

Жаростойкий керамзитобетон на основе портландцемента с обожженным аргиллитом из смесей с предварительным форсированным электроразогревом

А.М. Гаджиев¹, Г.Н. Хаджишалапов¹, Т.А. Хежев²

¹ *Дагестанский государственный технический университет, Махачкала*

² *Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик*

Аннотация: Показана целесообразность применения тонкомолотой минеральной добавки из обожженной аргиллитовой глины для производства жаростойких керамзитобетонов на основе портландцемента с рациональной дозой добавки 30...50% от массы вяжущего. Разработаны составы жаростойкого керамзитобетона с предельно допустимой температурой применения И10 классов по прочности на сжатие до В15 и средней плотностью до 1500 кг/м³. Обоснована эффективность технологии получения жаростойкого керамзитобетона с использованием предварительного форсированного электроразогрева бетонной смеси до 60°C и определены рациональные технологические параметры электроразогрева. Остаточная прочность жаростойкого керамзитобетона, полученного по разработанной технологии, после кратковременного нагрева до 1000°C превышает 0,65 от начальной, что выше значений для аналогов по СП 27.13330.2017. Коэффициент линейного температурного расширения разработанных жаростойких керамзитобетонов в диапазоне температур 200...1000°C изменяется в пределах $2...5,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1}^\circ\text{C}$. Повышение коэффициента теплопроводности исследованных бетонов с ростом температуры до 1000°C составляет до 34%. Термостойкость жаростойкого керамзитобетона при 800°C, полученного по технологии предварительного форсированного электроразогрева смеси, составила, соответственно, 12, 14 и 15 воздушных теплосмен при температуре предварительного форсированного электроразогрева 60, 80 и 90°C.

Ключевые слова: жаростойкий керамзитобетон, тонкомолотая минеральная добавка, аргиллит, коэффициент теплопроводности, коэффициент линейного температурного расширения, остаточная прочность.

Жаростойкие бетоны являются перспективным материалом, позволяющим за счет перехода при возведении тепловых агрегатов от мелкогабаритных штучных огнеупорных изделий к крупным блокам и панелям, сократить трудозатраты и повысить индустриальность за счет комплексной механизации работ и сокращения количества швов при устройстве футеровок различных тепловых агрегатов [1,2]. По данным [3], снижение трудозатрат при футеровке печей кипящего слоя монолитным жаростойким бетоном составляет 28%. В последнее время исследования направлены, в т.ч., на разработку

эффективных технологий получения жаростойких бетонов за счет модификации структуры [4,5], использования различных заполнителей [6,7], в т.ч. пористых и в жаростойких бетонах на основе бесцементных вяжущих [8], а также комплексного применения традиционных горных пород [9]. Эффективность жаростойких бетонов на основе легких заполнителей рассматривается, например, в [10]. Применение положений о сродстве структур [11] позволяет получать эффективные материалы различного назначения, в т.ч., на основе композиционных вяжущих на основе природного и техногенного сырья [12]. Важным вопросом при производстве жаростойких бетонов на основе портландцемента является возможно более полное связывание оксида кальция в цементном камне после дегидратации при 800°C , что способствует повышению остаточной прочности и, согласно, например, [13], использование золошлаковых отходов до 40% от портландцемента и золы-уноса благоприятно влияет на жаростойкие свойства цементного камня. Достаточно обстоятельный обзор по этому вопросу представлен, например, в [14]. Согласно [15], при оценке жаростойких бетонов предлагается рассматривать 8 показателей, среди которых наиболее значимыми названы прочность на сжатие, тип вяжущего и цена материала. Применение в качестве компонентов для получения жаростойкого бетона местного сырья либо техногенных отходов является важным фактором снижения себестоимости, в связи с чем представляет актуальную задачу, частичное решение которой рассматривается в работе.

Согласно СП 27.13330.2017 к жаростойким относятся бетоны со средней плотностью выше 900 кг/м^3 , изготавливаемые на основе различных вяжущих и заполнителей. Класс бетонов на основе портландцемента по предельно допустимой температуре применения И12, при этом при классах выше И3 СП 27.13330.2017 предписывает применение тонкомолотых добавок (ТМД), в т.ч. золы-уноса, боя керамического кирпича, различных шлаков и др. В настоящем исследовании использована ТМД из обожженного аргиллита, не

предусмотренная СП 27.13330.2017. Как указано выше, основное назначение ТМД состоит в повышении стойкости цементного камня при высоких температурах за счет протекания реакций в твердых фазах между добавками и оксидом кальция с образованием безводных силикатов и алюминатов кальция. Применение керамзитового заполнителя для жаростойких бетонов на основе портландцемента предусмотрено для бетонов с марками по средней плотности D1100...1700, классами по прочности до B15 включительно при классах по предельно допустимой температуре применения И10, И11 (№23, 24 табл. 5.1 СП).

Исследования свойств жаростойкого керамзитобетона на основе портландцемента с ТМД из обожженного аргиллита выполнены с применением материалов:

- портландцемент ПЦ1–500Н производства цементного завода АО «Себряковцемент» с содержанием основных клинкерных минералов, %: C_3S – 64,9; C_2S – 12,0; C_3A – 5,3; C_4AF – 15,0;
- тонкомолотая добавка из обожженной аргиллитовой глины Буйнакского месторождения Республики Дагестан (местный сырьевой материал), минералогический состав представлен монтмориллонитом Al_2O_3 ; $4SiO_2$; $4H_2O$ 70...75% и гидрослюдой;
- керамзитовые гравий с насыпной плотностью в зависимости от фракции 495...610 кг/м³ и прочностью при сдавливании в цилиндре 2,3...5,6 МПа и песок Кизилюртовского керамзитового завода (местный сырьевой материал) по ГОСТ 9759-83;
- суперпластифицирующая добавка СП-1, соответствующая требованиям ГОСТ 24211-2008.

Предварительный форсированный электроразогрев бетонной смеси до температуры 60...90°С в соответствии с планом эксперимента осуществлялся в

специально сконструированном лабораторном стенде (рис. 1) методом сквозного электроразогрева.



Рис. 1. – Лабораторный стенд для предварительного форсированного электроразогрева керамзитобетонной смеси

Теплопроводность жаростойкого керамзитобетона определяли по методике ВНИПИТеплопроекта, а коэффициент линейного температурного расширения (КЛТР) на кварцевом емкостном дилатометре института физики ДНЦ РАН (рис. 2).

Нагрев образцов 100x100x100 мм до температур 200...1000°C в соответствии с планом эксперимента осуществлялся в муфельной печи (рис. 3).



Рис. 2. – Общий вид установки для определения теплопроводности бетона (слева) и установки для определения коэффициента линейного температурного расширения жаростойкого керамзитобетона

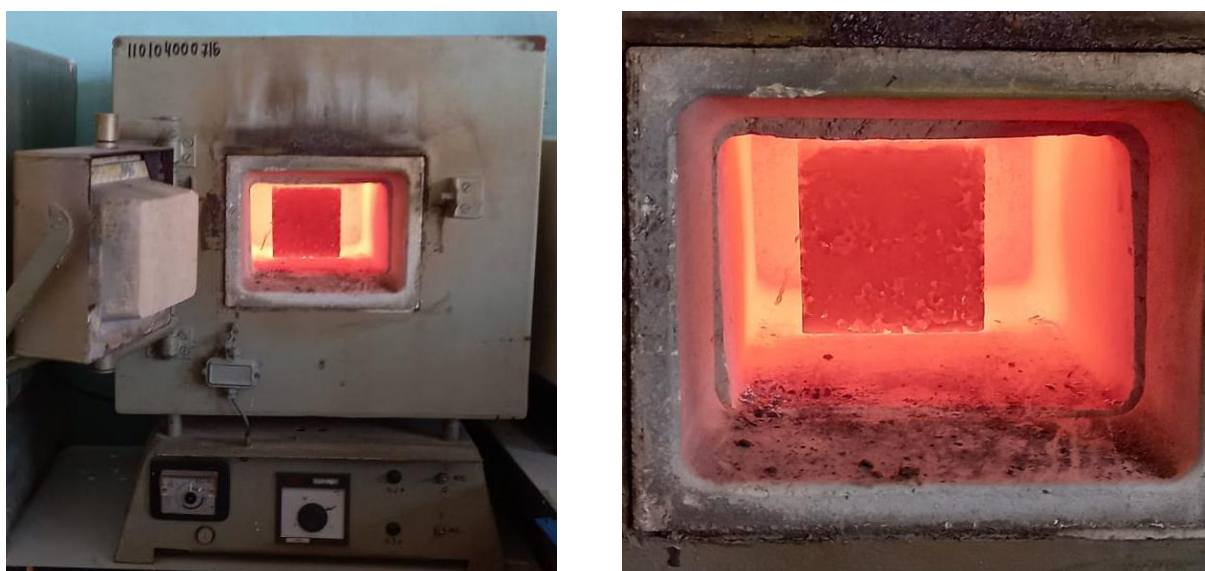


Рис. 3. – Муфельная печь для обжига образцов жаростойкого бетона в диапазоне температур до 1100°C (слева – 500°C , справа – 1000°C)

На рис. 4 представлены образцы жаростойкого керамзитобетона после сушки 105° С и после нагрева до 500 и 1000° С как с предварительным электроразогревом смеси, так и без предварительного разогрева.



Рис. 4. – Образцы жаростойкого керамзитобетона после сушки 105° С и после нагрева до 500 и 1000° (нижний ряд – с предварительным форсированным электроразогревом керамзитобетонной смеси)

На первом этапе исследований осуществлен подбор рациональной дозы ТМД. Используются смеси без предварительного электроразогрева с содержанием ТМД 10...50% от массы вяжущего. Предел прочности на сжатие жаростойкого керамзитобетона, не подвергнутого нагреву, составлял, в зависимости от дозы ТМД, 10,7...12,3 МПа. После нагрева, в зависимости от температуры и дозы ТМД, предел прочности на сжатие жаростойкого керамзитобетона составил 6,7...18,3 МПа. На рис. 5 представлена зависимость относительной прочности на сжатие R_T/R_{20} исследованного жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева. Там же представлено значение

коэффициента условий работы бетона при сжатии γ_{bt} при кратковременном нагреве по табл. 5.2 СП 27.13330.2017 для состава 23, 24 по табл. 5.1 СП.

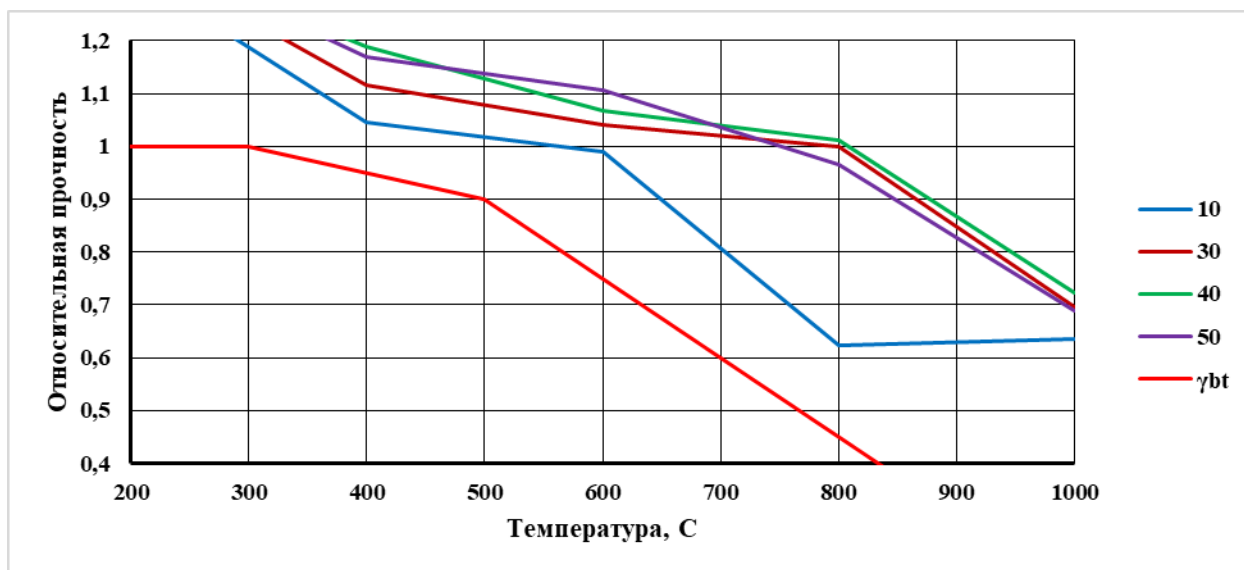


Рис. 5. – Зависимость относительной прочности на сжатие жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева

10...50 – доза ТМД, % от массы вяжущего; γ_{bt} - коэффициент условий работы бетона при сжатии по табл. 5.2 СП 27.13330.2017 для состава 23,24

Представленные на рис. 5 данные наглядно показывают, что для жаростойкого керамзитобетона дозировка ТМД из обожженной аргиллитовой глины Буйнакского месторождения Республики Дагестан должна составлять не менее 30% от массы вяжущего. Целесообразность более высокой дозировки может быть оценена по экономическим показателям.

На рис. 6 представлена зависимость относительной прочности на сжатие R_T/R_{20} исследованного жаростойкого керамзитобетона, полученного из смесей, подвергнутых предварительному форсированному электроразогреву, от температуры нагрева. В качестве варьируемых параметров предварительного форсированного электроразогрева исследовались температура разогрева смеси 60...90° С и время предварительного выдерживания смеси перед форсированным электроразогревом 0,5...6 ч. Там же представлено значение

коэффициента условий работы бетона при сжатии γ_{bt} при кратковременном нагреве по табл. 5.2 СП 27.13330.2017 для состава 23,24 по табл. 5.1 СП 27.13330.2017.

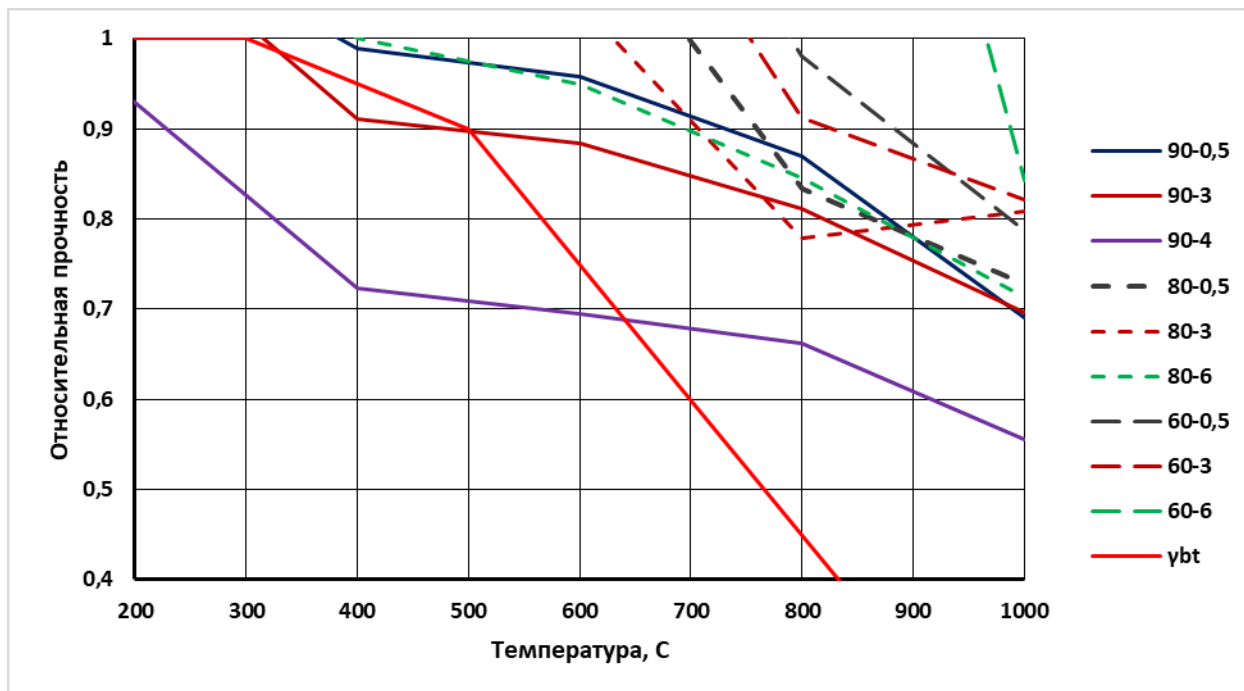


Рис. 6. – Зависимость относительной прочности на сжатие жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева
60,80,90 – температура разогрева смеси, °С;
0,5, 3,4, 6 – время предварительного выдерживания, ч;
 γ_{bt} - коэффициент условий работы бетона при сжатии по табл. 5.2 СП 27.13330.2017 для состава 23,24

Представленные на рис. 6 данные наглядно показывают, что повышение температуры предварительного формирования электроразогрева керамзитобетонной смеси свыше 60°С не обеспечивает преимуществ в плане повышения остаточной после кратковременного нагрева прочности. При указанной температуре изменение времени предварительного выдерживания в диапазоне от 0,5 до 6 ч не оказывает негативного влияния на закономерность

изменения относительной прочности жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева, что является важным результатом для практических целей. Однако, учитывая тот факт, что термостойкость жаростойкого керамзитобетона при 800°С, полученного по технологии предварительного форсированного электроразогрева смеси, составила, соответственно, 12, 14 и 15 воздушных теплосмен при температуре предварительного форсированного электроразогрева 60, 80 и 90°С, параметры электроразогрева следует принимать в зависимости от поставленных задач, при этом, с повышением температуры, время предварительного перед разогревом выдерживания следует сокращать.

На рис. 7 представлены данные об изменении величины коэффициента линейного температурного расширения (КЛТР) исследованного жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева.

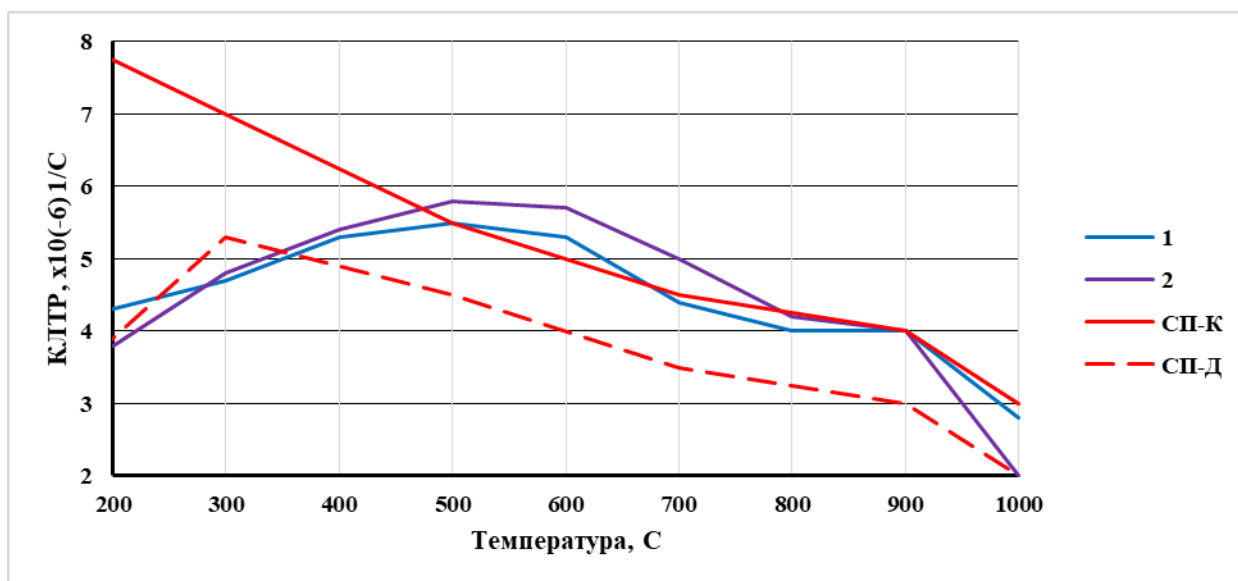


Рис. 7. – Зависимость КЛТР жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева

1,2 – соответственно, без предварительного форсированного электроразогрева смеси и с разогревом
СП-К, СП-Д – по табл. 5.6 СП 27.13330.2017 для состава 23,24 при расчете на кратковременный (К) и длительный (Д) нагрев

Из представленных на рис. 7 данных, следует, что зависимость КЛТР от температуры нагрева исследованного жаростойкого керамзитобетона при температуре выше 500°C при кратковременном нагреве практически идентична представленным в СП 27.13330.2017 данным для составов 23,24 по табл. 5.1. В диапазоне температур до 350°C изменение КЛТР исследованного жаростойкого керамзитобетона подобно закономерности изменения вышеуказанных составов по СП 27.13330.2017 при длительном нагреве.

На рис. 8 представлена зависимость коэффициента теплопроводности исследованного жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева.

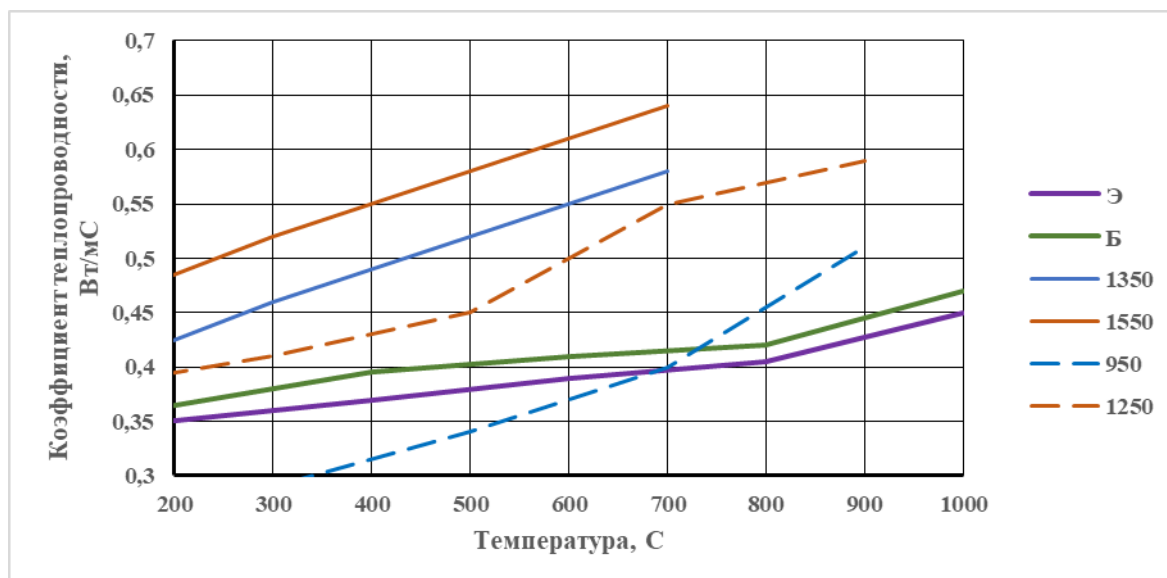


Рис. 8. – Зависимость коэффициента теплопроводности жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева Б, Э – соответственно без предварительного форсированного электроразогрева смеси и с разогревом

950, 1250, 1350, 1550 – по табл. 5.6 СП 27.13330.2017 для составов 23,24

Из представленных на рис. 8 данных, очевидно существенное качественное различие закономерности изменения величины КЛТР от температуры нагрева исследованного жаростойкого керамзитобетона со

средней плотностью 1450...1500 кг/м³ в сравнении с данными СП 27.13330.2017 для составов 23,24 по табл. 5.1. Рост теплопроводности исследованных бетонов при повышении температуры до 1000°С составил 29...34%, тогда как для состава 24 по табл. 5.1 СП 27.13330.2017 при росте температуры до 900°С повышение составляет 55...90%. Возможно, это связано с особенностью структуры исследованного жаростойкого керамзитобетона. Вопрос заслуживает специального изучения.

Заключение

Разработаны составы жаростойкого керамзитобетона с предельно допустимой температурой применения И10 на основе портландцемента и ТМД, полученной обжигом аргиллита классов по прочности на сжатие до В15 и средней плотностью до 1500 кг/м³. Обоснована эффективность технологии получения жаростойкого керамзитобетона с использованием предварительного форсированного электроразогрева бетонной смеси до 60°С и определены рациональные технологические параметры электроразогрева. Рациональная доза ТМД составляет 30...50% массы вяжущего. Остаточная прочность жаростойкого керамзитобетона, полученного по разработанной технологии, после кратковременного нагрева до 1000°С превышает 0,65 от начальной, КЛТР в диапазоне температур 200...1000°С изменяется в пределах $2...5,8 \cdot 10^{-6}$ 1/°С, повышение коэффициента теплопроводности исследованных бетонов с ростом температуры до 1000°С составляет до 34%.

Литература

1. Хлыстов А.И., Божко А.В., Соколова С.В., Рязов Р.Т. Повышение эффективности и улучшение качества футерованных конструкций из жаростойкого бетона // Огнеупоры и техническая керамика. 2004. №3. С. 26-31.

2. Хлыстов А.И., Сульдин В.В. Повышение стойкости и долговечности жаростойких бетонов // Огнеупоры и техническая керамика. 2017. № 3. С. 35-40.
 3. Молодин В.В., Большаков Д.В. Технология футеровки печей кипящего слоя монолитным жаростойким бетоном // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2017. Т. 20, № 3(66). С. 71-75.
 4. Бурханова Р.А., Акчурин Т.К., Вовко В.В. Модифицированные жаростойкие бетоны с использованием шлаковых заполнителей // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 3(80). С. 54-63.
 5. Барпиев Б.Б., Усупова А.А. Жаростойкие бетоны на основе цементных вяжущих // Материаловедение. 2020. № 2(34). С. 13-19.
 6. Хежев Т.А., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Х.А., Курбанов Р.М. Технология и свойства огнезащитных фиброгипсов фиброгипсоверминулитобетонных композитов с применением вулканических горных пород // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. №28. С.77-84.
 7. Хежев Т.А., Кажаров А.Р., Журтов А.В. и др. Теплоогнезащитные композиционные цементные растворы на основе вспученного вермикулита и вулканического пепла // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4700.
 8. Хежев Т.А., Кажаров А.Р., Гегиев М.А. и др. Огнезащитные гипсовые растворы на вспученном вермикулите с применением вулканического пепла // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5781.
-

9. Барпиев Б.Б., Усупова А.А. Жаростойкие бетоны на основе базальтов // Наука и инновационные технологии. 2020. № 1(14). С. 44-48. DOI 10.33942/sit.nes016.
10. Загоруйко Т.В., Перцев В.Т. Использование термостойких материалов на основе легких заполнителей для повышения огнестойкости строительных конструкций // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2011. № 1(1). С. 29-31.
11. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. и др. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего // Строительные материалы. 2015. № 9. С. 18-22.
12. Лесовик В.С., Строкова В.В., Кривенкова А.Н., Ходыкин Е.И. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 25-27.
13. Ефремов А.Н., Лищенко А.Н. Влияние добавок шлака и золы-унос ТЭС на жаростойкие свойства портландцементного камня // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2010. № 1(81). С. 221-225.
14. Смирнов Д.С., Рахимов Р.З., Стоянов О.В. Влияние добавок молотых шлаков на жаростойкость цементного камня // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 6. С. 48-50.
15. Рединов Л.И., Быстров Е.А. Анализ качественных показателей жаростойких бетонов методом экспертных оценок // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2017. Т. 20, № 3. С. 71-73. DOI: 10.22213/2413-1172-2017-3-71-73.

References

1. Xly`stov A.I., Bozhko A.V. Sokolova S.V., Riyazov R.T. Ogneupory` i texnicheskaya keramika. 2004. №3. pp. 26-31.
-



2. Xly`stov A.I., Sul`din V.V. Ogneupory` i texnicheskaya keramika. 2017. № 3. pp. 35-40.
 3. Molodin V.V., Bol`shakov D.V. Trudy` Novosibirskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel`nogo universiteta (Sibstrin). 2017. T. 20, № 3(66). pp. 71-75.
 4. Burxanova R.A., Akchurin T.K., Vovko V.V. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel`nogo universiteta. Seriya: Stroitel`stvo i arxitektura. 2020. № 3(80). pp. 54-63.
 5. Barpiev B.B., Usupova A.A. Materialovedenie. 2020. № 2(34). pp. 13-19.
 6. Xezhev T.A., Xadzhishalapov G.N., Xezhev X.T., Kurbanov R.M. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Texnicheskie nauki. 2013. №28. pp.77-84.
 7. Xezhev T.A., Kazharov A.R., Zhurtov A.V. i dr. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 1(48). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4700.
 8. Xezhev T.A., Kazharov A.R., Gegiev M.A. i dr. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 2(53). URL: [ivdon. Ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5781](http://ivdon.Ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5781).
 9. Barpiev B.B., Usupova A.A. Nauka i innovacionny`e texnologii. 2020. № 1(14). pp. 44-48. DOI 10.33942/sit.nes016.
 10. Zagorujko T.V., Percev V.T. Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. 2011. № 1(1). pp. 29-31.
 11. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.X., Chulkova I.L. i dr. Stroitel`ny`e materialy`. 2015. № 9. pp. 18-22.
 12. Lesovik V.S., Strokova V.V., Krivenkova A.N., Xody`kin E.I. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuxova. 2009. № 1. pp. 25-27.
 13. Efremov A.N., Lishhenko A.N. Vestnik Donbasskoj nacional`noj akademii stroitel`stva i arxitektury`. 2010. № 1(81). pp. 221-225.
 14. Smirnov D.S., Raximov R.Z., Stoyanov O.V. Vestnik Kazanskogo texnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. № 6. pp. 48-50.
-



15. Redinov L.I., By`strov E.A. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova. 2017. Т. 20, № 3. pp. 71-73. DOI 10.22213/2413-1172-2017-3-71-73.