего позволит эффективнее использовать топливно-энергетические ресурсы. Это обусловлено тем, что производство гипсовых вяжущих в 5–10 раз менее энергоёмко по сравнению с производством цемента и извести, в 2,4 раза дешевле и не требует больших затрат на тепловую обработку изделий [3]. Также причинами популяризации гипсовых составов можно назвать эстетичность, экологичность, нормализацию микроклимата помещений, небольшую трудоёмкость работ [4, 5].

Однако у изделий на основе гипса существует ряд недостатков, одним из которых являются низкие прочностные показатели. Эффективным решением данного вопроса является использование микроармирования композита [6, 7]. Вместе с тем имеются все предпосылки для эффективной модификации газогипсовых изделий, что позволит применять их при строительстве как типовых, так и уникальных зданий [8, 9].

Армирующий эффект с целью увеличения прочности межпоровых перегородок зависит как от самого армирующего материала, так и от обволакивающего материала матрицы [10]. Взаимодействие между армирующим материалом и матрицей зависит от следующих факторов:

- соответствие коэффициентов теплового расширения матрицы и армирующего материала;
- наличие достаточного сцепления между армирующим материалом и матрицей (для этого матрица должна иметь склонность к усадке);
- модуль упругости армирующего материала должен быть наибольшим по сравнению с модулем упругости материала матрицы.

В связи с этим целью работы явилось исследование влияния дисперсных волокнистых наполнителей на свойства газогипсовых изделий.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

Исследовать влияние вида волокнистых наполнителей на свойства газогипсовых изделий (прочность при сжатии, среднюю плотность, теплопроводность).

Исследовать влияние удельной поверхности стекловолокна на основные свойства газогипса.

Определить оптимальное содержание волокнистого наполнителя в сырьевой смеси для получения газогипсовых изделий, обладающих высокой прочностью при сжатии и общей пористостью и низкой средней плотностью.

Сырьевые материалы и методы испытаний

При проведении исследований вяжущим компонентом являлся гипс строительный марки Г-4 («Геркулес-Сибирь», г. Новосибирск), характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Физико-механические свойства строительного гипса
Physico-mechanical properties of building gypsum

№ п/п	Наименование показателей	Значения показателей
1	Нормальная плотность (В/Г)	0,58
2	Сроки схватывания, мин: – начало – конец	7 мин 44 сек 11 мин 45 сек
3	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	2,8
4	Предел прочности образцов при сжатии, МПа	4,3

В качестве армирующих наполнителей опробованы:

1) волокно полимерное строительное микроармирующее (полипропиленовое), удовлетворяющее требованиям ТУ 2272-006-1349727-2007, производства ООО «Си-Айрлайн» г. Челябинска. Диаметр волокна – 20–50 мкм, длина – 3–18 мм;

2) волокно базальтовое производства ООО «Батиз», удовлетворяющее ТУ 5769-002-13949929-2005. Диаметр волокна – до 3 мкм, длина – 50–70 мм, коэффициент теплопроводности при температуре +25°C составляет 0,035 Вт/(м·°C), коэффициент теплопроводности при температуре +10°C составляет 0,032 Вт/(м·°C).

Базальтовое волокно имело следующий химический состав, мас. %:

SiO₂ – 52,00; Al₂O₃ – 15,07; Fe₂O₃ – 14,83; CaO – 8; MgO – 3,66; TiO₂ – 2,18; Na₂O+K₂O – 1,76;

3) волокно стеклянное URSA GLASSWOOL, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 10499-95 и ТУ 5763-001-71451657-2004. Группа горючести: НГ.

Температура применения, °C: от –60 до +270. Диаметр волокна – 4–5 мкм, длина – 150–300 мм, коэффициент теплопроводности при температуре +10°C составляет 0,041 Вт/(м·°C), при температуре +25°C составляет 0,044 Вт/(м·°C), плотность в пределах 9–13 кг/м³.

В работе в качестве армирующего наполнителя для получения газогипса использовалось стекловолокно URSA GLASSWOOL, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 10499-95 «Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна» и ТУ 5763-001-71451657-2004 «Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна URSA».

Для проведения экспериментов волокнистые материалы измельчались до удельной поверхности 220–240 м²/кг.

Определение прочности при сжатии изделий из поризованного гипса проводилось согласно ГОСТ 23789-79. Испытания проводились на образцах-балочках с размером 40×40×160 мм [11].

Определение плотности и теплопроводности гипсовых образцов проведено по стандартным методам (ГОСТ 7076-99) [12].

Удельная поверхность определялась по методике определения удельной поверхности цемента на ПСХ-4 (прибор Соминского – Ходакова).

Исследования и полученные результаты

На начальном этапе для улучшения структуры и физико-механических свойств газогипса вводились совместно со строительным гипсом в сухом состоянии дисперсные волокнистые добавки (полимерные).

Процентное содержание волокон варьировалось в пределах 0,25–0,45% мас. Зависимость свойств газогипса от содержания волокон представлена на рис. 1.

При содержании армирующего наполнителя 0,4% мас. прочность при сжатии газогипса составляет 3 МПа, средняя плотность – 900 кг/м³. При содержании армирующего наполнителя 0,45% мас. средняя плотность составляет 1150 кг/м³, то есть увеличивается на 22%, прочность при сжатии составляет 3,5 МПа, то есть увеличивается на 14%. При содержании армирующего наполнителя менее 0,4% мас. средняя плотность и прочность при сжатии уменьшаются на 3–10% и на 20–67% соответственно.

Таким образом, оптимальное количество волокнистого наполнителя составляет 0,4% массы гипса, так как при меньшем его количестве снижается прочность газогипсовых изделий на 20,3–40,2%, а при большем его количестве средняя плотность увеличивается на 21,7%.

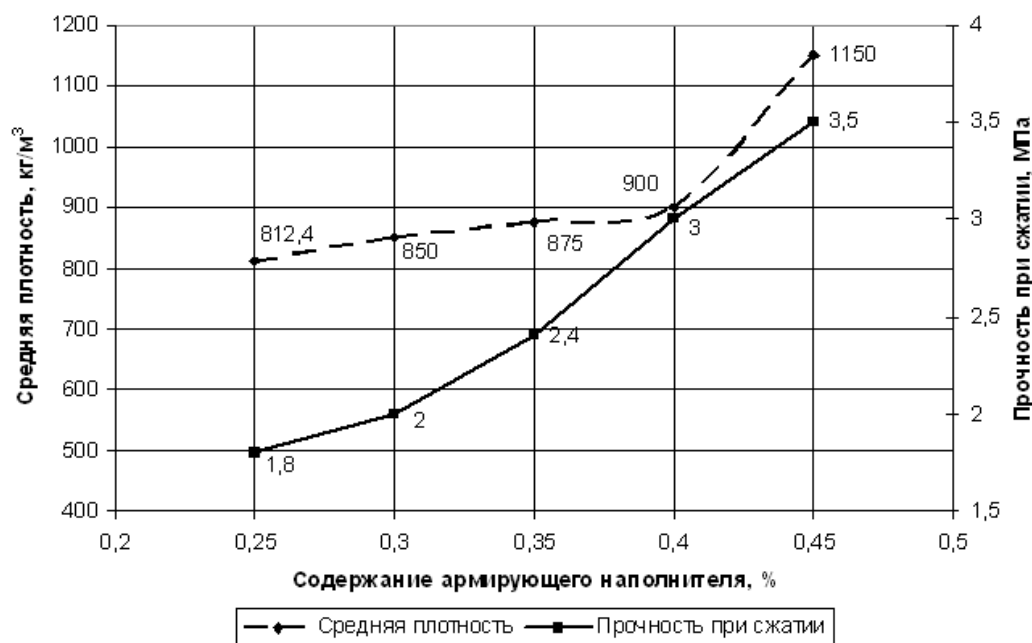


Рис. 1. Зависимость средней плотности и прочности при сжатии газогипса от содержания армирующего наполнителя

Fig. 1. Dependence of the average density and compressive strength of gas gypsum on the content of reinforcing filler

Далее для изучения влияния вида армирующего наполнителя на прочность при сжатии, плотность и теплопроводность газогипса использовались полимерные, базальтовые и стеклянные волокна [12].

Зависимость средней плотности и прочности при сжатии от вида армирующей добавки в количестве 0,4% представлена на рис. 2.

Анализ показал, что при получении газогипса с использованием:

- полимерного волокна – средняя плотность составляет 891 кг/м³, прочность при сжатии – 2 МПа;
- базальтового волокна – прочность возрастает на 35%;
- стекловолокна – прочность при сжатии увеличивается на 40% по сравнению с газогипсом с применением полимерного волокна.

Во всех трёх случаях средняя плотность изменяется незначительно.

На рис. 3 представлена зависимость теплопроводности и прочности при сжатии от вида армирующего наполнителя. Значение теплопроводности получено расчётным путём.

По диаграмме видно, что газогипсовые изделия на основе стеклянного волокна обладают наиболее низкой теплопроводностью. Теплопроводность газогипсовых изделий с использованием стекловолокна ниже на 11,34% по сравнению с изделием на базальтовом волокне.

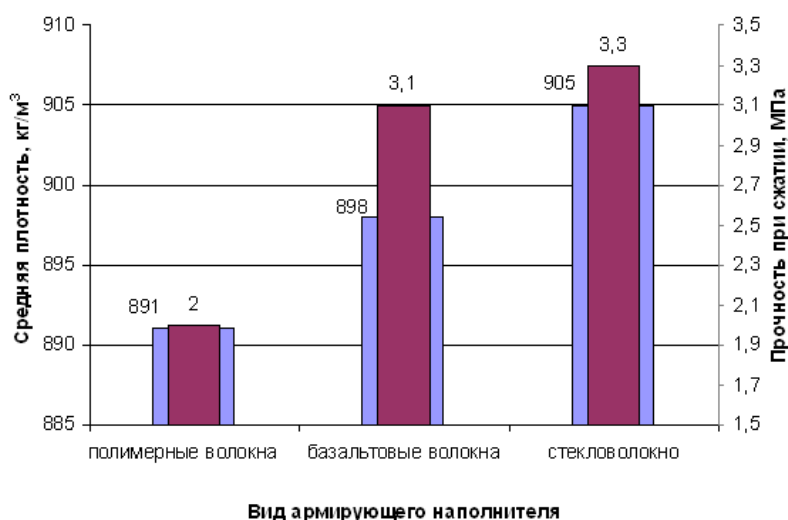


Рис. 2. Зависимость средней плотности и прочности при сжатии от вида армирующей добавки в количестве 0,4%

Fig. 2. The dependence of the average density and compressive strength on the type of reinforcing additive in the amount of 0.4%

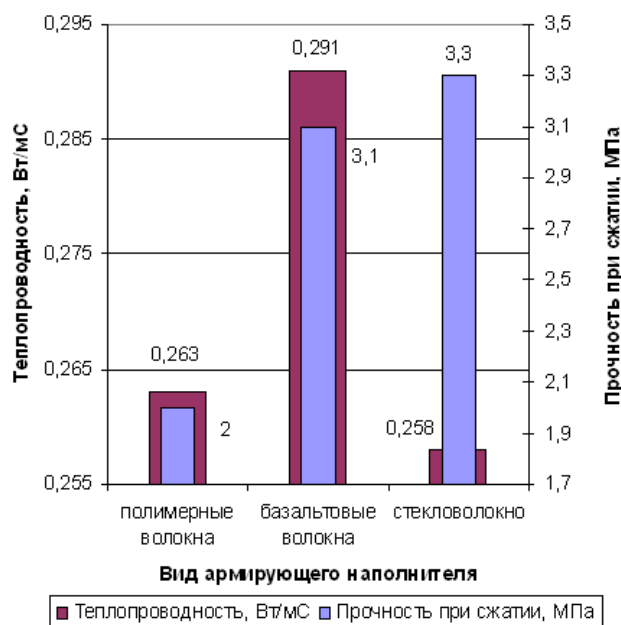


Рис. 3. Зависимость теплопроводности и прочности при сжатии от вида армирующей добавки в количестве 0,4%

Fig. 3. Dependence of thermal conductivity and compressive strength on the type of reinforcing additive in the amount of 0.4%

Испытания показали, что при использовании в качестве армирующего материала супертонкого базальтового волокна достичь равномерного распределения их по объёму газогипсовой смеси не представляется возможным [13].

При введении полимерных волокон газогипсовый материал обладает низкими прочностными характеристиками при незначительном снижении плотности. В свою очередь, стеклянные волокна равномерно распределяются по всему объёму газогипсовой смеси и заметно стабилизируют процесс её поризации.

Таким образом, в следствие того, что введение стеклянных волокон приводит к наибольшему упрочнению и наименьшей теплопроводности при незначительном увеличении средней плотности, оно является наиболее эффективным и принято для дальнейших исследований.

На следующем этапе изучалось влияние удельной поверхности стекловолокна на основные свойства газобетона. Исследуемые составы и свойства приведены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 1

Влияние дисперсности стекловолокна на плотность и прочность при сжатии

The effect of glass fiber dispersion on density and compressive strength

Удельная поверхность стекловолокна, м ² /кг	Прочность при сжатии, МПа	Плотность, кг/м ³	Общая пористость, %
190	3,2	902	66,6
220	3,7	890	67,0
240	3,4	884	67,3

При использовании дисперсного стекловолокна:

– с удельной поверхностью до 190 м²/кг – прочность при сжатии газогипса составляет 3,15 МПа;

– с удельной поверхностью 220 м²/кг – 3,7 МПа, то есть увеличивается на 15%;

– с удельной поверхностью стекловолокна 240 м²/кг – 3,4 МПа, то есть увеличивается на 7%.

При этом средняя плотность изменяется незначительно.

Снижение плотности и увеличение прочности газогипса за счёт микроармирования межпоровых перегородок достигается при введении в смесь стекловолокна, предварительно измельчённого до удельной поверхности 220 м²/кг.

Выводы

1. Оптимальное содержание волокнистого наполнителя для получения газогипсовых изделий, обладающих высокой прочностью при сжатии и общей пористостью и низкой средней плотностью, составляет 0,4% от массы гипса ($R_{сж}=3,3$ МПа, $\rho=905$ кг/м³, $\lambda=0,258$ Вт/м^{°C}).

2. Введение различного вида армирующих наполнителей за счёт упрочнения межпоровых перегородок приводит к увеличению прочности при сжатии: полимерное волокно – в 0,65 раза, базальтовое волокно – в 2,38 раза, стеклянное волокно – в 2,53 раза.

3. Наибольшего упрочняющего эффекта (60%) удалось достичь при введении стеклянного волокна с удельной поверхностью 220 м²/кг. Введение стеклянного волокна с различной дисперсностью на общую пористость и плотность газогипса существенно не повлияло.

Полученный газогипс может рассматриваться как стеновой материал, применяемый во внутренних стенах и межкомнатных перегородках в помещениях с относительной влажностью воздуха до 60%, или как звукоизоляционный материал при устройстве полов и кровель.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Л.В. Завадская, Л.В. Ильина – анализ и интерпретация результатов; подготовка и редактирование текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

L.V. Zavadskaya, L.V. Ilyina – analysis and interpretation of results; draft manuscript preparation. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ухова Т.А. Способы повышения эффективности производства ячеистых бетонов // Строительные материалы. 1993. № 8. С. 4–6.
2. Берёзкина Ю.В. Технологические особенности при производстве газогипса // Югорский институт развития строительного комплекса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 11–14.
3. Завадская Л.В. Влияние микроармирующих добавок на свойства газогипса // Фундаментальные исследования. 2011. № 12. С. 770–772.

4. Хопренинова Т.Ю. Гипсонаполненные системы в сухих строительных смесях // Сухие строительные смеси. 2012. № 5. С. 26–29.
5. Tschernyschowa N.W., Lessowik W.S., Fischer H.B., Drebesgowa M.J. Gipshaltige kompositbindemittel – zukunft des ökologischen bauens* // 19-te INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL (Weimar, 16–18 сентября 2015 г.), Weimar: Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität, 2015. С. 699–706.
6. Рязанов Р.Р., Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Дисперсно-армированные строительные композиционные материалы на основе гипсового вяжущего // Известия КГАСУ. 2011. № 3. С. 145–149.
7. Халиуллин М.И., Алтыкис М.Г., Рахимов Р.З. Эффективные сухие гипсовые смеси с добавками полимерных волокон // Известия вузов. Строительство. 2004. № 3. С. 33–37.
8. Официальный сайт компании ООО «КНАУФ ГИПС» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.knauf.ru/> (дата обращения: 10.07.2016).
9. Мокрова М.В., Матвеева Л., Леонтьева Ю.В., Летенко Д., Черевко С. Модифицированный газогипс для тепло- и звукоизоляции инженерных сооружений // E3S Web of Conferences, 2023. No. 371. P. 02022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337102022>.
10. Завадская Л.В., Ильина Л.В., Бердов Г.И. Газогипсовые материалы, армированные волокнистыми добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. № 3. С. 33–37.
11. ГОСТ 23789-79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».
12. ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме».
13. Buryanov A.F., Novichenkova T.B., Petropavlovskaya V.B., Petropavlovskii K.S. Simulating the structure of gypsum composites using pulverized basalt waste // MATEC Web Conf. 2017. Vol. 117: RSP 2017 – XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering. Art. 00026.

REFERENCES

1. Ukhova T.A. Ways to increase the efficiency of cellular concrete production. *Building materials*, 1993, no. 8, pp. 4–6.
2. Beryozkina Yu.V. Technological features in the production of gypsum gas. *Ugra Institute for the Development of the Construction Complex. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2011, no. 4, pp. 11–14.
3. Zavadskaya L.V. The effect of micro-reinforcing additives on the properties of gypsum gas. *Fundamental research*, 2011, no. 12, pp. 770–772.
4. Khopreninova T.Yu. Gypsum-filled systems in dry building mixes. *Dry building mixes*, 2012, no. 5, pp. 26–29.
5. Tschernyschowa N.W., Lessowik W.S., Fischer H.B., Drebesgowa M.J. Gipshaltige kompositbindemittel – zukunft des ökologischen bauens*. *19-te INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL* (Weimar, 16–18 сентября 2015 г.), Weimar: Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität, 2015. P. 699–706.
6. Ryazapov R.R., Mukhametrakhimov R.H., Izotov V.S. Dispersed reinforced building composite materials based on gypsum binder. *Izvestiya KGASU*, 2011, no. 3, pp. 145–149.
7. Khaliullin M.I., Altykis M.G., Rakhimov R.Z. Effective dry gypsum mixtures with additives of polymer fibers. *Izvestiya vuzov. Construction*, 2004, no. 3, pp. 33–37.
8. The official website of LLC “KNAUF GYPSUM” [Electronic resource]. URL: <http://www.knauf.ru> (accessed: 07.10.2016).
9. Mokrova M.V., Matveeva L., Leontyeva Yu.V., Letenko D., Cherevko S. Modified gypsum for thermal and sound insulation of engineering structures. *E3S Web of Conferences*, 2023, no. 371, p. 02022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337102022>.
10. Zavadskaya L.V., Ilyina L.V., Berdov G.I. Gypsum gas materials reinforced with fibrous additives. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Construction*, 2004, no. 3, pp. 33–37.
11. GOST 23789-79 “Gypsum binders. Test methods”.
12. GOST 7076-99 “Building materials and products. A method for determining thermal conductivity and thermal resistance in a stationary thermal regime”.
13. Buryanov A.F., Novichenkova T.B., Petropavlovskaya V.B., Petropavlovskii K.S. Simulating the structure of gypsum composites using pulverized basalt waste. *MATEC Web Conf.*, 2017, vol. 117: RSP 2017 – XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering. Art. 00026.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Завадская Любовь Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы, стандартизация и сертификация», Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Новосибирск, Российская Федерация),

✉ zlv2712@mail.ru

Lubov V. Zavadskaya, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of "Building Materials, Standardization and Certification", Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Novosibirsk, Russian Federation).

Ильина Лилия Владимировна – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы, стандартизация и сертификация», Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Новосибирск, Российская Федерация),

✉ nsklika@mail.ru

Liliia V. Ilina, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of "Building Materials, Standardization and Certification", Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Novosibirsk, Russian Federation).

Статья поступила в редакцию / Received: 19.02.2025.

Доработана после рецензирования / Revised: 07.07.2025.

Принята к публикации / Accepted: 24.09.2025.