

**Ю. С. ВЫТЧИКОВ**

**М. Е. САПАРЁВ**

**Д. Д. КОНЯКИНА**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ БЕСПЕСЧАНОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

STUDY OF THERMAL CONDUCTIVITY OF SAND-FREE EXPANDED  
CLAY CONCRETE UNDER OPERATING CONDITIONS  
OF BUILDINGS AND STRUCTURES

В статье изложена расчетная методика определения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона как в сухом состоянии, так и в условиях эксплуатации. На основе экспериментальных данных по теплопроводности шести марок беспесчаного керамзитобетона в диапазоне плотностей от 200 до 700 кг/м<sup>3</sup>, полученных в лаборатории теплотехнических испытаний СамГТУ, выявлена аппроксимирующая линейная зависимость для определения коэффициента теплопроводности в сухом состоянии. Найдено среднее значение коэффициента теплотехнического качества для беспесчаного керамзитобетона, используя экспериментальные значения коэффициента теплопроводности в условиях эксплуатации А и Б, полученные в лабораторных условиях. Оно составило  $\eta = 0,027$ , что существенно ниже по сравнению с пенобетоном ( $\eta = 0,04$ ). Полученную аналитическую зависимость для нахождения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона рекомендуется использовать при выполнении теплотехнических расчетов строительных ограждающих конструкций.

**Ключевые слова:** беспесчаный керамзитобетон, теплопроводность, аппроксимация, зависимость, влажность, теплозащита, теплотехнические качества

В связи с реализацией в Российской Федерации программы энергосбережения в строительстве возникла необходимость в применении новых конструктивно-теплоизоляционных

The article presents a calculation method for determining the thermal conductivity coefficient of sandless keramzite concrete both in a dry state and under operating conditions. Based on experimental data on the thermal conductivity of six grades of sandless keramzite concrete in the density range from 200 to 700 kg/m<sup>3</sup>, conducted at the Samara State Technical University's laboratory for thermal testing, an approximating linear dependence was obtained for determining the thermal conductivity coefficient in a dry state. The average value of the thermotechnical quality factor for sandless keramzite concrete was found using experimental values of the thermal conductivity coefficients under operating conditions A and B, obtained in laboratory conditions. It amounted to  $\eta = 0,027$ , which is significantly lower than that of foam concrete ( $\eta = 0,04$ ). The derived analytical relationship for finding the thermal conductivity coefficient of sandless keramzite concrete is recommended for use in performing thermal calculations of building envelope structures.

**Keywords:** sandless keramzite concrete, thermal conductivity, approximation, dependency, humidity, heat protection, thermal properties

материалов для возведения наружных стен. К таким материалам относится беспесчаный керамзитобетон, обладающий более низкими значениями коэффициента теплопроводности

по сравнению с обычным керамзитобетоном. Для определения толщины наружной стены, обеспечивающей современные требования по теплозащите необходимо знать значение коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона в условиях эксплуатации.

Стремление к повышению теплозащитных характеристик строительных ограждающих конструкций привело к необходимости использовать крупнопористый беспесчаный керамзитобетон плотностью от 200 до 700 кг/м<sup>3</sup>.

По сравнению с традиционным керамзитобетоном беспесчаный керамзитобетон имеет более низкие значения коэффициента теплопроводности из-за замещения воздухом раствора на керамзитовом песке.

Для обеспечения необходимой несущей способности наружных стен гранулы керамзита с помощью специальных смесительных устройств обволакиваются цементным молоком с добавками, повышающими прочность сцепления.

В практике строительства в Российской Федерации нашли применение две технологии возведения наружных стен с использованием беспесчаного керамзитобетона.

Согласно первой технологии наружные стены, а также покрытия и перекрытия возводятся монолитным способом. При этом беспесчаный керамзитобетон укладывается в съемную опалубку. Технология возведения высотных зданий с применением беспесчаного керамзитобетона разработана под руководством академика М.Я. Бикбау [1, 2], малоэтажных зданий – д.т.н., профессором И.В. Недосеко [3, 4].

Другая технология возведения наружных стен связана с использованием стеновых блоков, изготавливаемых на предприятиях стройиндустрии. Она нашла применение на территории Самарской области и представлена в работах [5, 6]. Важность выбора оптимальных теплозащитных характеристик для снижения энергозатрат была изучена в [7], где предложены методы оптимизации сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Для определения требуемой толщины беспесчаного керамзитобетона, обеспечивающей нормативные требования по теплозащите, необходимо знать значения коэффициента теплопроводности в условиях эксплуатации А и Б.

Информация по теплотехническим характеристикам строительных и теплоизоляционных материалов представлена в СП 50.13330.2012. К сожалению, для многих современных материалов отсутствуют расчетные значения влажности теплофизических характеристик.

В НИИСФ РААСН под руководством д.т.н., профессора В.Г. Гагарина разработан ГОСТ Р 59985-2022, в котором изложены методы

определения теплотехнических показателей теплоизоляционных материалов и изделий при эксплуатационных условиях. Основной целью внедрения указанного выше нормативного документа является уточнение расчетных характеристик теплоизоляционных материалов, применяемых при выполнении теплотехнического расчета ограждающих конструкций. С помощью достаточно простой инженерной методики можно расчетным путем определить значение коэффициента теплопроводности в условиях эксплуатации зданий и сооружений. В работах [8–11] представлены результаты исследований, выполненных авторами указанной методики.

Согласно ГОСТ Р 59985-2022 коэффициент теплопроводности теплоизоляционных материалов и изделий при условиях эксплуатации определяют по формуле

$$\lambda_3 = \lambda_0(1 + \eta w_3), \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}, \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности материала в сухом состоянии, определяемый экспериментальным путем по ГОСТ 7076 стационарным методом, Вт/(м<sup>°</sup>С);  $\eta = \frac{\lambda_3 - \lambda_0}{w_3 \cdot \lambda_0}$  – коэффициент теплотехнического качества теплоизоляционного материала, определяемый экспериментальным путем. Для некоторых теплоизоляционных материалов его значения приведены в ГОСТ Р 59985-2022;  $w_3$  – массовая эксплуатационная влажность материала, %.

Значения массовой эксплуатационной влажности наиболее распространенных материалов представлены в работе [8]. Они получены на основе обработки натуральных исследований.

Рассмотрим определение показателя качества беспесчаного керамзитобетона, используя результаты экспериментальных исследований коэффициентов теплопроводности, полученных в лаборатории теплотехнических испытаний СамГТУ в 2011 году в сухом состоянии и в условиях эксплуатации А и Б. Исследование теплопроводности беспесчаного керамзитобетона проводилось согласно ГОСТ 7076 на измерителе теплопроводности ИТП-МГ 4 «250». Плотность образцов из беспесчаного керамзитобетона изменялась от 200 до 700 кг/м<sup>3</sup>. На рис. 1 представлена фотография одного из исследуемых образцов, на рис. 2 – фотография измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 «250».

Для определения коэффициента теплопроводности образцов из беспесчаного керамзитобетона в условиях эксплуатации А и Б перед испытанием они выдерживались над парами воды в закрытом шкафу до достижения 80

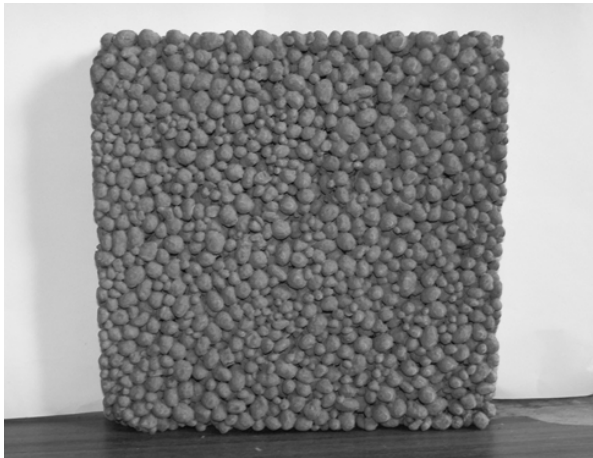


Рис. 1. Образец из керамзитобетона  
Fig. 1. Expanded clay concrete sample



Рис. 2. Измеритель теплопроводности ИТП-МГ 4 «250»  
Fig. 2. Thermal conductivity meter ИТП-МГ 4 “250”

и 97 % влажности соответственно согласно СП 23-101-2004.

Результаты испытаний на теплопроводность беспесчаного керамзитобетона были включены в СТО-НО «СПКиК»-001-2015 [12].

Значения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона, полученные экспериментальным путём, представлены в табл. 1.

По результатам испытаний на теплопроводность среднее значение коэффициента теплотехнического качества беспесчаного керамзитобетона определяем по формуле

$$\eta_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_{\text{ср},i}}{n}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество испытанных марок беспесчаного керамзитобетона.

$$\eta_{\text{ср}} = \frac{0,0315+0,0282+0,0295+0,0258+0,0239+0,023}{7} = 0,027.$$

Таким образом, для определения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона в условиях А и Б можно использовать следующие формулы:

Таблица 1. Теплопроводность беспесчаного керамзитобетона в сухом состоянии и условиях эксплуатации  
Table 1. Heat conductivity of sand-free expanded clay concrete in dry condition and operating conditions

Показатель	Значение показателя					
	200	300	400	500	600	700
1. Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	200	300	400	500	600	700
2. Коэффициент теплопроводности Вт/(м°С): - в сухом состоянии,	0,085	0,095	0,105	0,120	0,13	0,135
- в условиях эксплуатации А	0,095	0,105	0,115	0,13	0,14	0,145
- в условиях эксплуатации Б	0,10	0,11	0,125	0,14	0,15	0,155
3. Коэффициент теплотехнического качества $\eta$ : - в условиях эксплуатации А	0,0336	0,0301	0,0272	0,0238	0,022	0,0212
- в условиях эксплуатации Б	0,0294	0,0263	0,0317	0,0278	0,0256	0,0247
4. Расчетное массовое отношение влаги в материале, % - в условиях эксплуатации А				3,5		
- в условиях эксплуатации Б				6,0		
5. Среднее значение $\eta_{\text{ср},i}$	0,0315	0,0282	0,0295	0,0258	0,0238	0,023

- в условиях эксплуатации А

$$\lambda_A = \lambda_0(1 + 0,027W_A), \text{Вт}^\circ\text{С/м}, \quad (3)$$

- в условиях эксплуатации Б

$$\lambda_B = \lambda_0(1 + 0,027W_B), \text{Вт}^\circ\text{С/м}. \quad (4)$$

Согласно ГОСТ 31359-2024 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения» требуются результаты определения теплопроводности в сухом состоянии образцов из ячеистого бетона автоклавного твердения аппроксимировать линейной функцией вида:

$$\lambda_0 = a\rho_{0\text{ср.}} + b, \text{Вт/м}^\circ\text{С}, \quad (5)$$

где  $\rho_{0\text{ср.}}$  – средняя плотность марки бетона,  $\text{кг/м}^3$ ;  $a$  и  $b$  – коэффициенты, исследуемые с помощью

применения метода наименьших квадратов при обработке результатов испытаний.

На рис. 3 представлена зависимость коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона от плотности.

В результате математической обработки результатов эксперимента получена аналитическая зависимость для определения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона в сухом состоянии вида:

$$\lambda_0 = 0,00011\rho_{0\text{ср.}} + 0,0641, \text{Вт/м}^\circ\text{С}. \quad (5)$$

Согласно ГОСТ 31359-2024 формулу (5) можно исследовать лишь в том случае, если расхождение с экспериментальными данными по теплопроводности не превышает 5 %.

В табл. 2 представлены расчетные значения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона в сухом состоянии и в условиях эксплуатации.

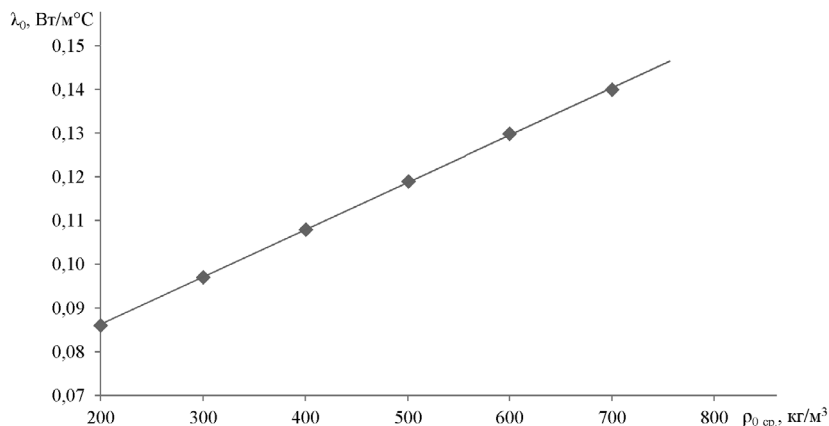


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона от средней плотности

Fig. 3. Dependence of thermal conductivity coefficient of sand-free expanded clay concrete on average density

Таблица 2. Расчетные значения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона

Table 2. Design values of thermal conductivity coefficient of sand-free expanded clay concrete

Показатель	Значение показателя					
	200	300	400	500	600	700
1.Средняя плотность, $\text{кг/м}^3$	200	300	400	500	600	700
2.Расчетное значение коэффициента теплопроводности по формуле (5)	0,0861	0,0971	0,108	0,119	0,13	0,141
3.Относительная погрешность аппроксимации линейной зависимости по формуле (5), %	1,3	2,2	2,9	0,8	0	4,4
4.Расчетные значения коэффициента теплопроводности в условиях эксплуатации, $\text{Вт/м}^\circ\text{С}$ – по формулам (3), (4):						
- в условиях эксплуатации А	0,094	0,106	0,118	0,13	0,142	0,154
- в условиях эксплуатации Б	0,10	0,113	0,125	0,138	0,151	0,164

Анализ расчетных значений коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона позволил сделать следующие **выводы**:

1. Получена аппроксимирующая зависимость для определения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона в сухом состоянии. Максимальное расхождение с экспериментальными данными не превышает 4 %.

2. Определено значение коэффициента теплотехнического качества для беспесчаного керамзитобетона  $\eta = 0,027$ .

3. Получена аналитическая зависимость для определения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона в условиях эксплуатации вида:

$$\lambda_{э} = (0,00011\rho_{0\text{ ср.}} + 0,0641) \times (1 + 0,027W_{э}), \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С.}$$

4. Сравнение с экспериментальными данными показывает незначительное отличие расчетных и экспериментальных значений коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бикбау М. Я. Морфологические особенности, структура, свойства наноцементов и бетонов на их основе // Технологии бетонов. 2013. № 12. С. 26–32.
2. Бикбау М. Я. Наноцементы и новые перспективы технологии бетонов // Цемент и его применение. 2022. № 5. С. 36–40.
3. Недосеко И.В., Синицин Д.А., Мохов А.В. Применение особо легкого керамзита для теплоизоляции чердачных перекрытий // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: сб. статей 80-й Юбилейной всероссийской научно-технической конференции. Самара, 2023. С. 763–766.
4. Легкий и особо легкий керамзит и керамзитобетон. анализ традиционных и перспективных областей их использования в гражданском и промышленном строительстве / И.В. Недосеко, Д.А. Синицин, В.М. Горин, П.В. Сафонов, Е.Ю. Миронюк, В.В. Кузьмин // Строительные материалы. 2022. № 5. С. 8–14.
5. Вытчиков Ю.С., Горин В.М., Токарева С.А. Современные ограждающие конструкции из керамзитобетона для энергоэффективных зданий // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 34–36.
6. Вытчиков Ю.С., Горин В.М., Токарева С.А., Беляков И.Г. Исследование теплотехнических характеристик стеновых керамзитобетонных панелей производства ООО ПСК «АТЛАНЬ» // Строительные материалы. 2013. № 11. С. 7–9.
7. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Голиков В.А. Оптимизация теплотехнических характеристик ограждающих конструкций загородных коттеджей // Градостроительство и архитектура. 2021. № 1. С. 39–45. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.5.
8. Методическое пособие по назначению расчетных теплотехнических показателей строительных материалов и изделий. М.: ФАУ «ФЦС», 2019. 44 с.
9. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение расчетной влажности строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 8. С. 28–33.
10. Пастушков П.П., Гагарин В.Г. Исследования зависимости теплопроводности и коэффициента теплотехнического качества от плотности автоклавного газобетона // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 26–28.
11. Пастушков П.П. О проблемах определения теплопроводности строительных материалов // Строительные материалы. 2019. № 4. С. 57–63.
12. Стандарт некоммерческой организации «Союз производителей керамзита и керамзитобетона». СТО-НО-«СПКиК»-001-2015. Самара, 2015. 176 с.

## REFERENCES

1. Bikbau M.Ya. Morphological features, structure, properties of nanocements and concretes based on them. *Tehnologii betonov* [Technologies of concrete], 2013. no. 12, pp. 26–32. (in Russian)
2. Bikbau M. Ya. Nanocements and new perspectives of concrete technology. *Cement i ego primenenie* [Cement and its Application], 2022, no. 5, pp. 36–40. (in Russian)
3. Nedoseko I.V., Sinitsin D.A., Mokhov A.V. Application of particularly light expanded clay for thermal insulation of attic floors. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'stvo i stroitel'nye tehnologii: sb. statej 80-j Jubilejnoj vsersijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction and building technologies: Sat. articles of the 80th Anniversary All-Russian Scientific and Technical Conference]. Samara, 2023, pp. 763–766. (In Russian).
4. Nedoseko I.V., Sinitsin D.A., Gorin V.M., Safonov P.V., Mironyuk E.Yu., Kuzmin V.V. Light and particularly light expanded clay and expanded clay concrete. analysis of traditional and promising areas of their use in civil and industrial construction. *Stroitel'nye materialy* [Construction Material], 2022, no. 5, pp. 8–14. (in Russian)
5. Vytchikov Yu.S., Gorin V.M., Tokareva S.A. Modern enclosing structures made of expanded clay concrete for energy-efficient buildings. *Stroitel'nye materialy* [Construction Material], 2011, no. 3, pp. 34–36. (in Russian)
6. Vytchikov Yu.S., Gorin V.M., Tokareva S.A., Belyakov I.G. Study of heat-protective characteristics of wall expanded clay concrete panels produced by LLC PSK ATLAN. *Stroitel'nye materialy* [Construction Material], 2013. no. 11, pp. 7–9. (in Russian)

7. Vytchikov Yu.S., Saparev M.E., Golikov V.A., Saronov E.G. Optimization of Heat Protection Characteristics of Country Cottage Enclosures. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 1, Pp. 39–45. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.5

8. *Metodicheskoe posobie po naznacheniju raschetnyh teplotehnikeskikh pokazatelej stroitel'nykh materialov i izdelij* [Methodical manual on the purpose of design thermo-technical indicators of building materials and products]. Moscow, FAU "FCS", 2019. 44 p.

9. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Determination of design humidity of construction materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Construction], 2015, no. 8, pp. 28–33. (in Russian)

10. Pastushkov P.P., Gagarin V.G. Studies of the dependence of thermal conductivity and coefficient of thermotechnical quality on the density of autoclave aerated concrete. *Stroitel'nye materialy* [Construction Material], 2017, no. 5, pp. 26–28. (in Russian)

11. Pastushkov P.P. On the problems of determining the thermal conductivity of building materials. *Stroitel'nye materialy* [Construction Material], 2019, no. 4, pp. 57–63. (in Russian)

12. Standard of the non-profit organization Union of Expanded Clay and Expanded Clay Concrete Manufacturers. STO-NO- «SPKiK» -001-2015. Samara. 2015. 176 p.

Об авторах:

**ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович**

кандидат технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: git.2008@mail.ru

**VYTCHIKOV Yuri S.**

PhD in Engineering Science, Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244 E-mail: git.2008@mail.ru

**САПАРЁВ Михаил Евгеньевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: msx072007@yandex.ru

**SAPAREV Mikhail Ev.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244 E-mail: msx072007@yandex.ru

**КОНЯКИНА Дарья Денисовна**

аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: d.konyakina@yandex.ru

**KONYAKINA Dar'ya D.**

Post-graduate student of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244 E-mail: d.konyakina@yandex.ru

Для цитирования: Витчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Конякина Д.Д. Исследование теплопроводности беспесчаного керамзитобетона в условиях эксплуатации зданий и сооружений // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 2. С. 21–26. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.02.03.

For citation: Vytchikov Y.S., Saparev M.E., Konyakina D.D. Study of thermal conductivity of sand-free expanded clay concrete under operating conditions of buildings and structures. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 2, pp. 21–26. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.02.03.