

УДК 691.3

ГАЗОБЕТОН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Е.В. Фомина, В.С. Лесовик, И.В. Лашина

Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Строительные объекты транспортной инфраструктуры имеют различное назначение и отличаются условиями эксплуатации. Актуальной технической задачей является создание оптимального микроклимата для работы человека в ремонтных боксах и административных зданиях, что можно достигнуть за счет использования строительного материала, сочетающего в себе высокие показатели теплозащиты и звукоизоляции, такого как ячеистый бетон автоклавного твердения.

Основная задача, решаемая в рамках работы, направлена на решение вопросов усиления тепло- и звукоизоляционных показателей ячеистого бетона автоклавного твердения.

Материалы и методы. Оценка эффективности применения газобетона основана на исследовании показателей теплозащиты и звукоизоляции. Анализ материала на макро- и микроуровне проводился с применением растровой электронной микроскопии, метода газовой адсорбции. Проведен комплекс экспериментальных и расчетных показателей физико-технических свойств газобетона.

Результаты. Применение аморфизированного алюмосиликатного сырья в газобетоне автоклавного твердения позволило изменять критерии пористой структуры: однородность распределения пор в объеме, толщину межпоровой перегородки, плотность межпоровой перегородки, форму и размер пор. При снижении плотности изделия на 22,5% снижение коэффициента теплопроводности составило 19,26%. Установлено, что формирование ячеистой структуры с преимущественно замкнутыми порами позволяет снизить сорбционную влажность материала, повысить стойкость к сопротивлению паропроницаемости при различных изменениях влажности воздушной окружающей среды. Наличие в структуре газобетона пор различного диаметра с преобладанием мелких пор размером от 0,3 до 0,9 мкм, а также пор размером меньше 94,6 нм позволяет повысить индекс изоляции воздушного шума с улучшением показателей поглощения звуковой волны в диапазоне частот 125–4000 Гц и в комплексе способствует достижению высоких звукоизолирующих показателей ограждающих стеновых конструкций.

Обсуждение и заключение. Регулирование теплозвукоизоляционных свойств газобетона за счет оптимизации его пористой структуры позволяет создавать энергоэффективный строительный композит, способный защищать человека от неблагоприятных факторов окружающей среды в условиях транспортных предприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ячеистый бетон автоклавного твердения, энергоэффективность, теплопроводность, звукоизоляция, экология.

Исследование выполнено за счет средств Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы, Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, тема 7.5.1.; программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова с использованием оборудования на базе Центра Высочайших Технологий, БГТУ им. В.Г. Шухова.

© Е.В. Фомина, В.С. Лесовик, И.В. Лашина



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

GAS CONCRETE FOR CONSTRUCTION OBJECTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

E.V. Fomina, V.S. Lesovik, I.V.

Lashina Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov,
Belgorod, Russia

ABSTRACT

Introduction. Construction objects of transport infrastructure have different influence and service conditions. An actual technical task is the design of optimal microclimate for human operation in workshops and office buildings. Therefore, such conditions can be achieved by using of construction material with high parameters of heat- and sound-insulation such as a gas concrete. The main task of the research is the improvement of heat- and sound-insulation in the gas concrete.

Materials and methods. The evaluation of the gas concrete efficiency is based on the research of such parameters as heat- and sound-insulation. The analysis of the material at macro- and micro-level is performed with SEM-analysis and BET-analysis. In addition, the complex of experimental and calculated data of physical and chemical characteristics for gas concrete is carried out.

Results. As a result, the usage of amorphous alum inosilicate raw materials in gas concrete allows variation of parameters to effect on pore structure such as homogeneous pore distribution in bulk, thickness and density of interpore partition, pore shape and pore size. The reduction of aerated concrete density by 22.5 % leads to reducing of heat conductivity by 19.26 %. The formation of cellular structure with mainly closed pores allows reducing of sorption humidity and vapor permeability of material under different environmental humidity.

Differently-sized pores in the gas concrete and predominantly small pores with size of 0.3–0.9 mm as well as with size up to 94,6 nm leads to increasing isolation index of airborne sound due to increasing of absorption of acoustic wave in frequency range of 125–4000 Hz. Complexly, it provides high sound-insulating parameters of wall envelopes.

Discussion and conclusions. Monitoring of heat- and sound-insolation of the gas concrete due to optimization of pore structure allows formation of energy effective composites able to protect humans from unfavorable environment in the transport enterprises.

KEYWORDS: gas concrete, energy efficiency, heat conductivity, sound insulation, ecology.

The research was carried out at the expense of the “Development of Science and Technologies” state program of the Russian Federation for 2013–2020, of the program for basic research of the State Academies of Science for 2013–2020 and as part of the basic research plan of the Ministry of Construction in Russia and the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. The topic number is 7.5.1. Development programs are presented on the basis of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov by using equipment base of the High Technologies Center of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov.

© E.V. Fomina, V.S. Lesovik, I.V. Lashina



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Современная номенклатура строительных изделий должна отвечать повышенным требованиям в соответствии с территориальной расположенностью проектируемого строительного объекта и условиями его эксплуатации. При выборе строительного композита необходимо обеспечить создание системы зданий и сооружений, формирующих пространственную среду, качественную и безопасную для жизни и деятельности людей [1]. Кроме высоких технико-эксплуатационных характеристик, строительный композит должен обладать эстетической ценностью и удовлетворять требованиям развития современной архитектуры [2]. При эксплуатации в условиях агрессивной городской среды материал приобретает свойство «эмерджентности», что при эксплуатации проявляется в его быстром износе, коррозионном разрушении, деформации и разрушении материалов.

Композиты, способные приспосабливаться в условиях их эксплуатации, являются решением экономических и социальных аспектов. В России эти вопросы актуальны при развитии умных городов «Smart City» [3], решения масштабных задач социально-экономического освоения Арктики [4], строительство и ввод в эксплуатацию объектов обороны.

Особые требования предъявляются к строительным композитам, которые применяются при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры (железнодорожных сортировочных станций, депо, диспетчерских, автобусных, троллейбусных и трамвайных парков и т.п.). В этом случае согласно СП 51.13330.2011 для соблюдения санитарно-защитных зон в первую очередь необходимы звукопоглощающие конструкции. Всемирной организацией здравоохранения отмечается, что постоянное воздействие на человека шума громкостью выше 50 дБ вызывает болезни сосудистой системы и повышает риск инфарктов. Среднесуточный суммарный уровень шума в окрестностях транспортных предприятий составляет 50–90 дБ, при этом уровень шума автобусных парков 85–92 дБ, шум от движения трамвая 70–80 дБ.

Одним из приоритетных направлений современного развития мировой экономики является повышение энергоэффективности материалов строительной индустрии, что имеет важное значение и для строительных объектов, обеспечивающих техническую и административную деятельность. При проектировании, создании, модернизации и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры необходимым

фактором также является улучшение технико-экономических показателей зданий путем снижения их веса, материалоемкости и обеспечение необходимых теплозвукоизоляционных свойств для создания оптимального микроклимата, что имеет большое значение в поддержании хорошего самочувствия, работоспособности и здоровья человека [5,6,7]. В условиях существующих жестких требований к энергосбережению и тепловой защите зданий, а также с повышением требований к качеству окружающей среды в эксплуатируемых помещениях оптимальным вариантом конструктивного решения для строительства объектов транспортной инфраструктуры являются блоки из автоклавного ячеистого бетона. На сегодняшний день ячеистый бетон автоклавного твердения уже зарекомендовал себя как универсальный строительный материал, производимый по экологически чистой технологии, благодаря чему входит в концепцию «зеленого строительства» [8,9]. Существенный технический и экономический эффект применения автоклавного ячеистого бетона при строительстве объектов транспортной сферы может быть основан на уникальном сочетании теплозвукоизоляционных свойств. Регулировать теплозвукоизоляционные свойства газобетона возможно за счет изменения пористости, в частности, за счет оптимизации следующих характеристик ячеистой структуры: однородность распределения пористости в объеме материала, толщину межпоровых перегородок, плотность межпоровых перегородок, форму пор, характер внутренней поверхности пор [10, 11].

При регулировании физико-механических показателей строительных композитов важная роль отводится генетическим особенностям сырья, слагающего композит [12,13,14,15]. Современные исследования базируются на получении новых знаний и изучении новых явлений при оценке качества сырья природного и техногенного генезиса, максимального раскрытия его энергетического потенциала [16,17,18,19]. Решение этих вопросов лежит в области трансдисциплинарных исследований в рамках развития научного направления «геоника (геомиметика)». Геоника предполагает системный подход к решению данных проблем в рамках единого преобразования неорганического мира и оптимизации системы «человек – материал – среда обитания» [1, 20,21,22].

По результатам некоторых работ увеличение количества мелких пор (до 1 мкм) и равномерное распределение их различного диаметра по объему материала позволяет повысить эффективность акустических свойств [23, 24].

Однако традиционно выпускаемые материалы не в полной мере удовлетворяют потребностям. Так, в производстве автоклавного ячеистого бетона не всегда удается достичь необходимой пористости и сохранить требуемые прочностные свойства. В связи с этим и с учетом условий его эксплуатации в транспортной инфраструктуре необходимо внедрение новых разработок, направленных на усовершенствование качества теплозвукоизоляции.

В ранее проведенных нами исследованиях была установлена эффективность применения в составе ячеистого бетона автоклавного твердения алюмосиликатных пород. В результате удалось получить конкурентоспособный продукт за счет снижения плотности изделия на 20% и повышении прочности структуры ячеистого композита на 35% [25].

В данной работе будет произведена оценка энергоэффективности полученного ранее материала по теплоизоляционным и звукоизоляционным показателям, что является необходимым при проектировании, реконструкции и ремонте объектов транспортной инфраструктуры, а также позволит расширить области внедрения инновационных разработок строительного материаловедения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы ячеистых бетонов формовались размером 100×100×100 мм. Автоклавная обработка проводилась при температуре 183°C по режиму: продувка автоклава – 40 мин, подъем давления пара до 10 атм. – 1 ч, вы-

держка при рабочем давлении – 5 ч, снижение давления пара – 2 ч.

Микроструктура образцов изучалась при помощи высокоразрешающего растрового электронного микроскопа (РЭМ) «Хитачи S-800».

Для изучения пористости ячеистого бетона на микроуровне использовали метод газовой адсорбции с использованием прибора SoftSorbi-II ver.1.0.

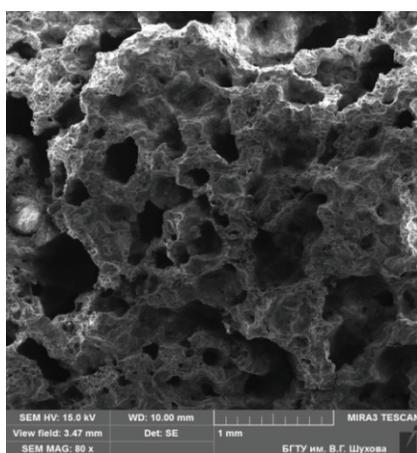
Измерение теплопроводности производили ИТП-МГ4 «Зонд» (СКБ «Стройприбор») методом цилиндрического зонда согласно ГОСТ 30256–94. Паропроницаемость и сорбционную влажность материала измеряли согласно стандартным методикам по ГОСТ 25898–83 и ГОСТ 24816–81.

Определение частотной характеристики звукоизолирующей способности производили при помощи интерферометра [26].

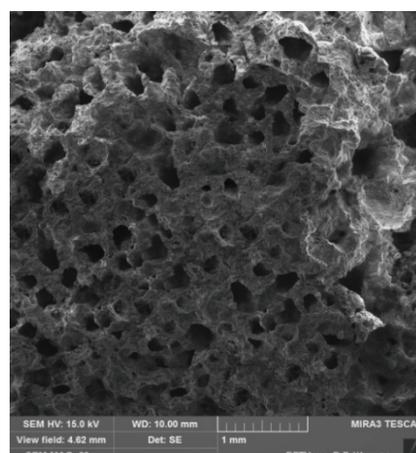
РЕЗУЛЬТАТЫ

За контрольный принят состав бетона, соответствующий марке D500 с классом прочности до В2,5. Состав разработанного ячеистого бетона отличается от контрольного заменой 15% кварцевого песка на алюмосиликатную породу – перлит, – содержащую в своем составе до 80% аморфного кремнезема [16], что позволило снизить плотность изделия на 22,5%, при увеличении прочности на 31%.

При оценке макроструктуры материала, представленной на рисунке 1, очевидны отличия разработанного бетона от традиционного, отмечается образование большего количества



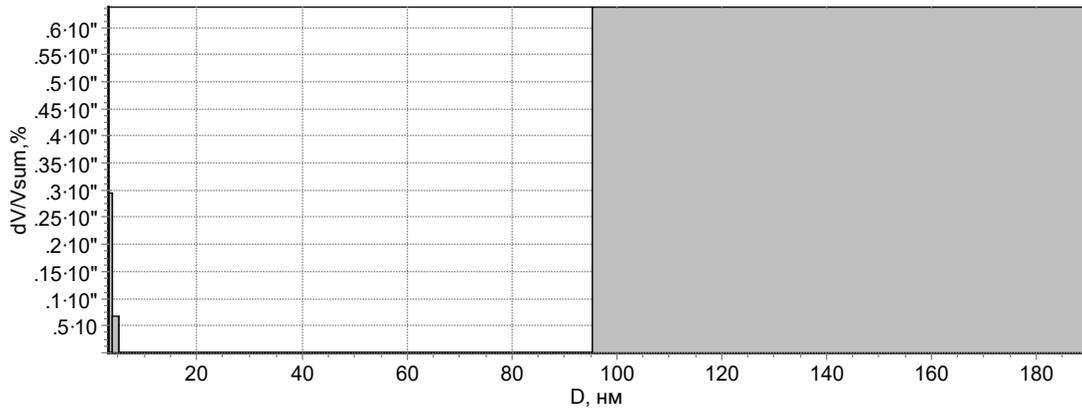
а



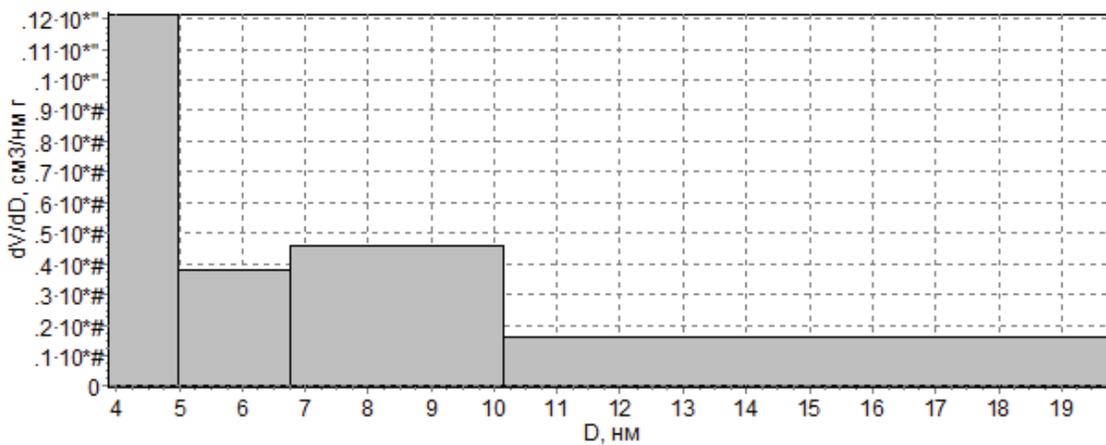
б

Рисунок 1 – Макроструктура ячеистых изделий:
а – контрольный газобетон, б – газобетон на алюмосиликатном сырье

Figure 1 – Macrostructure of cellular composites:
a – control gas concrete, b – gas concrete on the basis of aluminosilicate raw materials



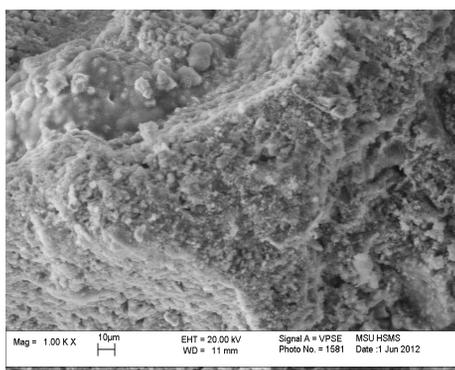
а



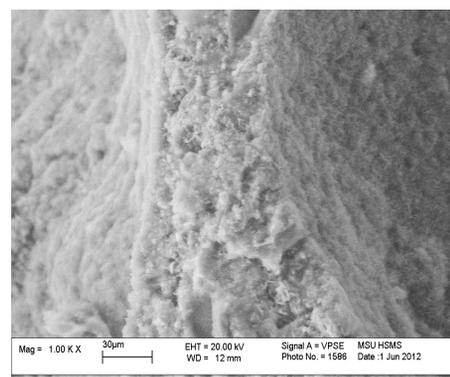
б

Рисунок 2 – Распределение нанопористости образцов:
а – контрольный газобетон, б – газобетон на алюмосиликатном сырье

Figure 2 – Nanoporosity distribution in:
а – control gas concrete, б – gas concrete on the basis of aluminosilicate raw materials



а



б

Рисунок 3 – Микроструктура межпоровой перегородки ячеистых изделий:
а – контрольный газобетон, б – газобетон на алюмосиликатном сырье

Figure 3 – Microstructure of inter-pore partition in cellular concrete: а – control gas concrete, б – gas concrete on the basis of aluminosilicate raw materials

замкнутых и равномерно распределенных пор различного диаметра по объему материала. На фоне общего увеличения объема пор образец пронизан микропорами, доминируют мелкие равномерно распределенные поры размером от 0,3 до 0,9 мм (рисунок 1, б).

Согласно анализу распределения пор на микроуровне отмечается увеличение общей пористости материала со сдвигом в область нанометрического диапазона (рисунок 2, б). Так, объем пор с радиусом меньше 94,6 нм в контрольном бетоне составил 0,007 см³/г, в газобетоне на основе алюмосиликатного сырья этот показатель увеличивается до 0,015 см³/г с распределением пор различного диаметра.

Следует отметить, что в газобетоне на алюмосиликатном сырье микроструктура межпоровой перегородки и поверхность пор покрыта плотным слоем новообразований игольчатой морфологии, армирующих структуру в более прочный массив, это позволяет снизить усадочные деформации (рисунок 2, б). Снижение усадочных деформаций вяжущего, повышение плотности межпоровой перегородки и минимизация дефектности структуры позволяет увеличить количество пор по объему бетона с преимущественно замкнутыми округлыми порами.

Строительные объекты транспортной инфраструктуры имеют различное назначение и отличаются условиями эксплуатации, при которых необходимо соблюдать условия оптимального микроклимата. В гаражном боксе при хранении транспорта необходима низкая влажность и постоянная температура, что является необходимым для предотвращения

ускоренной амортизации и развития коррозионных процессов металла. В ремонтных боксах и административных зданиях необходимо создание микроклимата, способствующему хорошему самочувствию, работоспособности и здоровью человека.

Исходя из поставленных задач, в качестве типовых условий эксплуатации строительных объектов транспортной инфраструктуры из разработанного материала производили расчет его теплофизических свойств в сравнении с контрольным газобетоном. Влажность воздуха принимали исходя из значений СНиП III-3-79, которые колеблются в зависимости от климатических сезонных условий для зоны А – 80%, для зоны Б – 97%. Вычисление сорбционной влажности материала в условиях эксплуатации строительных объектов производили согласно построенным изотермам сорбции при средней температуре (19±1)°С согласно ГОСТ 24816–2014.

По результатам расчетов сорбционная влажность газобетона на алюмосиликатном сырье меньше показателей контрольного газобетона. Это можно объяснить созданием ячеистой структуры с преимущественно замкнутыми порами, а также более плотной матрицей поверхности пор (см.рисунки 1,б; 2,б) за счет чего уменьшается количество выступающих активных центров адсорбирующих влагу, что приводит к некоторому снижению сорбции (таблица 1).

В связи с тем что применение ячеистого бетона планируется в наружных ограждениях, ограниченных нормальными режимами кли-

ТАБЛИЦА 1
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛИ СВОЙСТВ БЕТОНОВ
TABLE 1
PHYSICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE CONCRETE

Изделие	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Теплопроводность, λ Вт/м·°С			Коэффициент паропроницаемости бетона μ, мг/(м·ч·Па)	Сорбционная влажность, %	
			в сухом состоянии, λ ₀	Расчетные коэффициенты			при влажности воздуха А	при влажности воздуха Б
				при влажности, λ _А	при влажности, λ _Б			
Контрольный газобетон	562,7	2,72	0,135	0,150	0,163	0,205	1,25	4,20
Газобетон на алюмосиликатном сырье	435,7	3,57	0,109	0,110	0,111	0,210	1,12	3,98
ГОСТ 31359-2007	500	До 2,5	0,120	–	–	Не менее 0,200		

ТАБЛИЦА 2
РАСЧЕТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ
TABLE 2
CALCULATED VALUES OF THE SOUND INSULATION

Кладка блоков толщиной 200 мм	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ	
	Без отделки	Отделка цементно-песчаной штукатуркой 20 мм с двух сторон
Контрольный газобетон	43	54
Газобетон на алюмосиликатном сырье	48	57
СП 23-103-2003	Предельно допустимый для пребывания человека в промышленной зоне 48	

матических изменений, для расчета коэффициентов теплопроводности брались усредненные значения эксплуатационной влажности для зоны А – 1%, для зоны Б – 4%. Расчет теплопроводности производили согласно ГОСТ 54855–2011.

Согласно нормативным требованиям по ГОСТ 31359–2007 для газобетона, соответствующему марке D500 с классом прочности до B2,5, коэффициент паропроницаемости μ должен быть не менее 0,200 мг/(м·ч·Па). Экспериментально полученные значения контрольного бетона, полученного по традиционной технологии $\mu = 0,205$ мг/(м·ч·Па), у разработанного материала на алюмосиликатном сырье сопротивление паропроницанию немного выше $\mu = 0,210$ мг/(м·ч·Па), что обеспечивает ему хорошие теплоизоляционные характеристики с получением более низких показателей теплопроводности фактических и расчетных (см .таблицу 1).

Оценку акустических характеристик конструкции из газобетона на алюмосиликатном сырье определяли согласно ориентировочному расчетному индексу изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями сплошного сечения в соответствии с СП 23-103-2003. По формуле

$$R_w = 37 \cdot \lg(m) + 55 \lg(K) - 43, \text{ дБ},$$

где R_w – индекс изоляции воздушного шума;
 $m = \rho_{\text{кп}} \cdot h$ – поверхностная плотность стены, кг/м²;
 $\rho_{\text{кп}}$ – плотность кладки;
 h – толщина кладки;
 K – коэффициент, учитывающий улучшение звукоизоляции благодаря увеличению изгибной жесткости и внутреннего трения газобетонного ограждения по отношению к контракциям из тяжелого бетона с той же поверхностной

плотностью $k = 1,75$ (коэффициент был вычислен методом интерполяции).

Расчет производили для блока толщиной 200 мм, уложенного в кладку на клей без отделки и с отделкой цементно-песчаной штукатуркой.

Исходя из СП 23-103-2003 требуемая звукоизоляция ограждающих стеновых конструкций, отделяющих защищаемые от воздушного шума рабочие помещения и от помещений с источниками шума, для создания высококомфортных условий – 54 дБ, для комфортных условий – 52 дБ. Согласно расчетным данным, представленным в таблице 2, индекс изоляции воздушного шума разработанного бетона соответствует нормативным показателям. Для усиления звукоизоляции стен и создания высококомфортных условий пребывания человека в рабочих помещениях из разработанного бетона рекомендуется дополнительная отделка цементно-песчаной штукатуркой.

На основании экспериментальных измерений были построены частотные характеристики звукоизоляции, с помощью которых определяли способность материала к задержанию (поглощению) звуковой волны в диапазоне частот 125–4000 Гц.

Установлено повышение коэффициента звукопоглощения газобетона на алюмосиликатном сырье в октавных полосах указанного диапазона частот. Структурная особенность полученного бетона заключается в наличии большего количества пор различного диаметра с преобладанием мелких пор. При прохождении звуковой волны через материал она приводит воздух, заключенный в его порах, в колебательное движение, и мелкие поры создают большее сопротивление, чем крупные, поэтому тормозится движение воздуха и в результате трения часть механической энергии превращается в тепловую [24]. В комплексе

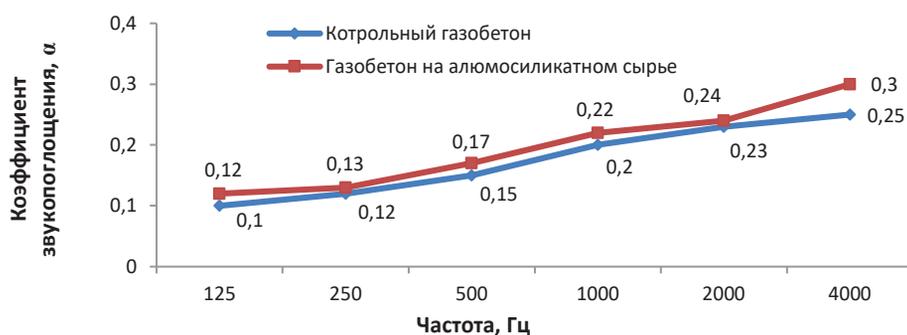


Рисунок 4 – Звукопоглощающие свойства контрольного газобетона и газобетона на алюмосиликатном сырье

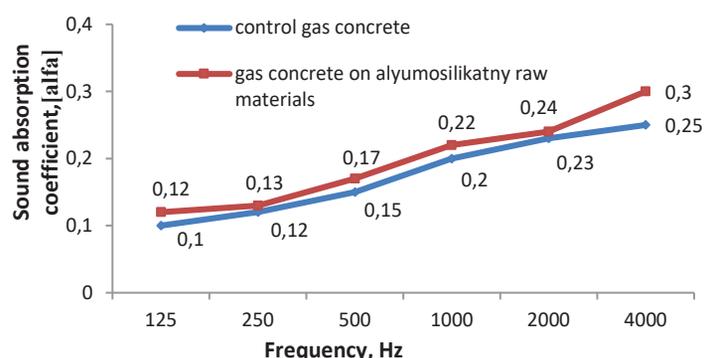


Figure 4 – Sound absorption characteristics for control gas concrete and gas concrete on the basis of aluminosilicate raw materials

это способствует достижению высоких звукоизолирующих показателей разработанного материала.

В совокупности факторов изменение структурных особенностей ячеистого бетона обеспечивает его функциональность при использовании в строительных объектах транспортной инфраструктуры, выполняет все условия современных строительных норм и правил в части требований к тепловой защите зданий в целях экономии энергии и оптимизации микроклимата помещений.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование в структуре газобетона на алюмосиликатном сырье замкнутых пор, равномерно распределенных по объему массива, позволило снизить плотность с 562,7 до 435,7 кг/м³. Армирование микроструктуры кристаллическими новообразованиями преимущественно игольчатой морфологии способствует повышению прочности газобетона,

минимизации дефектности его структуры и позволяет повысить прочность изделия на 31%, снизить сорбционную влажность на 10% и повысить сопротивление паропроницаемости. Получение пор различного диаметра, а также увеличение количества разноразмерных пор на микро- и наноуровне отразилось на снижении коэффициента теплопроводности в различных условиях изменения воздушной влажности окружающей среды, что позволяет рекомендовать его для возведения построек промышленного и складского назначения, гаражные боксы для хранения и мелкого ремонта без дополнительного утепления. Улучшенные акустические характеристики разработанного бетона делают этот материал незаменимым для защиты от воздушного шума работников транспортных предприятий. В совокупности факторов разработанный ячеистый бетон с комплексом усовершенствованных свойств является энергоэффективным и рациональным архитектурно-планировочным решением

при проектировании, создании, модернизации и эксплуатации строительных объектов транспортной инфраструктуры и выполняет все условия современных строительных норм и правил в части требований к тепловой защите зданий в целях экономии энергии и оптимизации микроклимата помещений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении : монография / В.С. Лесовик. 2-е изд., доп. Белгород : Изд-во БГТУ, 2016. 287 с.
2. Кожухова М.И., Фомина Е.В., Фомин А.Е. Фракталы как иерархический принцип организации в строительном материаловедении // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 18–23. DOI: 10.12737/article_5b4f02b20be876.03657115
3. Жуковский С.В., Сурков А.А., Кычкин А.В. Аспекты устойчивого развития высокотехнологичной городской среды // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 1 (25). С. 80–92. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.01.07
4. Из выступления Вице-преьера правительства России Дмитрия Рогозина на международном арктическом форуме «Арктика – территория диалога». 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://forumarctica.ru/news-from/dmitrij-rogozin-otkryliv-mezhdunarodnyj-arkticheskij-forum-arktiki-territoriya-dialoga/>.
5. Лесовик В.С., Першина И.Л. Медицинский аспект архитектурной геоники – влияние звуков на человека // Вестник физиотерапии и курортологии. 2017. Т. 23. № 4. С. 58–63. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30604211>
6. Fediuk R.S., Yevdokimova Y.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Y., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Volume 221, Issue 1. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012011
7. Rathi S.O., Khandve P.V. 2016. Cost effectiveness of using AAC blocks for building construction in residential building and public buildings // International Journal of Research in Engineering and Technology. Vol. 05, Issue 05. Pp. 517–520. https://www.researchgate.net/publication/292695374_Cost_Effectiveness_of_using_AAC_Blocks_for_Building_Construction
8. Rathi S.O., Khandve P.V. 2015. AAC Block – A New Eco-friendly Material for Construction // International Journal of Advance Engineering and Research Development. Vol. 2, Issue 4. Pp. 410–414. https://www.researchgate.net/publication/281064872_AAC_Block_-_A_New_Eco-friendly_Material_for_Construction
9. Гринфельд Г.И., Вишневецкий А.А., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона в России в 2017 году // Строительные материалы. 2018. № 3. С. 62–64. https://elibrary.ru/download/elibrary_32749401_33367593.pdf
10. Жук П.М., Жуков А.Д. Нормативная правовая база экологической оценки строительных материалов : перспективы совершенствования // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 4. С. 52–57. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-4-52-57
11. Fomina E.V., Chulenyov A.S., Kozhukhova N.I. Properties control in auto-clave aerated concrete by choosing of pore forming Al-agent // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. 032044. DOI: 1088/1757-899X/365/3/032044
12. Кожухова Н.И. Оценка фазово-размерной гетерогенности алюмосиликатного сырья // сб. докл. III Всерос. научно-технич. конф. «Инновационные материалы и технологии в дизайне». Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения. 2016. С. 57. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28185928>
13. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Глаголев Е.С., Вишневецкая Я.Ю. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих с учетом генезиса кремнеземсодержащего компонента. Монография. Белгород. Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. 91 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29667223>
14. Fomina E.V., Lesovik V.S., Fomin A.E., Kozhukhova N.I., Lebedev M.S. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties of autoclave aerated concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 042033. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042033
15. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса. М.: Изд-во АСВ, 2006. 526 с.
16. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Соболев К.Г. Влияние различий рентгено-аморфной фазы в составе низкокальциевых алю-

мосиликатов на прочностные характеристики геополлимерных систем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 4. С. 4–12. DOI: 10.12737/article_5ac24a276fc102.09159142

17. Shekhovtsova J., Kovtun M., Kearsley E., Zhernovsky I., Kozhukhova N., Zhernovskaya I. Estimation of fly ash reactivity for use in alkali-activated cements – a step towards sustainable building material and waste utilization // Journal of Cleaner Production. 2018. Т. 178. pp. 22–33. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.270

18. Алфимова Н.И., Шадский Е.Е., Никифорова Н.А. Эффективность использования органо-минерального модификатора на основе вулканогенно-осадочных пород // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 120–128. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26459486>

19. Лесовик В.С., Фомина Е.В. Кристаллогенетические аспекты техногенного метасоматоза в строительном материаловедении // сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию заслуж. деятеля науки РФ, члена-корр. РААСН, д.т.н., проф. В.С. Лесовика «Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства». Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 151–156. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26520782>

20. Fediuk R.S., Yevdokimova Y.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Y., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures // VIII International scientific practical conference innovative technologies in engineering. 2017. Vol. 221. UNSP 012011. DOI:10.1088/1757-899X/221/1/012011.

21. Малова Е.Ю., Козлова В.К., Верещагин В.И., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Павлова А.Н. Геоника: от геохимии деферрита, спуррита и их аналогов к созданию искусственных материалов на основе цементных систем // Ползуновский вестник. 2017. № 1. С. 78–83. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29431978>

22. Верещагин В.И., Рихванов Л.И., Саркисов Ю.С., Асосков Ю.Ф., Смирнов А.А. Синергетические принципы создания строительных и композиционных материалов полифункционального назначения // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 351. № 3. С. 12–15. <https://elibrary.ru/item.asp?id=13010204>

23. Laukaitis A. Acoustical Properties of Aerated Autoclaved Concrete Article in Applied

Acoustics. 2006. Vol. 67(3). Pp. 284–296. DOI: 10.1016/j.apacoust. 2005.07.003.

24. Вайсера Г.С., Пучка О.В., Лесовик В.С., Бессонов И.В., Алексеев С.В. Влияние влаго-содержания, воздухопроницаемости и плотности материала на его звукопоглощающие характеристики // Строительные материалы. 2017. № 6. С. 24–27. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29452557>

25. Фомина Е.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Особенности фазообразования силикатных ячеистых изделий автоклавного твердения с алюмосиликатным сырьем // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 38–39. <https://elibrary.ru/item.asp?id=18124619>

26. Радоцкий В.Ю., Ветрова Ю.В. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизолирующей способности теплоизоляционных плит на основе пеностекла // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 45–48. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23872759>

REFERENCES

1. Lesovik V.S. *Geonika (geomimetika). Primery realizacii v stroitel'nom materialovedenii*. [Geonickname (geomimetics). Examples of realization in construction materials science]. Belgorod: BSTU. 2016. 287 p (in Russian).

2. Kozhukhova M.I., Fomina E.V., Fomin A.E. Fraktaly kak ierarhicheskij princip organizacii v stroitel'nom materialovedenii [Fractals as a principle of hierarchical structure formation in construction material science]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2018, no 7, pp. 18–23 (in Russian). DOI: 10.12737/article_5b4f02b-20be876.03657115

3. Zhukovsky S.V., Surkov A.A., Kychkin A.V. *Aspekty ustojchivogo razvitiya vysokotekhnologichnoj gorodskoj sredy* [Aspects of sustainable development of the hi-tech urban environment]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ehkologiya. Urbanistika*, 2017, no 1 (25), pp. 80–92 (in Russian). DOI: 10.15593/2409-5125/2017.01.07

4. From a speech of the Deputy Prime Minister of the Government of the Russian Federation Dmitry Rogozin at the international Arctic forum “Arctic – Territory of Dialogue” 2017 [An electronic resource]. Available at: <http://forumarctica.ru/news-from/dmitrij-rogozin-ot->

kryl-iv-mezhdunarodnyj-arkticheskij-forum-arktika-territoriya-dialoga/. (accesse d: 3.10.2018) (in Russian).

5. Lesovik V.S., Pershina I.L. *Medicinskij aspekt arhitekturnoj geoniki – vliyanie zvukov na cheloveka* [Medical aspect architectural geonicknames – influence of sounds on the person]. *Vestnik fizioterapii i kurortologii*, 2017, T. 23, no 4, pp. 58–63 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=30604211>

6. Fediuk R.S., Yevdokimova Y.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Y., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. Vol. 221, Issue 1. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012011.

7. Rathi O., Khandve P.V. 2016. Cost effectiveness of using AAC blocks for building construction in residential building and public buildings // International Journal of Research in Engineering and Technology. Vol. 05, Issue 05, pp. 517–520. https://www.researchgate.net/publication/292695374_Cost_Effectiveness_of_using_AAC_Blocks_for_Building_Construction.

8. Rathi S.O., Khandve P.V. 2015. AAC Block – A New Eco-friendly Material for Construction // International Journal of Advance Engineering and Research Development. Vol. 2, Issue 4, pp. 410–414. https://www.researchgate.net/publication/281064872_AAC_Block_-_A_New_Eco-friendly_Material_for_Construction.

9. Grinfeld G.I., Vishnevsky A.A., Smirnova A. S. *Proizvodstvo avtoklavnogo gazobetona v Rossii v 2017 godu* [Production of the gas concrete in Russia in 2017]. *Stroitel'nye Materialy*, 2018, no 3, pp. 62–64 (in Russian). https://elibrary.ru/download/elibrary_32749401_33367593.pdf.

10. Zhuk P.M., Zhukov A.D. *Normativnaya pravovaya baza ehkologicheskoy ocenki stroitel'nykh materialov: perspektivy sovershenstvovaniya* [Regulatory legal base of ecological assessment of construction materials: prospects of improvement]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2018, T. 22, no 4, pp. 52–57 (in Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2018-4-52-57.

11. Fomina E.V., Chulenyov A.S., Kozhukhova N.I. Properties control in auto-clave aerated concrete by choosing of pore forming Al-agent // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. 03204410. DOI: 1088/1757-899X/365/3/032044.

12. Kozhukhova N.I. *Ocenka fazovo-razmernoj geterogennosti alyumosilikatnogo*

syr'ya [Assessment of phase and dimensional heterogeneity of alyumosilikatny raw materials]. The international scientific and practical conference *Innovacionnye materialy i tekhnologii v dizajne* [Innovative materials and technologies in design]. St. Petersburg state institute of cinema and television. 2016. Page 57 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=28185928>.

13. Alfimova N.I., Lesovik V.S., Glagolev E.S., Vishnevskaya Ya.Yu. *Optimizaciya uslovij tverdeniya kompozicionnykh vyazhushchih s uchetom genezisa kremnezemsoderzhashchego komponenta* [Optimization of conditions of curing composite knitting taking into account genesis of a kremnezemsoderzhashchy component]. Monograph. Belgorod. BGTU publishing house of V.G. Shukhov. 2016. 91 p. (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=29667223>.

14. Fomina E.V., Lesovik V.S., Fomin A.E., Kozhukhova N.I., Lebedev M.S. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties of autoclave aerated concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 042033. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042033.

15. Lesovik V.S. *Povyshenie ehffektivnosti proizvodstva stroitel'nykh materialov s uchetom genezisa* [Enhancement of efficiency of construction materials production taking into account genesis of applied rocks]. Scientific publication. 2006. Moscow: ACB, 526 p. (in Russian).

16. Kozhukhova N.I., Zhernovskiy I.V., Sobolev K.G. *Vliyanie razlichij rentgeno-amorfnoj fazy v sostave nizkokal'cievykh alyumosilikatov na prochnostnye harakteristiki geopolimernykh sistem* [Influence of distinctions of a X-ray-amorphous phase as a part of low-calcic aluminosilicates on strength characteristics of geopolymeric systems]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2018, no 4, pp. 4–12 (in Russian). DOI: 10.12737/article_5ac24a276fc102.09159142.

17. Shekhovtsova J., Kovtun M., Kearsley E., Zhernovskiy I., Kozhukhova N., Zhernovskaya I. Estimation of fly ash reactivity for use in alkali-activated cements – a step towards sustainable building material and waste utilization // Journal of Cleaner Production. 2018. T. 178. pp. 22–33. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.270.

18. Alfimova N.I., Shadsky E.E., Nikiforova N.A. *Ehffektivnost' ispol'zovaniya organo-mineral'nogo modifikatora na osnove vulkanogenno-osadochnykh porod* [Efficiency of the organo-mineral modifier usage on the basis of volcanogenic and sedimentary breeds]. *Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*,

2016, no 2 (17), pp. 120–128 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=26459486>.

19. Lesovik V.S., Fomina E.V. *Kristallogeneticheskie aspekty tekhnogenogo metasomatoza v stroitel'nom materialovedenii* [Crystal and genetically aspects of a technogenic metasomatic in construction materials science]. The international scientific and practical conference devoted to the 70 anniversary of the honored worker of science of the Russian Federation, the corresponding member of PAACH, the Doctor of Engineering, prof. V. S. Lesovik. *Intellectual'nye stroitel'nye kompozity dlya zelenogo stroitel'stva* [Intellectual construction composites for green construction]. Belgorod: BGTU of V.G. Shukhov. 2016. pp. 151–156 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=26520782>.

20. Fediuk R.S., Yevdokimova Y.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Y., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures // VIII International scientific practical conference innovative technologies in engineering. 2017. Vol. 221. UNSP 012011. DOI:10.1088/1757-899X/221/1/012011.

21. Malova E.Yu., Kozlova V.K., Vereshchagin V.I., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Pavlova of A.N. *Geonika: ot geohimii defernita, spurrita i ih analogov k sozdaniyu iskusstvennykh materialov na osnove cementnykh sistem* [Genic: from geochemistry of the defernit, the spurred and their analogs to creation of artificial materials on the basis of cement systems]. *Polzunovskij vestnik*, 2017, no 1, pp. 78–83 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=29431978>.

22. Vereshchagin V.I., Rikhvanov L.I., Sarkisov Yu.S., Asoskov Yu.F., Smirnov A.A. *Sinergeticheskie principy sozdaniya stroitel'nykh i kompozitsionnykh materialov polifunktsional'nogo naznacheniya* [Synergetic principles of creation of construction and composite materials of multifunctional appointment]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2009, T. 351. no 3, pp. 12–15 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=13010204>.

23. Laukaitis A. Acoustical Properties of Aerated Autoclaved Concrete Article in Applied Acoustics. 2006. Vol. 67(3). pp. 284–296. DOI: 10.1016/j.apacoust.2005.07.003.

24. Waiser G.S., Bunch O.V., Lesovik V.S., Bessonov I.V., Alekseev S.V. *Vliyanie vlagosoderzhaniya, vozduhopronicaemosti i plotnosti materiala na ego zvukopogloshchayushchie harakteristiki* [Influence of moisture content, air permeability and density of material on its

sound-absorbing characteristics]. *Stroitel'nye Materialy*, 2017, no 6, pp. 24–27 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=29452557>.

25. Fomina E.V., Zhernovsky I.V., Strokovva V.V. *Osobennosti fazoobrazovaniya silikatnykh yacheistyykh izdelij avtoklavnogo tverdeniya s alyumosilikatnym syr'em* [Features of a fazoobrazovaniye of silicate cellular products of autoclave curing with aluminosilicate raw materials]. *Stroitel'nye Materialy*, 2012, no 9, pp. 38–39 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=18124619>.

26. Radoutsky V.Yu., Vetrova Yu.V. *Teoreticheskie i ehksperimental'nye issledovaniya zvukoizoliruyushchej sposobnosti teploizolyatsionnykh plit na osnove penostekla* [Theoretical and pilot studies of the soundproofing ability of heat-insulating plates on the basis of foamglass]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2015, no 5, pp. 45–48 (in Russian). <https://elibrary.ru/item.asp?id=23872759>.

Поступила 13.09.2018, принята к публикации 19.10.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фомина Екатерина Викторовна – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0003-0542-0963, WoS ResearcherID T-3215-2018, Scopus AuthorID 55857656600, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова), (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, e-mail: fomina.katerina@mail.ru).

Лесовик Валерий Станиславович – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой, Scopus AuthorID 55887733300, WoS ResearcherID A-4757-2016, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова), (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. E-mail: naukavs@mail.ru).

Лашина Ирина Владимировна – аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова), (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. E-mail: lashina.irishka@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Fomina Ekaterina Victorovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ORCID 0000-0003-0542-0963, WoS Researcher ID T-3215-2018, Scopus Author ID 55857656600, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia, Belgorod, 46, Kostyukova St., e-mail: fo-mina.katerina@mail.ru).

Lesovik Valery Stanislavovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Scopus Author ID 55887733300, WoS Researcher ID A-4757-2016, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia, Belgorod, 46, Kostyukova St., e-mail: naukavs@mail.ru).

Lashina Irina Vladimirovna – Graduate Student, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia, Belgorod, 46, Kostyukova St., e-mail: lashina.irishka@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Каждый автор внес равную долю участия в теоретические и экспериментальные разделы статьи.

AUTHORS CONTRIBUTION

Each author has equal share to theoretical and experimental sections of the paper.