

# ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА



УДК 536.2.022

DOI:10.30724/1998-9903-2022-24-6-124-132

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ЛЁГКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ДИАТОМИТОВЫХ ПОРОД И ПРИБОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Сеницын<sup>1</sup> А.А., Соловьева<sup>2</sup> О.В.\*, Ахметова<sup>2</sup> И.Г., Ваньков<sup>2</sup> Ю.В.,  
Закревская<sup>3</sup> Л.В., Ананьев<sup>3</sup> М.С., Шакурова<sup>2</sup> Р.З.

<sup>1</sup>Вологодский государственный университет, г. Вологда, Россия

<sup>2</sup>Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Россия

<sup>3</sup>Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича  
и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия

ORCID\*: <http://orcid.org/0000-0002-4757-6387>, [solovyeva.ov@kgeu.ru](mailto:solovyeva.ov@kgeu.ru)

**Резюме:** *ЦЕЛЬ.* Одним из направлений энергосбережения и повышения энергетической эффективности является снижение потребления топливно-энергетических ресурсов. Большое количество тепловой энергии расходуется на обогрев зданий и сооружений в отопительный период. При этом часть тепла, предназначенного для отопления помещений, рассеивается через ограждающие конструкции зданий (стены, полы, крыши, окна). В случае высоких тепловых потерь, необходимо восполнять тепловую энергию путем сжигания дополнительного количества топлива. Для снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции применяются различные теплоизоляционные материалы с низким значением теплопроводности. Целью настоящих исследований стало изучение проблемы разработки технологии лёгких бетонов на основе диатомитовых пород, а также возникающих при его создании неравномерных включений наполнителя из микросферических гранул, оценка влияния наличия зон, не занятых микрогранулами, на изоляционные свойства композитного материала, а также определение влияния объемного содержания микросферических гранул на величину теплопроводности. *МЕТОДЫ.* В настоящей работе проведено исследование получения легкого конструкционного бетона с пористым заполнителем, синтезированным из диатомитовых пород Владимирской области, а также влияния наличия зон, не занятых микрогранулами, на изоляционные свойства композитного материала. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Результаты показали, что распределение микрогранул в матрице оказывает значительное влияние на изоляционные свойства композита, а наличие пустот в материале способствует тепловым потерям и снижению термического сопротивления материала. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Технология получения разработанного бетона не отличается от технологии производства бетонов высокого класса, что позволяет использовать широко распространённое оборудование для бетонов.

**Ключевые слова:** композитный материал; микрогранула; теплоизоляция; теплопроводность; бетон.

**Благодарности:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания №075-01262-22-01 от 28 января 2022 г. (Дополнительное соглашение 075-03-2022-151/1 с 31 января 2022 года).

**Для цитирования:** Сеницын А.А., Соловьева О.В., Ахметова И.Г., Ваньков Ю.В., Закревская Л.В., Ананьев М.С., Шакурова Р.З. Результаты разработки технологии лёгких бетонов на основе диатомитовых пород и приборное исследование его теплопроводности // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т.24. № 6. С. 124-132. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-6-124-132.

## RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF LIGHT-WEIGHT CONCRETE BASED ON DIATOMITE ROCKS AND INSTRUMENT STUDY OF ITS THERMAL CONDUCTIVITY

AA. Sinitsin<sup>1</sup>, OV. Soloveva<sup>2,\*</sup>, IG. Akhmetova<sup>2</sup>, YV. Vankov<sup>2</sup>, LV. Zakrevskaya<sup>3</sup>, MS. Ananiev<sup>3</sup>, RZ. Shakurova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vologda State University

<sup>2</sup>Kazan State Power Engineering University

<sup>3</sup>Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4757-6387>, [solovyeva.ov@kgeu.ru](mailto:solovyeva.ov@kgeu.ru)

**Abstract:** *THE PURPOSE.* One of the directions of energy saving and energy efficiency improvement is the reduction of consumption of fuel and energy resources. A large amount of thermal energy is spent on heating buildings and structures during the heating season. To reduce heat losses through the building envelope, various heat-insulating materials with low thermal conductivity are used. The purpose of this research was to study the problem of developing the technology of lightweight concrete based on diatomite rocks, as well as uneven inclusions of filler from microspherical granules arising during its creation, assessing the effect of the presence of zones not occupied by microgranules on the insulating properties of the composite material, as well as determining the effect of the volume content of microspherical granules on the value of thermal conductivity. *METHODS.* In this work, we studied the production of lightweight structural concrete with porous aggregate synthesized from diatomite rocks of the Vladimir region, as well as the effect of the presence of zones not occupied by microgranules on the insulating properties of the composite material. *RESULTS.* The results showed that the distribution of microgranules in the matrix has a significant effect on the insulating properties of the composite, and the presence of voids in the material contributes to heat losses and a decrease in the thermal resistance of the material. *CONCLUSION.* The technology for obtaining the developed concrete does not differ from the technology for the production of high-class concrete, which allows the use of widely used concrete equipment.

**Keywords:** *composite material; microgranule; thermal insulation; thermal conductivity; concrete.*

**Acknowledgments:** *This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment No. 075-01262-22-01 from 28 January 2022 (Additional agreement 075-03-2022-151/1 from 31 January 2022).*

**For citation:** Sinitsin AA, Soloveva OV, Akhmetova IG, Vankov YV, Zakrevskaya LV, Ananiev MS, Shakurova RZ. Results of the development of the technology of light-weight concrete based on diatomite rocks and instrument study of its thermal conductivity. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022;24(6):124-132. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-6-124-132.

### **Введение**

В настоящее время строительство в России расширяет свои горизонты, что подтверждается данными Росстат, которые говорят о том, что в 2022 году объем строительства вырос на 70% по сравнению с 2021 годом, а за январь — сентябрь 2022 года объем жилищного строительства в России составил 79,1 млн кв. м. Этот показатель на 26,5% превышает результаты аналогичного периода предыдущего года. В связи с этим спрос на строительные материалы растет. Наиболее важными критериями строительных материалов являются их экологичность, прочность, долговечность, надежность и стоимость [1].

В связи с политикой строительства, проводимой в России в последнее время, а конкретно – ФЗ № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергоэффективности и внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ», особое внимание стоит уделить теплоизоляции зданий. Данный аспект способствует созданию новых строительных материалов из местных ресурсов с низкой конечной себестоимостью, что обуславливает актуальность работы [2]. Кроме того, нельзя не заметить, что все большую популярность набирает каркасное строительство. По данным аналитического обзора единого реестра застройщиков, на долю монолитно-блочного строительства приходится первое место и 33,6% всего строительства в России. При таком типе строительства наиболее удобным материалом для теплоизоляции являются легкие бетоны, так как они

выполняют одновременно и теплоизоляционную и ограждающую функции [3]. Мировой рынок композитных материалов в последние годы динамично развивается. По оценкам международных экспертов мировой рынок композитов в 2019 году составил более 99 млрд долл. в стоимостном выражении. Эксперты считают, что до 2027 года рынок композитов будет расширяться на 6,8% в год и по стоимости возрастет до 112 млрд долл. [4]. Высокие темпы развития рынка композиционных материалов, в том числе строительных и теплоизоляционных, определяются широким спектром их свойств, превосходящих свойства традиционных материалов, а также вариативным подходом к созданию изделия, начиная с моделирования его структуры, свойств и формы и заканчивая выбором технологий производства [5].

Кроме того, согласно 261-ФЗ «Об энергосбережении...», обозначена национальная задача снижения потребления ТЭР, в т.ч. снижение потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции зданий и сооружений [6]. Для снижения теплопотерь применяются различные теплоизоляционные материалы (минеральная вата, пенополиуретан и др.), которые обладают рядом существенных недостатков, в частности: гигроскопичностью, горючестью, токсичностью и т.д. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых теплоизоляционных материалов, которые лишены вышеперечисленных недостатков. Одним из направлений в разработке новых теплоизоляционных материалов является создание композитных строительных блоков на основе строительных смесей и микросфер из стекла, термопластика, керамики или гранулята вторичной продукции промпредприятий [7].

Среди микросфер, применяемых для создания строительных композитных блоков, наибольшее распространение получили стеклянные микросферы (HGM – hollow glass microsphere) благодаря низкой стоимости и высоким механическим характеристикам. Добавление стеклянных микросфер в строительную смесь с последующим формованием позволит получить композит с высокими теплоизоляционными свойствами при небольшом весе [8].

Микростеклокерамические гранулы представляют собой композит на основе природных кремний содержащих пород, таких как трепел, диатомит и др., получаемых путем обжига при температуре, не превышающей 850 °С.

В современной зарубежной и отечественной научной литературе эта тема представлена рядом исследований, которые подтверждают эффективность использования диатомитовых пород для создания строительных материалов. Несмотря на все существующие исследования, без сомнения, потенциал данной горной породы раскрыт не полностью и нуждается в дальнейшем изучении. Преимущества легких бетонов как строительного материала описали такие ученые как: Ю. М. Баженов, А. Г. Комар, Г. И. Горчаков и др. Работами А.В. Жукова, В.С. Немерцева, В.М. Рыбалко, В.Д. Кулябина, Е.Е. Звездиной, М.П. Семенюка, Т.Д. Липницкой, А.А. Крупина, Г.А. Петрихиной, Е.И. Бородина, а также в работах [9-13] зарубежных исследователей доказана принципиальная возможность получения искусственных пористых заполнителей из кремниевых пород.

Тепломеханические свойства композитов широко исследованы путем экспериментальных исследований [9-13]. Исследовалась зависимость теплопроводности от таких параметров композитных материалов, как средний диаметр микросфер, их содержание и распределение по объему композита. В работе [13] авторы исследовали характеристики композитной многослойной изоляции переменной плотности, содержащей полые стеклянные микросферы. Результаты экспериментальных исследований показали, что добавление микросфер в состав многослойной изоляции позволяет уменьшить количество изоляционных слоев, тем самым снизив вес изоляционной конструкции при сохранении низких значений коэффициента теплопроводности. В статье [14] авторами была представлена трехмерная модель элементарной ячейки в форме куба со случайным распределением полых микросфер в матрице. Авторы провели численные исследования коэффициента теплопроводности композита с HGM. Результаты исследований показали, что добавление HGM позволяет снизить плотность теплового потока ввиду высокого термического сопротивления микросфер. Таким образом, распределение теплового потока в композите очень неравномерно, что и привело к снижению коэффициента теплопроводности композита [15].

#### ***Постановка задачи***

Технология получения гранул следующая: сырье просушивается до постоянной массы при температуре 105°С, сухие компоненты кроме гидроксида натрия, смешиваются с водой в ступке лабораторной фарфоровой и при необходимости растирается до

образования однородной гелеобразной массы, далее раствор аккуратно добавляли к сухим компонентам и перемешивали до однородной консистенции. Полученная смесь экструдируется через измельчитель для качественного перемешивания и запуска реакции, при этом консистенция смеси менялась. Сушка шихты производилась при различных температурах до постоянной массы. Измельчение шихты производилось через измельчитель с последующим рассевом по фракциям через стандартные лабораторные сита. После каждого цикла крупная фракция измельчалась повторно. Подготовка к обжигу состояла из смешивания сырца с неактивной добавкой, предотвращающей слипание гранул в соотношении 30% сырца на 70% добавки по массе, смесь укладывалась на поддон из нержавеющей стали с толщиной металла 1 мм, толщина смеси составляла 7-10 мм. Обжиг производился в течении 10 минут. Остывание производилось без выгрузки с поддона при комнатной температуре. Для отделения гранул от добавки производилось просеивание на стандартном сите и промывки водой с последующим просушиванием до постоянной массы. Измерение истинной плотности производилось путем создания до обжига шариков сырца диаметром около 10 мм и вычисление объема и плотности исходя из измеренных геометрических размеров.

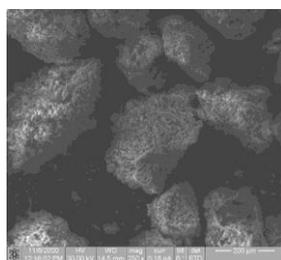
Технология получения бетона: промешивание производилось в металлической емкости двухроторным ручным смесителем. Емкость и шнеки обрабатывались слабо смоченной тканью, непосредственно перед замесом, вносились сухие компоненты, перемешивались на низких оборотах смесителем, затем добавлялась половина требуемой воды и смесь перемешивалась до однородной консистенции, затем добавлялась половина оставшейся воды и перемешивание повторялось, затем добавлялась оставшаяся вода и смесь перемешивалась в течение 2 минут. Сразу после замеса проверялись характеристики не затвердевшей смеси и формовались образцы по ГОСТ 10180-2012, прочность определялась по ГОСТ 18105-2018, морозостойкость по ГОСТ 26633-2012.

Синтезированный состав легкого конструкционного бетона представлен в таблице 1. Используются гранулы по составу №13 при температуре обжига 900°C. Диаметр фракций указан после обжига.

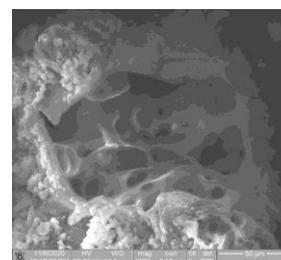
Таблица 1

Синтезированный состав легкого конструкционного бетона

Компонент	Содержание, % масс.
Цемент	34,79
Микрокальцит	17,38
Метакаолин	3,75
Гранулы фр 0,14-0,315	18,25
Гранулы фр 0,315-0,63	13,26
Вода	12,19
Суперпластификатор	0,38



а)



б)

Рис. 1. Электронная микроскопия микрогранул: а) поверхности, б) внутреннего строения.

Fig. 1. Electron microscopy of microgranules: a) surface, b) interior

На рисунке 1 показаны снимки поверхности микрогранул и их внутреннего строения, сделанные с помощью растровой электронной микроскопии, а в таблице 2 – характеристика легкого конструкционного бетона.

Характеристика легкого конструкционного бетона

Прочность на сжатие, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Класс бетона	Марка по морозостойкости, не менее	Водопоглощение по массе, %
1350	1350	В30	F300	2

Форма гранул далека от сферической, с одной стороны высокая удельная поверхность такого заполнителя будет препятствовать расслоению раствора, с другой стороны увеличивается водопотребность заполнителя и повышается водотвердое отношение раствора при требуемой подвижности, что в значительной степени сказывается на прочности бетона.

Исследования показывают, что при создании изоляционного материала с применением слоя микросферических гранул могут образовываться дефекты. Например, при плохом перемешивании гранул в основном материале происходит формирование зоны с гранулами с разной плотностью упаковки. В самом неблагоприятном случае можно наблюдать небольшие объемы основного материала, где отсутствуют микросферические гранулы.

Для испытаний были выбраны исходные образцы бетона 150x150x25..35 мм.

Исследования проведены с применением измерителя теплопроводности ИТС-1, основанного на определении теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов методом стационарного теплового потока<sup>1</sup>.

Для изучения результатов теоретических исследований [8] зависимости изменения параметров теплопроводности композитного материала от содержания микросферических гранул по объему формируемого образца, было выполнено рассечение объема по горизонтали на условно равные части: верхнюю и нижнюю, проведены работы по шлифовке поверхности для измерительных элементов прибора ИТС-1.

Испытываемые образцы формировались следующими размерами: 150x150x16..18мм. Испытания проводились в соответствии с вышеуказанным стандартом.

На рисунке 2 представлены фотографии исходных и рабочих образцов композитного бетона для измерения теплопроводности.



Рис. 2. Фотографии: а) исходных образцов композитного бетона, б) рабочего образца для измерителя теплопроводности

Fig. 2. Photos: a) Composite Concrete Reference Samples, b) Working Sample for Thermal Conductivity Meter

### Результаты и обсуждение

Результаты испытаний занесены в табличную форму (Таблица 3) с указанием номера образца, характера отклонения («вылета») значений 5 проведенных измерений (спарклайн), средней теплопроводности образца и толщины образца. На рисунке 3 приведены данные концентрационного анализа распределения значений коэффициента теплопроводности подготовленных образцов композитного бетона с микростеклокерамическими гранулами.

<sup>1</sup> ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. : дата введения 2000-04-01. – Москва : Госстрой России МНТКС, 1999. – 27 с.

Результаты испытаний образцов композитного бетона

Номер образца	Спарклайн	Осредненная теплопроводность, Вт/м·К	Толщина образца, мм
№1 (верх)		$0,374 \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$	17,0
№1 (низ)		$0,337 \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$	16,0
№2 (верх)		$0,404 \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$	18,0
№2 (низ)		$0,319 \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$	16,0
№3 (верх)		$0,376 \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$	18,0
№3 (низ)		$0,259 \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$	17,0

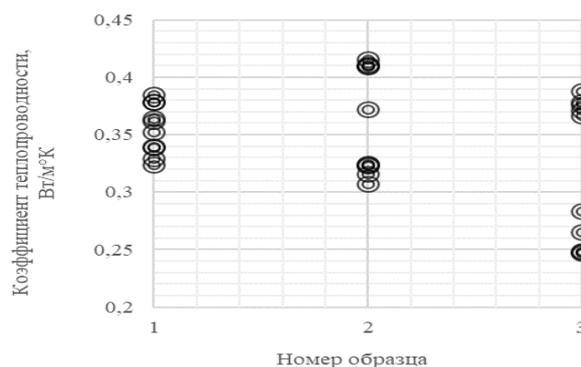


Рис. 3. Результаты концентрационного анализа распределения значений опытных данных по измерению коэффициента теплопроводности образцов композитного бетона.

Fig. 3. Results of a concentration analysis of the distribution of values of experimental data on the measurement of the thermal conductivity coefficient of composite concrete samples.

Для образцов 2 и 3 получены значительные расхождения результатов серии испытаний верхней и нижней части исходных образцов. Вероятно, это может быть обусловлено распределением частиц в слое материала при его изготовлении в зависимости от фракционного состава под действием гравитации. В случае смеси крупных и мелких частиц двух различных плотностей нижнее положение займут мелкие тяжелые, затем расположатся мелкие легкие, крупные тяжелые (или смесь мелких легких и крупных тяжелых); в верхнем положении окажутся крупные легкие частицы.

Оценим влияние неравномерности распределения микросфер в композитном слое материала. При перемещении гранул из слоев залегания, мы, очевидно, можем наблюдать увеличение среднего теплового потока. Интересны для сравнения результаты испытаний для образцов 2 и 3, так как в обоих случаях есть различие по средней теплопроводности. Таким образом, области с уменьшением количества микросфер способствует большим тепловым потерям для изоляционного материала.

Результаты для первого образца показывают, что изменения в величине теплового потока незначительно отличаются, что говорит о равномерности распределения гранул в верхней и нижней части одного образца.

### Заключение

В настоящей работе проведено исследование получения легкого конструкционного бетона с пористым заполнителем, синтезированным из диатомитовых пород Владимирской области, а также влияния наличия зон, не занятых микрогранулами, на изоляционные свойства композитного материала. Компоненты для получения бетона, за исключением гранул, легкодоступны на рынке, однако для производства микрозаполнителя требуется разработка специальной промышленной или опытно-промышленной технологии. Определение изоляционных свойств получено с помощью измерения коэффициента теплопроводности для рассеченных по горизонтали исходных образцов материалов. Их пониженная концентрация в верхней части исследуемого объема материала увеличивает теплопроводность и тепловой поток через композитный материал. Максимальное изменение теплового потока и коэффициента эффективной теплопроводности по сравнению со случаем образца 1, наблюдается в образцах 2 и 3, в

которых наибольшая часть верхнего объема матрицы находится с меньшей концентрацией микросфер, которые имеют меньший собственный коэффициент теплопроводности, и наоборот, нижняя часть объема матрицы находится с большей концентрацией микросфер. Подробный анализ результатов показал зависимость изменения параметров теплопроводности композитного материала от объемного содержания микросферических гранул, от неоднородности технологического процесса, вероятно, при подготовке исходных соотношений и формирования образцов в виброустановках.

В целом, технология получения разработанного бетона не отличается от технологии производства бетонов высокого класса, что позволяет использовать широко распространённое оборудование для бетонов. Разработанный материал пригоден для использования на заводах ЖБИ, стационарных РБУ, заводах по производству сухих строительных смесей, заводах по производству мелкоштучных бетонных изделий и архитектурных изделий, а также для индивидуального применения.

### Литература

1. Даулетбаев Р. Б., Вовк Б. В. Надежность строительных конструкций зданий и сооружений в процессе их эксплуатации // Инновации и инвестиции. 2019. № 5. С. 173-177.
2. Васильева И. Л., Немова Д. В. Энергоэффективные материалы нового поколения в строительстве // Экология и строительство. 2018. № 4. С. 18-24.
3. Дребезгова, М. Ю., Чернышева, Н. В., Глаголев, Е. С., Герасимов, А. В. Анализ и перспективы развития монолитного малоэтажного строительства // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. 2016. № 9. С. 28-35.
4. Дориомедов М. С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 6-7 (89). С. 29-37.
5. Омаров, Ж. М., Жолдыбаев, Ш. С., Жандалинова, К. А., Оразова, Д. К. Использование композитных материалов в строительной отрасли // Наука и техника Казахстана. 2019. № 4. С. 7-16.
6. Кузнецов, Г. В., Озерова, И. П., Половников, В. Ю., Цыганкова, Ю. С. Оценка фактических потерь тепла при транспортировке теплоносителя с учетом технического состояния и реальных условий эксплуатации тепловых сетей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2011. Т. 319, № 4. С. 56-60.
7. Гольцман, Б. М., Яценко, Е. А., Геращенко, В. С., Комуничева, Н. Ю., Яцен-ко, Л. А., Смолий, В. А., Ченг, Ч. Ч. Пористые теплоизоляционные материалы на основе различных видов силикатного сырья // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2020. № 1 (205). С. 55-60.
8. Соловьев, С. А., Соловьева, О. В., Ахметова, И. Г., Ваньков, Ю. В., Шакурова, Р. З. Численное исследование теплопроводности композитного теплоизоляционного материала с микрогранулами // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т. 24, № 1. С. 86-98.
9. Liu B., Wang H., Qin Q. H. Modelling and characterization of effective thermal conductivity of single hollow glass microsphere and its powder // Materials. 2018. Т. 11, № 1. С. 133.
10. Curd M. E., Morrison N. F., Smith M. J., Gajjar P., Yousaf Z., Parnell W. J. Geometrical and mechanical characterisation of hollow thermoplastic micro-spheres for syntactic foam applications // Composites Part B: Engineering. 2021. Т. 223. С. 108952.
11. Petkova-Slipets R., Zlateva P. An analysis of the structure and thermal conductivity of hollow microsphere filled syntactic foams // Civil and Environmental Engineering. 2019. Т. 15, № 1. С. 36-41.
12. Wang, P., Ji, L., Yuan, J., An, Z., Yan, K., Zhang, J. Modeling and optimization of composite thermal insulation system with HGMS and VDMLI for liquid hydrogen on orbit storage // International Journal of Hydrogen Energy. 2020. Т. 45, № 11. С. 7088-7097.
13. Wang H., Hou F., Chang C. Experimental and computational modeling of thermal conductivity of cementitious syntactic foams filled with hollow glass micro-spheres // Construction and Building Materials. 2020. Т. 265. С. 120739.
14. Xiao P., Yifeng Z., Peng W., Dan L. Estimation of thermal conduction in hollow-glass-beads-filled cement-based composites by variational asymptotic homogenization method // Applied Thermal Engineering. 2019. Т. 161. С. 114191.
15. Solovev S. A., Soloveva O. V., Akhmetova I. G., Vankov Y. V., Paluku D. L. Numerical Simulation of Heat and Mass Transfer in an Open-Cell Foam Catalyst on Example of

### Авторы публикации

**Синицын Антон Александрович** – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Теплогазоводоснабжение» Вологодского государственного университета (ВоГУ).

**Соловьева Ольга Викторовна** – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» (ЭОС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

**Ахметова Ирина Гареевна** – д-р техн. наук, заведующая кафедрой «Экономика и организация производства» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

**Ваньков Юрий Витальевич** – д-р техн. наук, зав. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

**Закревская Любовь Владимировна** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительное производство» Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ).

**Ананьев Михаил Сергеевич** – студент кафедры «Строительное производство» Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ).

**Шакурова Розалина Зуфаровна** – аспирант кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

### References

1. Dautbaev R. B., Vovk B. V. Reliability of building structures of buildings and structures during their operation. *Innovation and investment*. 2019,5: 173-177.
2. Vasil'yeva I. L., Nemova D. V. Energy-efficient materials of a new generation in construction. *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2018, 4:18-24.
3. Drebezgova M. YU., Chernysheva N. V., Glagolev Ye. S., Gerasimov A. V. Analysis and development prospects of monolithic low-rise construction. *The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016, 9:28-35.
4. Doriomedov M. S. Russian and world market of polymer composites (review). *Proceedings of VIAM*. 2020, 6-7 (89):29-37.
5. Omarov Zh. M., Zholdybaev Sh. S., Zhandalina K. A., Orazova D. K. The use of composite materials in the construction industry. *Science and Technology of Kazakhstan*. 2019, 4:7-16.
6. Kuznetsov G. V., Ozerova I. P., Polovnikov V. Yu., Tsygankova Yu. S. Estimation of actual heat losses during transportation of the coolant, taking into account the technical condition and actual operating conditions of heating networks. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2011, 319(4):56-60.
7. Goltsman B. M., Yatsenko E. A., Gerashchenko V. S., Komunzhieva N. Yu., Yatsenko L. A., Smoliy V. A., Cheng Ch. Ch. Porous heat-insulating materials based on various types of silicate raw materials. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus region. Technical Sciences*. 2020, 1(205):55-60. <https://doi.org/10.17213/1560-3644-2020-1-55-60>.
8. Solovev S. A., Soloveva O. V., Akhmetova I. G., Vankov Yu. V., Shakurova R. Z. Numerical study of the thermal conductivity of a composite heat-insulating material with microgranules. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2022, 24(1):86-98. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-1-86-98>.
9. Liu B., Wang H., Qin Q. H. Modelling and characterization of effective thermal conductivity of single hollow glass microsphere and its powder. *Materials*. 2018, 11(1):133. <https://doi.org/10.3390/ma11010133>.
10. Curd M. E., Morrison N. F., Smith M. J., Gajjar P., Yousaf Z., Parnell W. J. Geometrical and mechanical characterisation of hollow thermoplastic microspheres for syntactic foam applications. *Composites Part B: Engineering*. 2021, 223:108952. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108952>.

11. Petkova-Slipets R., Zlateva P. An analysis of the structure and thermal conductivity of hollow microsphere filled syntactic foams. *Civil and Environmental Engineering*. 2019, 15(1):36-41.

12. Wang P., Ji L., Yuan J., An Z., Yan K., Zhang J. Modeling and optimization of composite thermal insulation system with HGMs and VDMLI for liquid hydrogen on orbit storage. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020, 45(11):7088-7097. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.110>.

13. Wang H., Hou F., Chang C. Experimental and computational modeling of thermal conductivity of cementitious syntactic foams filled with hollow glass micro-spheres. *Construction and Building Materials*. 2020, 265:120739. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120739>.

14. Xiao P., Yifeng Z., Peng W., Dan L. Estimation of thermal conduction in hollow-glass-beads-filled cement-based composites by variational asymptotic homogenization method. *Applied Thermal Engineering*. 2019, 161:114191. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114191>.

15. Solovev S. A., Soloveva O. V., Akhmetova I. G., Vankov Y. V., Paluku D. L. Numerical Simulation of Heat and Mass Transfer in an Open-Cell Foam Catalyst on Example of the Acetylene Hydrogenation Reaction. *Chem Engineering*. 2022, 6(1):11. <https://doi.org/10.3390/chemengineering6010011>.

#### **Authors of the publication**

**Anton A. Sinitsin** – Vologda State University, Vologda, Russia.

**Olga V. Soloveva** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

**Irina G. Akhmetova** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

**Yuri V. Vankov** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

**Lyubov V. Zakrevskaya** – Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia.

**Mikhail S. Ananiev** – Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia.

**Rozalina Z. Shakurova** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

**Получено** 28.11.2022г.

**Отредактировано** 01.12.2022г.

**Принято** 05.12.2022г.