УДК 691.263.5

© М. В. Мокрова, старший преподаватель
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: mokrova2017@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-134-141

© M. V. Mokrova, senior lecturer
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: mokrova2017@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГИПСОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

IMPROVING THE COLD-RESISTING PROPERTIES OF GYPSUM BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Приведены данные экспериментальных исследований по разработке составов поризованных гипсовых материалов с применением газообразующих веществ и модифицирующих микродобавок. Определены теплотехнические характеристики образцов, отличающихся по составу и плотности. Полученные характеристики соответствуют требованиям стандарта для плит гипсовых пазогребневых, предназначенных для стеновых конструкций. Сделаны выводы об эффективности и перспективе применения ячеистых строительных материалов на основе гипса для изготовления стеновых конструкций.

Ключевые слова: пористый гипсовый камень, газообразователь, модифицирующие микродобавки, плотность, теплопроводность, прочность.

The paper presents the data of experimental studies on the development of compositions of porous gypsum materials using gas-forming substances and modifying micro-additives. The cold-resisting characteristics of samples differing in composition and density have been determined. The obtained characteristics correspond to the requirements of the standard for gypsum tongue-and-groove slabs intended for wall structures. Conclusions are made about the effectiveness and prospects of using gypsum-based cellular building materials for the manufacture of wall structures.

Keywords: porous gypsum stone, blowing agent, modifying micro-additives, density, thermal conductivity, strength.

Введение

Выбор материала для возведения стен и межкомнатных перегородочных конструкций в зданиях различного типа является неотъемлемой частью проекта при планировке или перепланировке помещений в процессе ремонтных работ и реконструкции. Этот выбор обусловлен не только условиями эксплуатации, техническими характеристиками материалов, способами монтажа перегородок, но и стоимостью самих материалов, экономической эффективностью проекта в целом [1].

В условиях современного производства строительных материалов, их широкой номенклатуры перед проектировщиком, дизайнером или потребителем стоит непростой вопрос выбора строительного материала для создания конструкции, удовлетворяющей заданным требова-

ниям. К этим требованиям относятся, в первую очередь, эргономичность проекта помещения, соответствие свойств материала техническим характеристикам конструкции, приемлемые затраты на монтаж и отделочные работы, соблюдение санитарно-гигиенических норм и поддержание экологических условий окружающей среды и комфортного нахождения в помещении и некоторые другие. При выборе наиболее эффективного материала следует учитывать все перечисленные факторы.

В настоящее время для монтажа стен и межкомнатных перегородок используются следующие виды строительных материалов и изделий:

- кирпич керамический пустотелый;
- силикатные пазогребневые плиты;
- керамзитобетонные перегородочные блоки;
- газо- и пенобетонные плиты и блоки;

- древесно-волоконистые и древесно-стружечные плиты;
- гипсокартонные и гипсоволоконистые листы;
- пазогребневые гипсовые блоки и плиты.

У каждого вида перечисленных выше строительных материалов и изделий с учетом экономических показателей можно отметить как достоинства, так и недостатки.

Основными критериями при выборе стеновых материалов, как правило, являются несущая способность, которая обуславливается достаточно высокой прочностью и плотностью материала, а также эксплуатационные, теплотехнические и звукоизолирующие характеристики, эффективность которых определяется, напротив, низкой плотностью материала. Таким образом, окончательный выбор основан на компромиссе между основными свойствами — плотностью и прочностью материала стеновых конструкций. Повышенная прочность и плотность материала связана с увеличением нагрузки на основание, что для ряда помещений может приводить к дополнительным мерам по усилению перекрытий, полов или иным конструктивным решениям. К недостаткам материалов, обладающих повышенной прочностью и плотностью, можно отнести высокую теплопроводность и низкие показатели акустических свойств, повышенные затраты на отделочные работы: при монтаже конструкций применяются необходимые для этого дополнительные материалы, например кладочные и монтажные растворы.

При использовании в качестве перегородочных конструкций ячеистых пазогребневых блоков и плит значительно снижается масса конструкции за счет уменьшения плотности и толщины изделия. Снижение расхода строительного раствора для устройства межкомнатных перегородок из большеформатных пазогребневых блоков и сокращение сроков их монтажа улучшают экономические показатели строительства, но такие конструкции требуют для последующей отделки стен использования специальных и зачастую недешевых материалов.

Широкое использование гипсовых материалов в строительстве особенно актуально для России, так как половина мировых запасов ме-

сторождений гипса, а это более 300 млн т, находится на ее территории [2].

Технология производства пазогребневых гипсовых плит на заводах включает получение готовых к использованию изделий литьевым способом формования. Процесс изготовления гипсовых плит практически непрерывный: смесь гипсового вяжущего с водой и добавками осуществляется в смесителе непрерывного действия и заливается в формы. Низкие энергозатраты на процесс производства, экономические показатели сырья, его доступность и отсутствие дефицита на строительном рынке, быстрая оборачиваемость форм за счет коротких сроков твердения гипса дают возможность получать изделия в требуемых объемах с высокой производительностью.

Учитывая достоинства строительных материалов и изделий на основе гипса, такие как экологичность, пожаробезопасность, относительно невысокая плотность по сравнению с прочими стеновыми материалами, более низкая стоимость по сравнению с керамическими, силикатными изделиями и материалами на основе портландцемента, можно сделать вывод о целесообразности использования пазогребневых гипсовых плит для стеновых конструкций и межкомнатных перегородок. При этом дальнейшее улучшение эксплуатационных свойств гипсовых материалов может быть достигнуто совмещением в оптимальных количествах исходных гипсовых вяжущих с органоминеральными модификаторами, получаемыми совместной механохимической активацией портландцемента, кремнеземистых и органических химических добавок [3].

В современных условиях экономии и рационального потребления энергетических ресурсов все большую популярность приобретает тенденция снижения энергетической тепловой нагрузки на окружающую среду при производстве и эксплуатации строительных материалов, изделий и конструкций. Таким образом, все более востребованными становятся строительные материалы с улучшенными теплозащитными свойствами: их применение не только снижает энергоемкость строительства, но и позволяет экономить тепловую энергию при эксплуатации зданий. Использование ячеистого гипса (газо- и пеногипса) — экологичного и комфортного материала для тепло- и звукоизоляции помещений —

позволит внести существенный вклад в решение задач энергосбережения, повышения звукоизоляции и обеспечения пожарной безопасности жилых помещений.

Для получения ячеистых материалов на основе гипса используют добавки веществ, которые выделяют газ при затворении гипса водой или сохраняют отдельно приготовленную пену в стабильном состоянии, пока гипс не схватится [20].

Обычный строительный гипс имеет теплопроводность в среднем около $0,3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, прочность в сухом состоянии около 15 МПа , среднюю плотность от 1200 до 1350 кг/м^3 . Минимальная плотность поризованного гипса ограничивается технологическими особенностями — временем схватывания вяжущего, газовыделением и сохранением устойчивости пены, а также тем фактом, что чрезмерно обильная пена может оседать под собственным весом. При этом вполне реально получить поризованный газогипс с плотностью $\sim 600 \text{ кг/м}^3$, теплопроводностью $\sim 0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, прочностью $2\text{--}2,5 \text{ МПа}$ [20].

Получать газогипс можно при использовании в качестве газообразующих добавок некоторых кислот, в частности ряда органических и некоторых минеральных. Так, в УП «НИИСМ» проведен ряд исследований по разработке технологии получения газогипса на основе гипсового вяжущего разных марок. Были получены составы и изучены свойства гипсовых образцов с использованием различных газообразователей: сильных кислот (HCl , H_2SO_4 и H_3PO_4) и их солей, кислот средней силы (винной, лимонной, уксусной, малоновой, щавелевой и малеиновой), которые вводили совместно с карбонатсодержащей добавкой (мел и доломит). Были получены образцы газогипса с плотностью до 600 кг/м^3 и прочностью $1,5\text{--}4,0 \text{ МПа}$. При этом было установлено, что введение в качестве карбонатной добавки доломита заметно повышает прочность газогипса [4, 5].

Известен способ получения газогипса при использовании разведенной водой в соотношении $1:50\text{--}1:400$ ортофосфорной кислоты (H_3PO_4), а также винной, лимонной и некоторых других кислот¹ [6]. В случае использования ортофос-

форной и органических кислот экологичность газогипса сохраняется, более того, эти кислоты используются в пищевой промышленности в качестве добавок.

Пористость и плотность гипса можно регулировать концентрацией кислотной добавки, которую вводят в воду затворения гипса, и при этом получать более или менее пористый гипс. Чем меньше пор, тем выше плотность пеногипса и выше его прочность. Чем выше пористость гипсового камня, тем меньше расход гипса для получения изделия заданного объема и ниже его прочность [20].

При литьевом способе производства гипсовых плит плотность гипсовой массы составляет $1100\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$. Поризация массы за счет процессов, происходящих при введении добавок, приводящих к газообразованию, позволяет снизить плотность материала до $900\text{--}700 \text{ кг/м}^3$. Газообразование приводит к увеличению объема затвердевшей массы в $1,5$ раза, что снижает расход гипсового вяжущего при изготовлении таких изделий. Размеры пор и характер пористости гипсового камня влияют на такие важные технические показатели, как сорбционная влажность, водопоглощение, теплопроводность, акустические свойства. Что касается прочностных характеристик, то для гипсовых изделий в форме плит основным прочностным показателем по новому стандарту является разрушающая нагрузка при трехточечном изгибе.

Цель настоящей работы — разработка составов газогипса с применением модифицирующих микродобавок и оценка их характеристик.

Материалы и методики исследований

Известно, что модификация стандартных промышленно выпускаемых вяжущих активными веществами в малых количествах позволяет получать новые эффективные строительные материалы без существенных капиталовложений на организацию новых производств.

Наиболее перспективным направлением в области создания гипсовых материалов и изделий, обладающих улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, является получение гипсовых вяжущих с микро- и наноразмерными добавками энергетически активных частиц, усиливающих межкристаллические связи гипсового камня [7–11].

¹ Гипсовые вяжущие материалы // Строительное материаловедение. URL: <http://ctcmetar.ru/stroitelnoe-materialovedenie/2128-gipsovye-vyazhuschie-materialy.html> (дата обращения 08.02.2021).

В настоящее время создано множество строительных материалов и композитов, модифицированных углеродными нанотрубками, а также фуллереноподобными углеродными наночастицами [12–16], в том числе и на основе гипсовых вяжущих.

Таким образом, перспективным направлением в области создания современных эффективных гипсовых материалов и изделий, обладающих улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, является получение гипсовых вяжущих с микро- и нанодобавками активных частиц, усиливающими межкристаллические связи гипсового камня [17–19].

Установлено, что добавка углеродных наночастиц совместно с латексным модификатором меняет характер кристаллической структуры и морфологию гипсового камня — способствует формированию более выраженной пластинчатой и мелкокристаллической структуры, в отличие от столбчатого и игольчатого характера кристаллов немодифицированного исходного гипса [7, 8]. В результате наномодификации гипсового вяжущего углеродными частицами меняются характер распределения и размеры межкристаллических пустот и пор в гипсовом камне. При этом обнаружено повышение водостойкости и прочностных характеристик. Установлено также, что одновременное введение двух модификаторов — латексной эмульсии и углеродных наночастиц — значительно меняет кристаллическую структуру и морфологию гипсового камня: меняются форма и размеры отдельных кристаллов, увеличивается площадь поверхности контактов между кристаллами, т. е. плотность их упаковки, характер пористости гипсового камня [7, 8]. Результаты этих исследований были использованы при разработке эффективных поризованных теплоизоляционных гипсовых материалов.

В данной работе для исследований использовано гипсовое вяжущее Г-6 Б II производства Пешеланского гипсового комбината. В качестве модифицирующих микродобавок использована эмульсия бутадиен-стирольного латекса и суспензия углеродных наночастиц, положительное влияние которых на структуру и свойства гипсового камня было показано нами ранее [7, 8].

Обсуждение результатов

Для получения теплоизоляционного поризованного гипса были изготовлены образцы с использованием газообразователя кислотного типа — ортофосфорной и лимонной кислот. В качестве структурного модификатора использована микродобавка бутадиен-стирольного латекса (Л), а также 2 %-ная суспензия микро- и наноцеллюлозы (НЦ). Все добавки вводили в воду затворения гипсового вяжущего и тщательно перемешивали, при этом наноуглеродную добавку в воде предварительно обрабатывали ультразвуком в течение 3 мин.

Для изготовления образцов для теплотехнических испытаний гипсовую смесь заливали в деревянные формы-шаблоны с квадратным сечением 100 × 100 мм. После распалубки образцы подвергали высушиванию до постоянной массы при температуре 50 °С. Распиливанием квадратных заготовок образцов получали гипсовые образцы соответствующего сечения и высотой 20 ± 2 мм. Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м · К), определяли с помощью прибора ИТП-МГ4 СКБ «Стройприбор» и проводили расчет термического сопротивления R , м²К/Вт.

Образцы и макроструктура полученного газогипса представлены на рис. 1 и 2.

Составы образцов и результаты определения плотности, прочности и теплотехнических характеристик (средние значения из 5–7 параллельных образцов) приведены в табл. 1.

Исследования показали, что рост количества газообразователя от 0,5 до 1 % может приводить к изменению формы пор (сферические поры деформируются и превращаются в вытянутые продолговатые) с одновременным уменьшением толщины межпоровых перегородок, увеличением степени их дефектности, а также увеличением количества сквозных (сообщающихся) пор. Таким образом, на снижение прочностных характеристик в том числе влияют и дефекты макропористой структуры газогипса.

Согласно ГОСТ 6428–2018 «Плиты гипсовые пазогребневые для перегородок. Технические условия» (Приложение Б), значения теплопроводности гипса, применяемого для изготовления плит, в зависимости от плотности имеют значения, представленные в табл. 2.

Рис. 1. Заготовка (а) и образец (б) газогипса для теплотехнических испытаний

Рис. 2. Характер пористости (макроструктура) образцов газогипса различного состава: а — образцы слева направо: № 5, 1 и 4; б — образец № 2

Анализируя данные табл. 2 и сравнивая их с характеристиками, приведенными в табл. 1, можно заметить, что полученные нами значения теплопроводности соответствуют или в некоторых случаях превосходят требования указан-

ного стандарта. Следовательно, разработанные и представленные выше составы газогипса можно рекомендовать для производства гипсовых пазогребневых плит и их использования для возведения стен и перегородок.

Таблица 1

Состав и характеристики образцов поризованного гипсового камня

Номер образца, состав	Средняя плотность ρ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м · К)	Термическое сопротивление R , м ² К/Вт	Прочность при изгибе $R_{изг}$, МПа
Г-6, контрольный	1335	0,489	0,040	5,8
1. Г-6 + 0,5 % H_3PO_4	885	0,217	0,087	2,3
2. Г-6 + 1 % H_3PO_4	871	0,203	0,096	2,8
3. Г-6 + 0,5 % H_3PO_4 + 0,5 % Л	792	0,204	0,098	2,0
4. Г-6 + 1 % H_3PO_4 + 1 % Л	662	0,138	0,145	1,5
5. Г-6 + 1 % лимонной кислоты	924	0,187	0,116	2,8
6. Г-6 + 1 % H_3PO_4 + 0,025 % НЦ	865	0,170	0,107	3,0

Таблица 2

**Значения теплопроводности гипса,
применяемого для изготовления плит,
в зависимости от плотности**

Средняя плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м · К)
600	0,15
700	0,17
800	0,20
900	0,25
1000	0,30
1100	0,36
1200	0,42
1300	0,46
1400	0,52
1500	0,57

Выводы

Благодаря доступности, наличию огромных запасов сырья, простоте и энергетически экономной переработке, низкой стоимости и высоким эстетическим и экологическим качествам, натуральный гипс является одним из лучших строительных материалов для изготовления и обустройства стен и перегородок, а также для заливки пола (стяжки) под финишное покрытие.

Используя модифицирующие добавки в микроколичествах, практически не влияющих на стоимость материала, управляя составом и концентрацией газообразователей, можно получать эффективные поризованные гипсовые материалы заданной теплопроводности.

Разработанные и испытанные составы газогипса позволяют получить композит с соответствующими стандарту либо улучшенными характеристиками, что демонстрирует их повышенную эффективность и открывает перспективы применения в жилищном строительстве.

Библиографический список

1. Асаул А. Н., Казаков Ю. Н., Ипанов В. И. Реконструкция и реставрация объектов недвижимости / под ред. А. Н. Асаула. СПб.: Гуманистика, 2005. 288 с.
2. Чернышева Н. В., Дребезгов Д. А. Свойства и применение быстротвердеющих композитов на основе гипсовых вяжущих // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. № 5. С. 125–133.
3. Уруев В. М. и др. Теоретическое обоснование повышения водостойкости гипсовых вяжущих ве-

ществ // Изв. ТулГУ. Сер. Строительные материалы, конструкции и сооружения. 2004. Вып. 7. С. 162.

4. Белов В. В., Бурьянов А. Ф., Петропавловская В. Б. Современные эффективные гипсовые вяжущие, материалы и изделия. Тверь: ТГТУ, 2007. 132 с.

5. Петропавловский К. С. Самоармированные гипсовые материалы с комплексным модификатором: дис. ... канд. техн. наук. М., 2020. 208 с.

6. Пат. 2446126 Российская Федерация, МПК⁷ C04B 28/14. Сухая строительная смесь для получения газогипса / М. Г. Бруяко, А. Д. Волон, А. М. Орлова, В. А. Ушков, О. Д. Румянцева, А. В. Крескина, Л. С. Григорьева, О. Г. Бруяко. № 2010129648/03, заявл. 19.07.2010, опублик. 27.03.2012.

7. Летенко Д. Г., Мокрова М. В., Матвеева Л. Ю., Тихонов Ю. М. Влияние размерного распределения наномодифицированных частиц латекса на структуру гипсовых материалов // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 4 (75). С. 95–101.

8. Matveeva L. Yu., Letenko D. G., Mokrova M. V. Influence of Carbon Nanomodifier on the Structure and Properties of the Modified Gypsum Binder // Materials Science Forum. 2020. Vol. 992. Pp. 233–237.

9. Изряднова О. В., Яковлев Г. И., Полянский И. С., Фишер Х.-Б., Сеньков С. А. Изменение морфологии кристаллогидратов при введении ультра- и нанодисперсных модификаторов структуры в гипсоцементно-пуццолановые вяжущие // Строительные материалы. 2014. № 7 (715). С. 25–27.

10. Маева И. С., Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Бурьянов А. Ф., Пустовгар А. П. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 4–5.

11. Чумак А. Г., Деревянко В. Н., Петрунин С. Ю., Попов М. Ю., Ваганов В. Е. Структура и свойства композиционного материала на основе гипсового вяжущего и углеродных нанотрубок // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2013. Т. 5, № 2. С. 27–37.

12. Летенко Д. Г., Никитин В. А., Чарыков Н. А., Семенов К. Н., Пухаренко Ю. В. Получение углеродных наноструктур из отходов химических производств // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 1 (22). С. 108–118.

13. Пухаренко Ю. В., Староверов В. Д., Рыжов Д. И. Фуллероидные углеродные наночастицы для модификации бетонов // Технологии бетонов. 2015. № 3–4 (104–105). С. 40–43.

14. Королев Е. В., Баженов Ю. М., Береговой В. А. Модифицирование строительных материалов нанотрубами и фуллеренами // Строительные материалы — Наука. 2006. № 8 [приложение

к научно-техническому журналу «Строительные материалы». 2006. № 9]. С. 2–4.

15. Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Корженко А., Бурьянов А. Ф., Пудов И. А., Лушникова А. А. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 47–51.

16. Пухаренко Ю. В., Никитин В. А., Летенко Д. Г. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей // *Строительные материалы — Наука*. 2006. № 8 [приложение к научно-техническому журналу «Строительные материалы». 2006. № 9]. С. 11–13.

17. Деревянко В. Н., Чумак А. Г., Ваганов В. Е. Влияние наночастиц на процессы гидратации полуводного гипса // *Строительные материалы*. 2014. № 7 (715). С. 22–24.

18. Строкова В. В., Череватова А. В., Жерновский И. В., Войтович Е. В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 9–12.

19. Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Маева И. С., Корженко А., Бурьянов А. Ф., Мачюлайтис Р. Модификация ангидритовых композиций многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2010. № 7. С. 25–27.

20. Вильчинский В. Р. Пеногипс — получение и использование // *Сухие строительные смеси*. 2018. № 2. С. 24–27.

References

1. Asaul A. N., Kazakov Yu. N., Ipanov V. I. *Rekonstruktsiya i restavratsiya ob'ektov nedvizhimosti* [Reconstruction and restoration of real estate objects]. Ed. by Asaul A. N. St. Petersburg, Gumanistika Publ., 2005, 288 p.

2. Chernysheva N. V., Drebezgov D. A. *Svoystva i primeneniye bystrotverdeyushchikh kompozitov na osnove gipsovykh vyazhushchikh* [Properties and application of fast-hardening composites based on gypsum binders]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova — Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, 2015, no. 5, pp. 125–133.

3. Uruev V. M. i dr. *Teoreticheskoe obosnovanie povysheniya vodostoykosti gipsovykh vyazhushchikh veshchestv* [Theoretical justification of increasing the water resistance of gypsum binders]. *Izv. TulGU. Ser. Stroitel'nye materialy, konstruktii i sooruzheniya — Bulletin of TulGU. Ser. Building materials, designs and structures*, 2004, iss. 7, 162 p.

4. Belov V. V., Bur'yanov A. F., Petropavlovskaya V. B. *Sovremennye effektivnye gipsovye vyazhushchie, materialy*

i izdeliya [Modern effective gypsum binders, materials and products]. Tver', TGTU Publ., 2007, 132 p.

5. Petropavlovskiy K. S. *Samoarmirovannye gipsovye materialy s kompleksnym modifikatorom*. Diss. kand. tekhn. nauk [Self-reinforced gypsum materials with a complex modifier. PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2020, 208 p.

6. Bruyako M. G., et al. *Sukhaya stroitel'naya smes' dlya polucheniya gazogipsa* [Dry construction mix for the production of gas gypsum]. Patent RF, no. 2446126, 2012.

7. Letenko D. G., Mokrova M. V., Matveeva L. Yu., Tikhonov Yu. M. *Vliyanie razmernogo raspredeleniya nanomodifitsirovannykh chastits lateksa na strukturu gipsovykh materialov* [The effect of size distribution of nanomodified latex particles on the structure and properties of gypsum materials]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov — Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 4 (75), pp. 95–101.

8. Matveeva L. Yu., Letenko D. G., Mokrova M. V. Influence of carbon nanomodifier on the structure and properties of the modified gypsum binder. *Materials Science Forum*, 2020, vol. 992, pp. 233–237.

9. Izryadnova O. V., et al. *Izmeneniye morfologii kristallogidratov pri vvedenii ul'tra- i nanodispersnykh modifikatorov struktury v gipsotsementno-pustsolanovye vyazhushchie* [Changes in the morphology of crystal hydrates with the introduction of ultra- and nanodisperse structure modifiers in gypsum-cement-pozzolan binders]. *Stroitel'nye materialy — Building Materials*, 2014, no. 7 (715), pp. 25–27.

10. Maeva I. S., et al. *Strukturirovaniye angidritovoy matritsy nanodispersnymi modifitsiruyushchimi dobavkami* [Structuring of anhydrite matrix by nanodisperse modifying additives]. *Stroitel'nye materialy — Building Materials*, 2009, pp. 4–5.

11. Chumak A. G., et al. *Struktura i svoystva kompozitsionnogo materiala na osnove gipsovogo vyazhushchego i uglerodnykh nanotrubok* [Structure and properties of a composite material based on a gypsum binder and carbon nanotubes]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchniy internet-zhurnal — Nanotechnologies in construction: scientific online journal*, 2013, vol. 5, no. 2, pp. 27–37.

12. Letenko D. G., et al. *Poluchenie uglerodnykh nanostruktur iz otkhodov khimicheskikh proizvodstv* [Synthesis of carbon nanostructures from waste products of chemical industry]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov — Bulletin of Civil Engineers*, 2010, no. 1 (22), pp. 108–118.

13. Pukhareno Yu. V., Staroverov V. D., Ryzhov D. I. *Fulleroidnye uglerodnye nanochastitsy dlya modifikatsii betonov* [Fulleroid carbon nanoparticles for concrete modification]. *Tekhnologii betonov — Concrete Technologies*, 2015, no. 3–4 (104–105), pp. 40–43.

14. Korolev E. V., Bazhenov Yu. M., Beregovoy V. A. *Modifitsirovaniye stroitel'nykh materialov nanouglerodnymi trubkami i fullerunami* [Modification of building materials

with nanocarbon tubes and fullerenes]. *Stroitel'nye materialy — Nauka – Building materials Science*, 2006, no. 8 (prilozhenie k nauchno-tekhnicheskomu zhurnalu «Stroitel'nye materialy») [Appendix to the scientific and technical journal “Building materials”], 2006, no. 9, pp. 2–4.

15. Yakovlev G. I., et al. *Modifikatsiya tsementnykh betonov mnogosloynnymi uglerodnymi nanotrubkami* [Modification of cement concretes with multilayer carbon nanotubes]. *Stroitel'nye materialy – Building Materials*, 2011, no. 2, pp. 47–51.

16. Pukharensko Yu. V., Nikitin V. A., Letenko D. G. *Nanostrukturirovanie vody zatvoreniya kak sposob povysheniya effektivnosti plastifikatorov betonnykh smesey* [Nano-structuring of gauged water as a way to increase the efficiency of plasticizers of concrete mixtures]. *Stroitel'nye materialy. Nauka (prilozhenie k nauchno-tekhnicheskomu zhurnalu «Stroitel'nye materialy») – Building Materials. Nauka (appendix to the scientific and technical journal “Building Materials”)*, 2006, no. 8. 2006, no. 9, pp. 11–13.

17. Derevyanko V. N., Chumak A. G., Vaganov V. E. *Vliyanie nanochastits na protsessy gidratatsii poluvodnogo gipsa* [Influence of nanoparticles on the hydration processes of semi-aqueous gypsum]. *Stroitel'nye materialy – Building Materials*, 2014, no. 7 (715), pp. 22–24.

18. Strokova V. V., Cherevatova A. V., Zhernovskiy I. V., Voytovich E. V. *Osobennosti fazoobrazovaniya v kompozitsionnom nanostrukturirovannom gipsovom vyazhushchem* [Features of phase formation in composite nano-structured gypsum binder]. *Stroitel'nye materialy – Building materials*, 2012, no. 7, pp. 9–12.

19. Yakovlev G. I., et al. *Modifikatsiya angidritovykh kompozitsiy mnogosloynnymi uglerodnymi nanotrubkami* [Modification of anhydrite compositions by multilayer carbon nanotubes]. *Stroitel'nye materialy – Building Materials*, 2010, no. 7, pp. 25–27.

20. Vilchinskiy V. R. *Penogips — poluchenie i ispol'zovanie* [Foamed gypsum: production and application]. *Sukhie stroitel'nye smesi – Dry Building Mixes*, 2018, no. 2, pp. 24–27.