

Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 25–32.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (3): 25–32.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.55:620.18

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-25-32

НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ ГАЗОГИПС: СОСТАВ, СВОЙСТВА, СТРУКТУРА

**Марина Владимировна Мокрова, Лариса Юрьевна Матвеева,
Дмитрий Георгиевич Летенко, Юрий Алексеевич Строгонов**
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Исследовано влияние микродобавок структурного комплексного углеродного наномодификатора фуллероидного типа и природного целлюлозного наномодификатора на морфологию и свойства газогипса: плотность, прочность при сжатии и изгибе. В качестве газообразователя для гипсового вяжущего марки Г-6 использована кристаллическая лимонная кислота. Приведены электронные микрофотографии контрольного – немодифицированного образца гипсового камня и модифицированных образцов газогипса – гипсового камня с наномодификатором НЦ и модифицированного латексом. Кристаллическая структура модифицированного гипсового камня заметно отличается от исходного немодифицированного образца. Используемые в работе наномодификаторы позволяют получить газогипс с меньшей плотностью при удовлетворительных прочностных характеристиках, что повышает эффективность его использования в качестве теплоизоляционного строительного материала.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее, газогипс, газообразователь, синтетический латекс, наноцеллюлоза, наномодификация, структура, свойства

Для цитирования: Мокрова М.В., Матвеева Л.Ю., Летенко Д.Г., Строгонов Ю.А. Наномодифицированный теплоизоляционный газогипс: состав, свойства, структура // Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 25–32. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-25-32.

Original article

NANOMODIFIED THERMAL INSULATION GAS GYPSUM: COMPOSITION, PROPERTIES, STRUCTURE

**Marina V. Mokrova, Larisa Yu. Matveeva, Dmitriy G. Letenko,
Yuriy A. Strogonov**
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, Russia

Abstract. The effect of microadditives of a structural complex carbon nanomodifier of the fulleroid type and a natural cellulose nanomodifier on the morphology and properties of gas gypsum: density, compressive strength and bending is investigated. Crystalline citric

acid was used as a gas-forming agent for gypsum binder of the G-6 brand. Electronic micrographs of a control – unmodified sample of gypsum stone and modified samples of gas gypsum – gypsum stone with nanomodifier NC and modified latex are presented. The crystal structure of the modified gypsum stone differs markedly from the original unmodified sample. The nanomodifiers used in the work make it possible to obtain gas gypsum with a lower density with satisfactory strength characteristics, which increases the efficiency of its use as a heat-insulating building material.

Keywords: gypsum binder, gas gypsum, gas-forming agent, synthetic latex, nanocellulose, nanomodification, structure, properties

For citation: Mokrova M.V., Matveeva L.Yu., Letenko D.G., Strogonov Yu.A. Nanomodified thermal insulation gas gypsum: composition, properties, structure. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (3): 25–32. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-25-32

Введение. Гипсовые материалы наиболее широко востребованы в строительстве для внутренней отделки помещений благодаря целому комплексу необходимых для этого важных и полезных характеристик. Среди основных свойств гипсовых материалов следует в первую очередь выделить экологическую безопасность, негорючесть и способность сорбировать влагу из воздуха и таким образом поддерживать комфортный микроклимат в жилых помещениях [1, 2]. При этом гипс является одним из самых востребованных строительных материалов и по экономическим показателям [3].

Российские компании выпускают гипсовые вяжущие различных марок, большая часть которых относится к строительным материалам не самой высокой прочности, но вполне пригодным для внутренней штукатурной отделки помещений, изготовления отделочных декоративных плиток, пазогребневых плит, гипсокартонных листов и других изделий для обустройства межкомнатных перегородок [4].

Многочисленными исследованиями в области модификации гипсовых вяжущих показано, что можно значительно повысить эксплуатационные характеристики гипса, в том числе и такие, как теплозащитные и звукоизоляционные свойства, и, следовательно, повысить эффективность применения гипсовых материалов в жилищном строительстве. Большие возможности в этом направлении дает метод модификации структуры гипса микродобавками [5–8].

Для повышения тепло- и звукоизолирующих характеристик гипса возможно введение в гипсовое тесто газообразующих добавок с целью создания повышенной пористости гипсового камня. При этом для улучшения теплоизолирующих характеристик гипсового камня предпочтительна замкнутая пористость.

В качестве газообразователей для гипса используют различные химические добавки, но наиболее часто встречаются недорогие и эффективные газообразователи кислотного типа – органические и минеральные кислоты или их соли, действие которых основано на взаимодействии с карбонатными примесями, которые практически всегда присутствуют в природном гипсе.

Наномодификаторы различной природы используют не только в качестве регуляторов структуры гипса, но также и в качестве добавок, меняющих скорость и направление физико-химических процессов твердения гипсовых вяжущих [9–11].

Целью настоящей работы является получение газогипса с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Предварительно были проведены исследования влияния микродобавок и газообразователей на структуру и свойства гипсового камня [12–14].

Материалы и методы испытаний. В данной статье рассмотрено использование промышленного гипсового вяжущего марки Г-6 АП производства Пешеланского гипсового завода по ГОСТ 125–79 «Вяжущие гипсовые. Технические условия». Нормальная густота теста составила 0,5 воды по отношению к гипсу, в экспериментах ее не меняли.

Газообразователем служила пищевая кристаллическая лимонная кислота (Л) по ГОСТ 31726–2012, производитель – Белгородский завод лимонной кислоты «Цитробел». Ее растворяли в воде затворения гипса в количестве 1 мас. % по отношению к вяжущему.

Для увеличения эластичности, а также повышения устойчивости и стабильности гипсового теста в процессе газообразования и регулирования пористости в воду затворения вводили синтетический бутадиев-стирольный латекс (Латекс) в количестве 1 мас. % по отношению к сухому вяжущему. Данный латекс используется в производстве некоторых отделочных материалов, например, красок, грунтовок, шпатлевок, штукатурных составов и др.

Кроме того, рассмотрено использование структурного комплексного углеродного наномодификатора фуллероидного типа, описанного в [15–17], а также природного целлюлозного наномодификатора (НЦ), представляющего водную суспензию 2 мас. % целлюлозных нановолокон деревьев хвойных пород – *Betulum MFCN 63* от поставщика *Bang&Bonsomer Group Oy*. Суспензию доводили до требуемой рабочей концентрации методом последовательного разбавления и вводили в воду затворения гипса. Полученный раствор обрабатывали ультразвуком в течение 3 мин перед смешиванием с остальными добавками и гипсовым вяжущим.

Испытания физико-механических характеристик гипса проводили согласно ГОСТ 23789–79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». Прочностные характеристики определяли у образцов, выдержанных в комнатных условиях 7 сут и высушенных до постоянной массы при температуре 60 °С. Для определения физико-механических характеристик газогипса изготавливали стандартные образцы-балочки 40×40×160 мм по 3 шт. на каждый образец. Перемешивание гипсового теста и заливку в формы осуществляли вручную в течение 60 с.

Таким образом, в составе гипсового теста с водой затворения использованы газообразующая добавка – лимонная кислота и микродобавки модификаторов в заданных количествах по отношению к сухому гипсовому вяжущему.

Обсуждение результатов. Составы изготовленных образцов газогипса с модифицирующими микродобавками и их прочностные характеристики представлены в таблице. Там же указаны средние значения характеристик трех образцов-балочек одного замеса гипсового теста. Для характеристики прочности при сжатии приведены средние значения четырех наиболее близких между собой образцов-половинок балочек.

Составы образцов наномодифицированного газогипса и их физико-механические характеристики

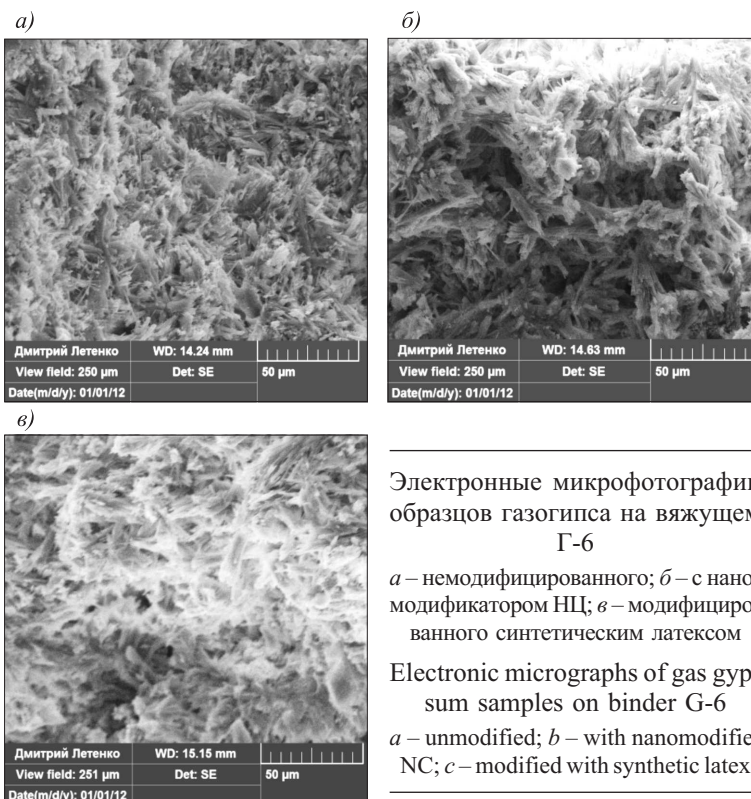
Compositions of samples of nanomodified gas gypsum and their physical and mechanical characteristics

№ п/п	Составы образцов: добавки к вяжущему Г-6	Плотность ρ , г/см ³	Прочность при изгибе $R_{изг}$, МПа	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа
1	Л (контрольный образец)	0,84	2,28	2,93
2	Л+Латекс	0,82	2,06	2,58
3	Л+УНК	0,79	1,90	2,23
4	Л+УНК+НЦ+Латекс	0,79	2,30	2,28
5	Л+УНК+Латекс	0,77	1,78	2,24
6	Л+УНК+НЦ	0,75	1,88	2,50

Как можно заметить из данных таблицы, использованные микродобавки и наномодификаторы в условиях газовой выделения позволяют понизить плотность поризованного гипсового камня. Прочностные характеристики снижаются незначительно, оставаясь в пределах требуемых норм для стенового отделочного материала.

На рисунке представлены микрофотографии сколов гипсового камня при одном и том же увеличении образцов.

Заметна разница в морфологии наномодифицированных образцов: при добавлении наномодификаторов кристаллическая структура гипса меняется



Электронные микрофотографии образцов газогипса на вяжущем Г-6

a – немодифицированного; *б* – с наномодификатором НЦ; *в* – модифицированного синтетическим латексом

Electronic micrographs of gas gypsum samples on binder G-6

a – unmodified; *b* – with nanomodifier NC; *c* – modified with synthetic latex

от преимущественно хаотичной игольчато-столбчатой к более пластинчатой и сферически организованной, при этом размеры кристаллитов наномодифицированного образца в большинстве по размерам меньше (б). В образце с латексом (в) наблюдается большая спаянность мелких кристаллических структур, форма их также меняется. В условиях газообразования гипсового теста предпочтительна именно мелкокристаллическая структура, поскольку она способствует формированию более однородной пористой структуры газогипса.

Проведенные эксперименты и определение характеристик модифицированного газогипса показали, что использованные наномодификаторы позволяют получать газогипс с меньшей плотностью, но при этом с достаточными для отделочного материала прочностными свойствами.

Добавки наномодификаторов способствуют эффективному порообразованию в части формирования более мелкой кристаллической структуры гипсового камня, по сравнению с порообразованием без использования наномодификаторов.

Выводы. 1. Выявлена кристаллообразующая роль комплексного углеродного наномодификатора фуллероидного типа и нановолокнистой целлюлозы. Установлена перспективность использования их в качестве микродобавок для регулирования структуры и улучшения характеристик газогипсовых материалов.

2. Отмечено, что добавки наномодификаторов способствуют формированию в большей степени упорядоченной кристаллической микроструктуры – более мелких кристаллов с включениями образований пластинчатого типа.

3. Используемые в работе наномодификаторы позволяют получить газогипс с меньшей плотностью при удовлетворительных прочностных характеристиках, что повышает эффективность его использования в качестве теплоизоляционного строительного материала.

Список источников

1. *Ферронская А.В.* Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / Справ. под общ. ред. А.В. Ферронской. М.: Изд-во АВС, 2004. 488 с.
2. *Тросницкий В.Б. и др.* Потенциал применения гипса в промышленности строительных материалов // Пром. и гражд. стр-во. 2005. № 7. С. 25.
3. *Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Новиченкова Т.Б.* Малоэнергоемкие гипсовые материалы и изделия на основе отходов промышленности // Строит. материалы. 2006. № 7. С. 8–9.
4. *Бурьянов А.Ф.* Эффективные гипсовые материалы для устройства межкомнатных перегородок // Строит. материалы. 2008. № 8. С. 30–32.
5. *Бурьянов А.Ф.* Модификация структуры и свойств материалов на основе гипса и ангидрита ультра- и нанодисперсными добавками // Строит. материалы, изделия и сан. техника. Украина. Общество «Знание». 2011. № 41. С. 91–95.
6. *Королев Е.В., Баженов Ю.М., Береговой В.А.* Модифицирование строительных материалов нанокремнекислотными трубками и фуллеренами // Строит. материалы. Наука. 2006. № 8. С. 2–4.
7. *Власова Е.Ю., Сычева Л.И.* Влияние добавок пластификаторов на морфологию кристаллов гипса // Успехи в химии и химической технологии: Сб. науч. тр. / Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева. 2018. Т. 32, № 2 (198). С. 51–53.

8. Маева И.С., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н. и др. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // Строит. материалы. 2009. № 6. С. 4–5.
9. Бурьянов А.Ф. Эффективные гипсовые материалы и изделия с использованием ультрадисперсных алюмосиликатных добавок и углеродных наномодификаторов: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05/ ФГБОУ «Московский государственный строительный университет». Москва, 2012. 37 с.
10. Гаркави М.С., Некрасова С.А., Трошкина Е.А. Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах // Архитектура. Строительство. Образование. 2013. № 2. С. 193–198.
11. Edamenko A.S., Matveeva L.Yu., Yastrebinskaya A.V. Influence of gypsum binder phase composition on operational and mechanical properties of the hydration product // Solid State Phenomena. 2019. Vol. 299. P. 1086–1090.
12. Mokrova M., Matveeva L., Letenko D. Research on structure and properties of gypsum with additives of latex and carbon nanoparticles // Contemporary problems of architecture and construction. London: Imprint CRC Press, 2020. P. 4. <https://doi.org/10.1201/9781003176428>
13. Matveeva L.Yu., Mokrova M.V., Yastrebinskaya A.V., Edamenko A.S. The effect of latex and nanocarbon modifiers on the properties of high-strength gypsum // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 95. P. 266.
14. Matveeva L.Yu., Letenko D.G., Mokrova M.V. Influence of carbon nanomodifier on the structure and properties of the modified gypsum binder // MSF. 2020. № 992. P. 233–237.
15. Летенко Д.Г., Никитин В.А., Чарыков Н.А., Семенов К.Н., Пухаренко Ю.В. Получение углеродных наноструктур из отходов химических производств // Вестн. гражд. инженеров. 2010. № 1(22). С. 108–118.
16. Летенко Д.Г., Никитин В.А., Меньшикова А.Ю., Пухаренко Ю.В., Чарыков Н.А. Физико-химические свойства водных дисперсий смешанного наноуглеродного материала фуллероидного типа. Ч. 1 // Вестн. гражд. инженеров. 2010. № 2 (23). С.131–138.
17. Летенко Д.Г., Мокрова М.В., Матвеева Л.Ю., Тихонов Ю.М. Влияние размерного распределения наномодифицированных частиц латекса на структуру гипсовых материалов // Вестн. гражд. инженеров. 2019. № 4.

References

1. Ferronskaya A.V. Gypsum materials and products (production and application). Handbook under the general editorship of A.V. Ferronskaya. Moscow: ABC Publishing house, 2004. 488 p. (In Russ.)
2. Trosnitskiy V.B. et al. The potential of gypsum application in the construction materials industry. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and civil construction*. 2005; (7): 25. (In Russ.)
3. Petropavlovskaya V.B., Bur'yanov A.F., Novichenkova T.B. Low-energy gypsum materials and products based on industrial waste. *Stroitel'nyye materialy = Building materials*. 2006; (7): 8–9. (In Russ.)
4. Bur'yanov A.F. Effective gypsum materials for the device of inter-room partitions. *Stroitel'nyye materialy = Building materials*. 2008; (8): 30–32. (In Russ.)
5. Bur'yanov A.F. Modification of the structure and properties of materials based on gypsum and anhydrite with ultra- and nanodisperse additives. *Stroitel'nyye materialy, izdeliya i sanitarnaya tekhnika = Building materials, products and sanitary equipment*. Ukraine. Society "Knowledge". 2011; (41): 91–95. (In Russ.)

6. Korolev E.V., Bazhenov Yu.M., Beregovoy V.A. Modification of structural materials with nanocarbon tubes and fullerenes. *Stroitel'nyye materialy. Nauka = Building materials. The science.* 2006; (8): 2–4. (In Russ.).
7. Vlasova E.Yu., Sycheva L.I. The influence of plasticizer additives on the morphology of gypsum crystals. *Advances in Chemistry and chemical Technology: Collection of scientific papers.* D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology. 2018; 32 (2 (198)): 51–53. (In Russ.).
8. Maeva I.S., Yakovlev G.I., Pervushin G.N. et al. Structuring of an-hydrate matrix with nanodisperse modifying additives. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials.* 2009; (6): 4–5. (In Russ.).
9. Bur'yanov A.F. Effective gypsum materials and products with the use of ultrafine aluminosilicate additives and carbon nanomodifiers: Abstract diss. ... DSc: 05.23.05. Moscow State University of Civil Engineering. Moscow, 2012. 37 p. (In Russ.).
10. Garkavi M.S., Nekrasova S.A., Troshkina E.A. Kinetics of contact formation in nanomodified gypsum materials. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovaniye = Architecture. Construction. Education.* 2013; (2): 193–198. (In Russ.).
11. Edamenko A.S., Matveeva L.Yu., Yastrebinskaya A.V. Influence of the phase composition of gypsum binder on the operational and mechanical properties of the hydration product. *Solid State Phenomena.* 2019; 299: 1086–1090.
12. Mokrova M., Matveeva L., Letenko D. Rezearch on structure and properties of gypsum with additives of latex and carbon nanoparticles. *Contemporary problems of architecture and construction.* London: Imprint CRC Press, 2020. P. 4. <https://doi.org/10.1201/9781003176428>
13. Matveeva L.Yu., Mokrova M.V., Yastrebinskaya A.V., Edamenko A.S. The effect of latex and nanocarbon modifiers on the properties of high-strength gypsum. *Lecture Notes in Civil Engineering.* 2021; 95: 266.
14. Matveeva L.Yu., Letenko D.G., Mokrova M.V. Influence of carbon nanomodifier on the structure and properties of the modified gypsum binder. *MSF.* 2020; (992): 233–237.
15. Letenko D.G., Nikitin V.A., Charykov N.A., Semenov K.N., Pukhareno Yu.V. Obtaining carbon nanostructures from chemical production waste. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers.* 2010; (1(22)): 108–118. (In Russ.).
16. Letenko D.G., Nikitin V.A., Men'shikova A.Yu., Pukhareno Yu.V., Charykov N.A. Physico-chemical properties of aqueous dispersions of mixed nanocarbon material of fulleroid type. P. 1. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers.* 2010; (2(23)): 131–138. (In Russ.).
17. Letenko D.G., Mokrova M.V., Matveeva L.Yu., Tikhonov Yu.M. The influence of the dimensional distribution of nanomodified latex particles on the structure of gypsum materials. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers.* 2019; (4). (In Russ.).

Информация об авторах

М.В. Мокрова – кандидат технических наук

Л.Ю. Матвеева – доктор технических наук, профессор

Д.Г. Летенко – студент

Ю.А. Строгонов – студент

Information about the authors

M.V. Mokrova – PhD

L.Yu. Matveeva – DSc, Professor

D.G. Letenko – Student

Yu.A. Strogonov – Student

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.01.2022
Одобрена после рецензирования 25.02.2022
Принята к публикации 03.03.2022

The article was submitted 26.01.2022
Approved after reviewing 25.02.2022
Accepted for publication 03.03.2022