

УДК 691-405.8

© М. В. Мокрова, ст. преподаватель
© Л. Ю. Матвеева, д-р техн. наук, профессор
© Ю. Н. Леонтьева, канд. техн. наук, доцент
© Ю. А. Строгонов, студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: mokrova2017@yandex.ru, lar.ma2011@yandex.ru,
Leonteva_GASU@mail.ru, tichroma0@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-1-57-64

© M. V. Mokrova, senior lecturer
© L. Yu. Matveeva, Dr. Sci. Tech., Professor
© Y. N. Leontieva, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© Yu. A. Strogonov, student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: mokrova2017@yandex.ru, lar.ma2011@yandex.ru,
Leonteva_GASU@mail.ru, tichroma0@gmail.com

АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГИПСА И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

GYPSUM-BASED ACOUSTIC MATERIALS AND THEIR FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

Рассмотрены функции акустических материалов и их связь со структурой и свойствами. Получены эффективные по функциональным характеристикам составы акустического газогипса с повышенными коэффициентами звукопоглощения. В качестве газообразователя для формирования пористой структуры использована лимонная кислота. В качестве стабилизирующей добавки в процессе газовыделения использован бутадиен-стирольный латекс. Формирование мелкокристаллической структуры — кристаллов пластинчатого типа с большой спаянностью — происходит при использовании наноуглеродного модификатора; в случае нановолокнистой целлюлозы формируется гипсовый камень с волокноподобной морфологией. Представлены результаты исследований влияния наномодификаторов двух разных типов: наноуглеродного фуллероидного типа и нановолокнистого целлюлозного модификатора на микроструктуру и свойства акустического газогипса.

Ключевые слова: газогипс, наномодификаторы, наноуглерод, наноцеллюлоза, свойства, коэффициент звукопоглощения.

The functions of acoustic materials and their relation to the structure and properties are considered. There have been obtained compositions of acoustic gas gypsum with increased sound absorption coefficients effective in functional characteristics. Citric acid was used as a gas-forming agent for the formation of a porous structure. Styrene-butadiene latex was used as a stabilizing additive in the process of gas release. The formation of a fine-crystalline structure (plate-type crystals with high cohesion) occurs when using a nanocarbon modifier. In the case of nanofiber cellulose, a gypsum stone with a fiber-like morphology is formed. The results of studies of nanomodifiers of two different types are presented (namely, nanocarbon fulleroid type and nanofiber cellulose type modifiers) and their impact on the microstructure and properties of acoustic gas gypsum is considered.

Keywords: gas gypsum, nanomodifiers, nanocarbon, nanocellulose, properties, sound absorption coefficient.

Введение

Акустический комфорт в жилых и промышленных зданиях — одно из основных требований гражданского строительства, обеспечение которого требует разработки новых эффективных акустических строительных материалов [1–4].

Воздействие шума на человека, особенно в низкочастотной области спектра, имеет ряд

негативных последствий для его здоровья. Звуковое воздействие связано с распространением звуковых волн в упругой среде, поэтому снижение уровня звукового давления любого шума в местах длительного пребывания людей весьма важно и актуально [5, 6].

Снижение уровня шума при падении звуковой волны на поверхность строительной конструкции зависит от отношения энергии

отраженной волны к падающей. Для комплексной борьбы с шумом применяют строительные материалы, имеющие не только хорошие звукоизолирующие свойства, но и хорошие звукопоглощающие характеристики [7–11].

В гражданском и жилищном строительстве в качестве звукопоглощающих материалов весьма перспективны ячеистые бетоны с улучшенными акустическими характеристиками. Звукопоглощающие характеристики таких материалов зависят от вида поверхности и ее пористости, а также от характера и вида внутренней пористой структуры материала [12, 15].

В области оценки и применения эффективных звукопоглощающих материалов были проведены многочисленные исследования [13–15]. Особо важными такие материалы являются при использовании в гражданском строительстве в качестве звукоизоляции фасадов зданий и межкомнатных перегородок.

Наиболее эффективное звукопоглощение пористыми по структуре материалами осуществляется при условии высокой степени открытой сообщающейся пористости [15].

Процесс порообразования в материале можно осуществлять двумя способами: механическим вспениванием (пенобетоны) и химическим газообразованием (газобетоны).

Для газогипсобетонов взаимодействие между газообразователем и компонентами гипсового теста приводит к появлению в смеси выделяющегося в результате химической реакции газа. Таким образом, в матрице образуются многочисленные макро- и микроскопические поры. Процесс газовыделения технологически проще поддается управлению, так как зависит от концентрации реагирующих веществ и температуры среды.

В задачи исследования входила разработка эффективного состава акустического газогипса, исследование физических, физико-

механических и акустических свойств в зависимости от состава гипсовой смеси, а также исследование влияния макро- и микроструктуры на акустические свойства поризованного гипсового камня.

Материалы и методы исследований

В работе использовалось гипсовое вяжущее марки Г-6 АП Пешеланского гипсового завода. Газообразующую добавку, лимонную кислоту (Л) производства «Citrobel» (Цитробел), вводили в воду затворения в количестве 1 % масс. по отношению к гипсовому вяжущему.

Для повышения устойчивости и стабильности гипсового теста при газовыделении вводили бутадиен-стирольный латекс (БСЛ) в воду затворения в количестве 1 % масс. по отношению к гипсовому вяжущему.

С целью воздействия на микроструктуру и морфологию гипсового камня использовали наномодификаторы двух типов, которые также вводили в воду затворения:

1) комплексный углеродный наномодификатор *HFNCM* (Hybrid Fulleroide Nano-Carbon Material), разработанный в СПбГА-СУ, представляет собой смесь углеродных наночастиц фуллероидного типа, одно- и многостенных нанотрубок, наноконусов и других наноуглеродных образований и получен из промышленных отходов методом дугового синтеза (Н). Способ получения углеродного наномодификатора описан в работах [16–18];

2) водная суспензия 2 % масс. nanoцеллюлозных волокон (НЦ) *Betulum MFCN 63* производства компании BANG&BONSOMER. Наномодификаторы и добавку латекса в установленных ранее оптимальных количествах [19–21] вводили в воду затворения. Раствор с наномодификаторами обрабатывали ультразвуком с целью их диспергирования в течение 3 мин непосредственно перед совмещением раствора с гипсовым вяжущим.

Операции по формированию стандартных образцов-балочек и других образцов

и испытания физико-механических характеристик гипса проводили по ГОСТ 23789–2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». При этом определяли прочностные характеристики образцов, выдержанных в комнатно-сухих условиях в течение 7 сут и высушенных до постоянной массы при температуре 50 ± 2 °С.

Результаты и их обсуждение

Для определения физико-механических характеристик газогипса были изготовлены стандартные образцы-балочки $40 \times 40 \times 160$ мм в количестве 3 шт. на каждый вид образцов. Составы образцов ячеистого газогипса и их характеристики представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 можно заметить, что в условиях газовой выделенной наномодификаторы позволяют существенно снизить плотность газогипсового камня, обеспечивая более эффективное формирование пористой структуры без видимых макродефектов и повреждений. При этом прочностные характеристики уменьшаются незначительно, что связано с образованием мелкокристаллической и менее дефектной микроструктуры модифицированного гипсового камня.

На рис. 1 представлены электронные микрофотографии образцов гипсового камня разных составов. Заметна очевидная разница в структуре и морфологии кристаллических образований гипсового камня с нано-

модификаторами. При введении в гипсовое вяжущее углеродных наномодификаторов морфология и кристаллическая структура гипсового камня существенно меняются от исходной столбчатой (рис. 1, а) к пластинчатой (рис. 1, б) и волокноподобной (рис. 1, в), при этом размеры кристаллитов становятся значительно мельче. Мелкокристаллическая структура для процесса газообразования гипсового теста более предпочтительна, поскольку способствует более стабильному формированию пористой структуры гипсового камня с меньшим количеством макродефектов.

Испытания характеристик газогипса показали, что наномодификаторы позволяют получить ячеистый газогипс, отличающийся от немодифицированного аналога меньшей плотностью и при этом обладающий вполне достаточными для отделочного материала прочностными характеристиками (более 2 МПа).

Замечено, что добавление наномодификаторов способствует формированию ячеистого гипсового камня с мелкокристаллической структурой с меньшим количеством макродефектов: в случае углеродного наномодификатора (Н) — пластинчатого типа, в случае нановолокнистого целлюлозного модификатора (НЦ) — волокноподобной структуры.

Исследован минеральный состав исходного гипса без добавок и наномодифи-

Таблица 1

Составы образцов и характеристики ячеистого газогипса

№ образца	Состав образца	Плотность, ρ_0 , г/см ³	Прочность при изгибе, $R_{изг}$, МПа	Прочность при сжатии, $R_{сж}$, МПа
К	Г-6+Л (контрольный)	0,843	2,3	2,9
1	Г-6+Л+БСЛ	0,821	2,1	2,6
2	Г-6+Л+Н	0,790	1,9	2,3
3	Г-6+Л+Н+БСЛ	0,772	1,8	2,2
4	Г-6+Л+НЦ+Н	0,753	1,9	2,5
5	Г-6+ Л+НЦ+Н+БСЛ	0,791	2,3	2,3

Примечание: Л — кристаллическая лимонная кислота 1 % масс. в воде затворения; БСЛ — 1-процентный раствор товарного бутадиенстирольного латекса в воде затворения; Н — наноуглеродный модификатор, раствор с концентрацией $1 \cdot 10^{-4}$ % масс.; НЦ — суспензия нановолокон целлюлозы с концентрацией 0,0125 % масс. в воде затворения.

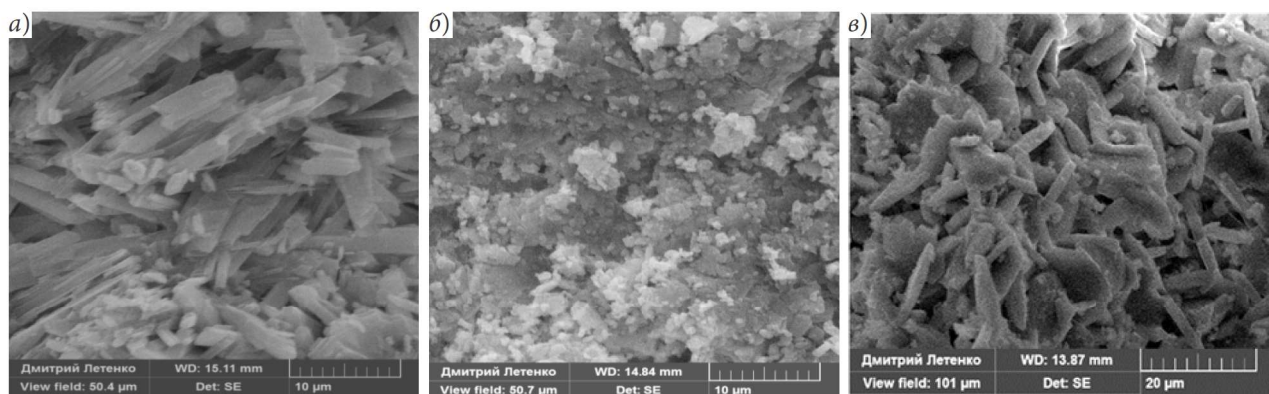


Рис. 1. Электронные микрофотографии образцов ячеистого гипсового камня: а — немодифицированного; б — с углеродным наномодификатором (Н); в — с нановолокнистой целлюлозой (НЦ)

цированных образцов газогипса методом рентгено-фазового анализа.

В табл. 2 представлены составы трех лабораторных образцов акустического газогипса.

Анализ минерального состава выполнен с использованием дифрактометра *D2 PHASER (Bruker)*. Расшифровку спектров проводили с использованием программного обеспечения *DIFFRAC.EVA*, наложение модельного спектра на экспериментальный — по методу Ритвельда. Идентификацию минеральных фаз в образцах проводили посредством программного обеспечения *TOPAZ*.

На рис. 2 представлен результат наложения рентгеновских спектров контрольного образца (черный — нижний рефлекс) и образцов модифицированного газогипса (цветные). В результате расшифровки спектров установлено наличие следующих минералов: гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангидрит — CaSO_4 , доломит — $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$, бассанит — $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Анализ спектров показывает, что фазовый состав исследованных образцов

практически одинаковый. Однако интенсивность рефлексов контрольного образца выше (~10000 имп.). Это можно объяснить как более высокой степенью гидратации контрольного образца по сравнению с модифицированными (в модифицированных образцах обнаружено присутствие незначительного количества бассанита, в то время как в контрольном образце его наличие не установлено), так и различиями морфологии кристаллических фаз гипсового камня.

В табл. 3 содержатся данные физико-механических испытаний полученных образцов акустического газогипса.

Определение коэффициентов звукопоглощения проводили в соответствии с ГОСТ 16297–80 «Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. Методы испытания». Метод испытания основан на образовании в цилиндрической трубе стоячей волны. На конце трубы устанавливали герметично закрепленный испытуемый образец в форме цилиндрической шайбы толщиной 20 мм,

Таблица 2

Составы гипсовых смесей акустического газогипса

Образцы, маркировка	Состав материалов, %			
	Гипс Г-6	Л	БСЛ	НЦ
ГА1	100	1	–	–
ГА2	100	1	–	0,0125
ГА3	100	1	5	0,0125

диаметром 100 мм. В процессе испытаний измеряли максимальное и минимальное значения уровня звукового давления в стоячей волне и определяли нормальный коэффициент поглощения звука на октавных частотах. Определены коэффициенты звукопоглощения образцов газогипса при частотах звуковых колебаний: 125, 250, 500, 1000 и 2000 Гц. Результаты измерения нормальных коэффициентов звукопоглощения представлены в табл. 4, из данных которой можно заметить, что наномодифицированные образцы газогипса (образцы ГА2 и ГА3) обладают более высокими коэффициентами звукопоглощения в значимом для человека диапазоне звуковых частот.

Выводы

В работе установлена кристаллоформирующая роль наномодификаторов: углеродного и нановолокнистого целлюлозного. Показано, что гипс в процессе формирования и роста кристаллических фаз способен наследовать и повторять характер кристаллической структуры и морфологии физико-химически активных частиц и поверхности субстрата.

Фазовый минералогический состав полученных образцов гипса практически одинаковый, это означает, что использованные в работе наномодификаторы не оказывают на него существенного химического влияния. Однако интенсивность рефлексов у немоди-

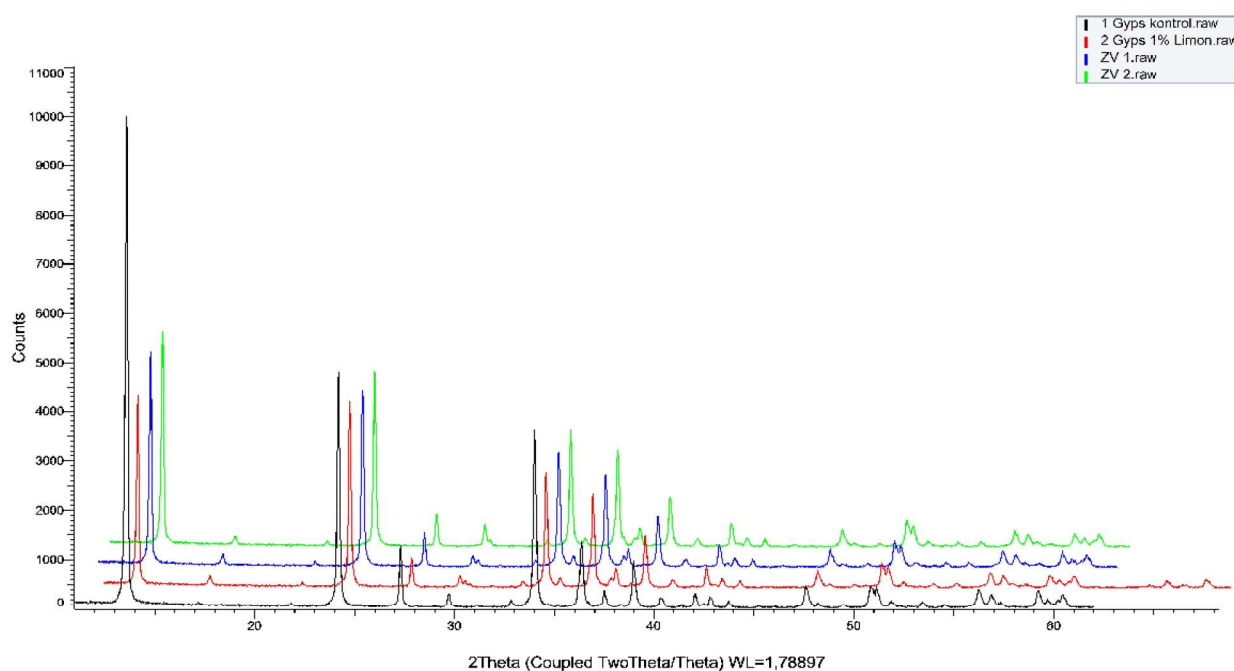


Рис. 2. Сравнение контрольного образца гипса с модифицированными образцами акустического газогипса

Таблица 3

Физические и физико-механические свойства акустического газогипса

Образцы, наименование	Характеристики			
	Плотность, кг/м ³	Пористость, %	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при сжатии, МПа
ГА1	858	64	2,6	4,5
ГА2	849	65	1,9	4,1
ГА3	797	68	1,7	1,9

Таблица 4
Коэффициенты звукопоглощения образцов акустического газогипса

Частота, Гц	Коэффициент звукопоглощения		
	ГА1	ГА2	ГА3
125	0,38	0,36	0,42
250	0,71	0,97	0,92
500	0,68	0,87	0,98
1000	0,67	0,85	0,94
2000	0,70	0,87	0,83

фицированного образца выше по сравнению с образцами, содержащими добавку латекса, что можно объяснить более высокой степенью гидратации гипсового вяжущего по сравнению с модифицированными образцами, а также различиями морфологии образующихся кристаллических фаз.

Установлено, что добавки наномодификаторов способствуют формированию мелкокристаллической структуры гипсового камня: в случае углеродного наномодификатора — кристаллов пластинчатого типа с большей спаянностью; в случае нановолокнистого целлюлозного — волокноподобной морфологии.

Установлена возможность и перспективность использования наномодификаторов в качестве микродобавок для улучшения акустических характеристик звукопоглощения строительных гипсовых ячеистых материалов и изделий. Установлена возможность повышения их эффективности за счет формирования благоприятной для звукопоглощения пористой структуры гипсового камня.

Библиографический список

- Осипов Г. Л., Коробков В. Е., Климухин А. А. и др. Защита от шума в градостроительстве. М.: Стройиздат, 1993. 96 с.
- Гусев В. П., Леденев В. И. Проектирование оптимальной защиты от шумового воздействия систем ОВК в административных зданиях предприятий текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 4 (364). С. 146–15.
- Юдин Е. Я., Борисов Л. А., Гореништейн И. В. и др. Борьба с шумом на производстве: справочник. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
- Аистов В. А., Бойко Ю. С., Поспелов П. И., Шашурин А. Е., Шубин И. Л., Щит Б. А. Комплексный подход к защите территорий и жилой застройки от шума транспортных потоков различного вида // Бюллетень строительной техники. 2015. № 6. С. 20–22.
- Жоголева О. А., Матвеева И. В., Федорова О. О. Проблемы акустического благоустройства квартир в зданиях эксплуатируемого жилого фонда // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 2 (14). С. 72–76.
- Keränen J. The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz // Building and Environment. 2019. № 156. Pp. 12–20.
- Гусев В. П., Лешко М. Ю., Сидорина А. В. Защита от воздушного шума вентиляционного оборудования кожухами и звукоизолирующими покрытиями // Бюллетень строительной техники. 2016. № 6. С. 12–14.
- Huang X., Zou H., Qiu X. A preliminary study on the performance of indoor active noise barriers based on 2D simulations // Building and Environment. 2015. № 94. Pp. 891–899.
- Кочкин А. А., Шубин И. Л. Проектирование звукоизоляции слоистых элементов конечных размеров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 4 (364). С. 161–167.
- Антонов А. И., Леденев В. И., Цукерников И. Е., Шубин И. Л. Компьютерное моделирование акустических параметров производственных помещений предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 4 (364). С. 193–198.
- Ekimov A. Vibration and sound signatures of human footsteps in buildings // Sabatier J. Acoust. Soc. Am. 2006. №118 (3):2021–768.
- Hambric S. A. Structural acoustics tutorial – Part 1: vibrations in structures // Acoust. Today. 2006. № 2 (4). Pp. 21–33.
- Vinokur R. Infrasonic sound pressure in dwellings at the Helmholtz resonance actuated by environmental noise and vibration // Applied Acoustics. 2004. № 65. Pp. 143–151.
- Li X., Liu Q., Pei S., Song L., Zhang X. Structure-borne noise of railway composite bridge: Numerical simulation and experimental validation // Journal of Sound and Vibration. 2015. № 353. Pp. 378–394.
- Баранов А. В. Неавтоклавные ячеистые бетоны с улучшенными звукопоглощающими характеристиками

ками: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Владивосток, 2020. 167 с.

16. 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.

17. Летенко Д. Г., Никитин В. А., Меньшикова А. Ю. и др. Физико-химические свойства водных дисперсий смешанного наноуглеродного материала фуллероидного типа. Часть 1 // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 2 (23). С. 131–138.

18. Летенко Д. Г., Иванов А. С., Мазуленко М. Ю. и др. Физико-химические свойства водных дисперсий смешанного наноуглеродного материала фуллероидного типа. Часть 2 // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3 (24). С. 117–122.

19. 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.

20. Мокрова М. В. Влияние микродобавок латекса и наноцеллюлозы на характеристики и микроструктуру газогипса // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 3 (747). С. 39–48.

21. Matveeva L. Y., 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. Pp. 266–273.

References

1. Osipov G.L., et al. *Zashchita ot shuma v gradostroitel'stve* [Noise protection in urban planning]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1993, 96 p.

2. Gusev V. P., Ledenev V. I. *Proektirovanie optimal'noy zashchity ot shumovogo vozdeystviya sistem OVK v administrativnykh zdaniyakh predpriyatiy tekstil'noy i legkoy promyshlennosti* [Designing of optimal protection from noise impact of HVAC systems in administrative buildings of textile and light industry enterprises]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – Bulletin of Higher Schools. Technology of Textile Industry*, 2016, no. 4 (364), pp. 146–15.

3. Yudin E. Ya., et al. *Bor'ba s shumom na proizvodstve. Spravochnik* [Noise control in production. Reference book]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 400 p.

4. Aistov V. A., et al. *Kompleksniy podkhod k zashchite territoriy i zhiloy zastroyki ot shuma transportnykh potokov razlichnogo vida* [Complex approach to the protection of territories and residential buildings from traffic flow noise of various types]. *Byulleten' stroitel'noy tekhniki – Bulletin of Construction Engineering*, 2015, no. 6, pp. 20–22.

5. Zhogoleva O. A., Matveeva I. V., Fyodorova O. O. *Problemy akusticheskogo blagoustroystva kvartir v zdaniyakh ekspluatiruemogo zhilogo fonda* [Problems of acoustic improvement of apartments in buildings of the exploited housing stock]. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii – Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*, 2016, no. 2 (14), pp. 72–76.

6. Keränen J. The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz. *Building and Environment*, 2019, no. 156, pp. 12–20.

7. Gusev V. P., Leshko M. Yu., Sidorina A. V. *Zashchita ot vozdushnogo shuma ventilyatsionnogo oborudovaniya kozhukhami i zvukoizoliruyushchimi pokrytiyami* [Protection from air noise of ventilation equipment by covers and soundproof coatings]. *Byulleten' stroitel'noy tekhniki – Bulletin of Engineering*, 2016, no. 6, pp. 12–14.

8. Huang X., Zou H., Qiu X. A preliminary study on the performance of indoor active noise barriers based on 2D simulations. *Building and Environment*, 2015, no. 94, pp. 891–899.

9. Kochkin A. A., Shubin I. L. *Proektirovanie zvukoizolyatsii sloistykh elementov konechnykh razmerov* [Design of soundproofing of layered elements of finite dimensions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – Bulletin of Higher Schools. Technology of Textile Industry*, 2016, no. 4 (364), pp. 161–167.

10. Antonov A. I., Ledenev V. I., Tsukernikov I. E., Shubin I. L. *Komp'yuternoe modelirovanie akusticheskikh parametrov proizvodstvennykh pomeshcheniy predpriyatiy tekstil'noy promyshlennosti* [Computer modeling of acoustic parameters of production facilities of textile industry enterprises]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – Bulletin of Higher Schools. Technology of Textile Industry*, 2016, no. 4 (364), pp. 193–198.

11. Ekimov A. Vibration and sound signatures of human footsteps in buildings. *Sabatier J. Acoust. Soc. Am.*, 2006, no. 118 (3):2021–768.

12. Hambric S. A. Structural acoustics tutorial – Part 1. Vibrations in structures. *Acoust. Today*, 2006, no. 2 (4), pp. 21–33.

13. Vinokur R. Infrasonic sound pressure in dwellings at the Helmholtz resonance actuated by environmental noise and vibration. *Applied Acoustics*, 2004, no. 65, pp. 143–151.

14. Li X., Liu Q., Pei S., Song L., Zhang X. Structure-borne noise of railway composite bridge: Numerical simulation and experimental validation. *Journal of Sound and Vibration*, 2015, no. 353, pp. 378–394.

15. Baranov A. V. *Neavtoklavnye yacheistye betony s uluchshennymi zvukopogloshchayushchimi kharakteristikami. Diss. kand. tekhn. nauk* [Non-

autoclaved cellular concrete with improved sound absorbing characteristics. PhD in Sci. Tech. diss.]. Vladivostok, 2020, 167 p.

16. Letenko D. G., Nikitin V. A., Charykov N. A., Semenov K. N., Pukhareno Yu. V. *Poluchenie uglerodnykh nanostruktur iz otkhodov khimicheskikh proizvodstv* [Obtaining carbon nanostructures from chemical waste]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2010, no. 1 (22), pp. 108–118.

17. Letenko D. G., et al. *Fiziko-khimicheskie svoystva vodnykh dispersiy smeshannogo nanouglerodnogo materiala fulleroidnogo tipa* [Physico-chemical properties of aqueous dispersions of mixed nanocarbon material of fulleroid type]. Part 1. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2010, no. 2 (23), pp. 131–138.

18. Letenko D. G., et al. *Fiziko-khimicheskie svoystva vodnykh dispersiy smeshannogo nanouglerodnogo materiala fulleroidnogo tipa* [Physico-chemical properties of aqueous dispersions of mixed nanocarbon material of

fulleroid type]. Part 2. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2010, no. 3 (24), pp. 117–122.

19. Mokrova M. V., Matveeva L. Yu., Letenko D. G., Strogonov Yu. A. *Nanomodifitsirovanniy teploizolyatsionniy gazogips: sostav, svoystva, struktura* [Nanomodified heat-insulating gas gypsum: composition, properties, structure]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo – Bulletin of Higher Schools. Construction*, 2022, no. 3, pp. 25–32.

20. Mokrova M. V. *Vliyanie mikroobavok lateksa i nanotsellyulozy na kharakteristiki i mikrostrukturu gazogipsa* [Influence of latex and nanocellulose microadditives on characteristics and microstructure of gas gypsum]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo – Bulletin of Higher Schools. Construction*, 2021, no. 3 (747), pp. 39–48.

21. Matveeva L. Y., 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, pp. 266–273.