

*На правах рукописи*



**Гаджиев Абдулла Магомедсаламович**

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЖАРОСТОЙКОГО  
КЕРАМЗИТОБЕТОНА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ  
ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВОМ СМЕСИ**

Специальность 2.1.5. Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Махачкала – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Хаджишалапов Гаджимагомед Нурмагомедович**,  
доктор технических наук,  
профессор

Официальные оппоненты: **Ремнев Вячеслав Владимирович**,  
доктор технических наук, профессор, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», руководитель центра специальных бетонов и конструкций

**Перцев Виктор Тихонович**,  
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», профессор кафедры «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

Защита состоится «30» сентября 2023 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.295.01 при ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» по адресу: 367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, каб. 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» <http://www.dstu.ru/>.

Сведения о защите и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ВАК Министерства науки и высшего образования РФ <http://vak.ed.gov.ru/>.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.т.н., доцент



Х.Р. Зайнулабидова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Модернизация строительного комплекса является актуальной задачей и неразрывно связана с разработкой и внедрением новых и развитием существующих технологий и материалов. В различных отраслях промышленности при строительстве новых и модернизации или ремонте существующих тепловых агрегатов эффективно применяются новые виды огнеупорных материалов. Перспективным направлением является применение жаростойких бетонов на пористых заполнителях с использованием в качестве тонкомолотой минеральной добавки продуктов, полученных на основе местного минерального сырья, в т.ч. по схеме применения композиционного вяжущего.

В соответствии с законом «О промышленной политике РФ» от 31.12.2014 г. и законом «О промышленной политике РД» №116 от 08.12.2015 г. в Республике Дагестан создан промышленный кластер строительных материалов. Основным участником кластера выступает АО «Каспийский завод листового стекла». Кластер создан благодаря поддержке Ассоциации содействия развитию кластеров и технопарков в России. Решение о создании кластера строительных материалов в Республике Дагестан принято в связи с тем, что регион обладает огромными запасами минерального сырья для производства различных строительных материалов. В Республике Дагестан в настоящее время функционируют достаточно много предприятий строительной индустрии, которые уже сегодня производят различные строительные материалы: завод по производству керамических плиток, завод по производству гипсосодержащих изделий, Каспийский и Хасавюртовский кирпичные заводы, Махачкалинский и Кизилюртовский заводы керамзитовых заполнителей, Буйнакский цементный завод и стекольный завод «Дагестанские Огни».

Применение жаростойких бетонов на пористых заполнителях и модифицированных композиционных вяжущих из местного минерального сырья взамен штучных огнеупоров при футеровке различных тепловых агрегатов позволяет снизить материалоемкость футеровки до 35 %, теплотери, и, закономерно, расход энергии до 12 %, получить экономию энергозатрат в процессе изготовления и эксплуатации футеровки до 30 %.

**Степень разработанности темы исследования.** В настоящее время существует большой объем исследований, направленных на получение жаростойких бетонов для футеровки различных тепловых агрегатов промышленности строительной индустрии, металлургической, нефтехимической промышленности, а также предприятий электроэнергетики. Проведены обширные исследования в области лёгких жаростойких бетонов. Вопросы получения лёгких жаростойких бетонов с применением керамзитового заполнителя Кизилюртовского керамзитового завода и активированного композиционного вяжущего с минеральной добавкой из обожженного аргиллита из местного минерального сырья Республики Дагестан с предварительным электроразогревом смеси для повышения эксплуатационных свойств в настоящее время не имеют достаточного научного обоснования.

Исследования в области повышения огнестойкости строительных конструкций, жаростойких портландцементных бетонов на пористых заполнителях, в т.ч. с предварительным электропрогревом бетонных смесей проводились такими учёными, как Горлов Ю.П., Жуков В.В., Масленникова М.Г., Милованов А.Ф., Михальчук П.А., Некрасов К.Д., Перцев В.Т., Ремнев В.В., Тарасов А.П., Тотурбиев Б.Д., Федоров А.Е., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. и др. При этом вопросы, связанные с особенностью формирования структуры и свойств жаростойкого керамзитобетона с применением, в качестве тонкомолотой добавки, обожженной аргиллитовой глины, вводимой в бетонную смесь в составе комплексного вяжущего на основе портландцемента, с использованием предварительного сквозного электропрогрева на первой стадии тепловлажностной обработки практически не освещены.

**Цель работы.** Разработка научно обоснованного технологического решения получения жаростойкого керамзитобетона с применением предварительного электроразогрева керамзитобетонной смеси с тонкомолотой добавкой из обожженной аргиллитовой глины, вводимой в бетонную смесь в составе активированного композиционного вяжущего.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- определены рациональные составы композиционного вяжущего, полученного активацией портландцемента и тонкомолотой добавки из обожженного серого аргиллита;
- обоснованы технологические параметры получения жаростойкого керамзитобетона на активированном композиционном вяжущем с предварительным электроразогревом смеси в формах;
- выявлены закономерности изменения от температуры нагрева прочностных, деформационных и теплофизических свойств жаростойкого керамзитобетона на активированном композиционном вяжущем с предварительным электроразогревом смеси в формах;
- разработана технологическая схема производства жаростойкого керамзитобетона на активированном композиционном вяжущем с предварительным электроразогревом смеси в формах;
- выпущена опытная партия жаростойкого керамзитобетона на активированном композиционном вяжущем, разработан технологический регламент производства жаростойких бетонов с предварительным электроразогревом смеси в формах;
- выполнено технико-экономическое обоснование эффективности применения керамзитового гравия и песка Кизилюртовского керамзитового завода для производства футеровочных блоков с температурой применения до 1000 °С из жаростойкого керамзитобетона с предварительным электроразогревом смеси на активированном композиционном вяжущем.

**Научная новизна работы:**

- развиты научные представления о количественном изменении содержания несвязанных оксидов  $\text{SiO}_2$ ,  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$  при реализации предварительного электроразогрева смеси в формах жаростойкого портландцементного ке-

рамзитобетона с тонкомолотой добавкой из обожженного аргиллита и их влиянии на процесс связывания свободных оксидов кальция, образующихся при дегидратации гидроксида;

– доказано, что при реализации предварительного электроразогрева смеси в формах вследствие повышения содержания несвязанных оксидов  $\text{SiO}_2$ ,  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$  и образования алюмината магния  $\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2$ , гидроксида алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и катойта  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$  вследствие их высокой стойкости к температурным и химическим воздействиям и формирования контактного слоя «пористый наполнитель – цементный камень» повышенной плотности обеспечивается рост механической прочности жаростойкого портландцементного керамзитобетона бетона с тонкомолотой добавкой из обожженного аргиллита;

– выявлены основные закономерности влияния рецептурно-технологических факторов: дозы тонкомолотой добавки, состава бетона, продолжительности активации комплексного вяжущего, способа приготовления смеси и формования изделий, продолжительности и температуры предварительного электроразогрева бетонной смеси на изменение прочностных, деформационных и теплофизических свойств жаростойкого керамзитобетона в зависимости от температуры нагрева.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

– выявлена роль предварительного электроразогрева керамзитобетонной смеси в формах в обеспечении улучшения прочностных, деформационных и теплофизических свойств жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем «портландцемент + тонкомолотая минеральная добавка из обожженного аргиллита» с механической активацией на Активаторе-4М вследствие увеличения числа активных молекул вяжущего за счет эффекта самопропаривания и уменьшения миграции влаги в поровых перегородках, что обеспечивает ускорение реакции гидратации вследствие роста химического взаимодействия по причине повышения числа эффективных поверхностей;

– развиты научные представления о влиянии процессов тепломассообмена и массопереноса при электроразогреве смеси в формах при температуре 60...90 °С и сушке при температуре 105 °С на состав новообразований, формирование структуры и свойств цементного камня и контактной зоны «пористый наполнитель – цементный камень»;

– выявлены закономерности изменения прочностных, деформационных и теплофизических свойств жаростойкого керамзитобетона, полученного с применением предварительного электроразогрева бетонной смеси в формах на композиционном вяжущем;

– уточнены количественные значения влияния рецептурно-технологических факторов на прочностные, деформационные и теплофизические свойства жаростойкого керамзитобетона, полученного с применением предварительного электроразогрева бетонной смеси в формах на композиционном вяжущем;

– доказана возможность эффективного использования керамзитового гравия и песка Кизилюртовского керамзитового завода и композиционного вяжущего

щего «портландцемент + тонкомолотая минеральная добавка из обожженного аргиллита» после механической активации на Активаторе-4М для производства с предварительным электроразогревом смеси в формах жаростойких керамзитобетонных с температурой применения до 1000 °С;

– разработаны составы композиционного вяжущего и керамзитобетонной смеси, технологические параметры производства жаростойкого керамзитобетона с предварительным электроразогревом смеси в формах на композиционном вяжущем;

– разработан технологический регламент на производство жаростойких изделий – блоков размером 700×400×200 мм для футеровки стен туннельной печи из разработанного жаростойкого керамзитобетона класса по предельно допустимой температуре применения И10 и класса по прочности на сжатие В10 с общим экономическим эффектом 12 тыс. руб/м<sup>3</sup>.

Результаты экспериментальных исследований внедрены в учебный процесс ДГТУ при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 Строительство, профили подготовки «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», «Промышленное и гражданское строительство», специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений.

**Методология и методы исследования.** Методы исследования жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем из местного минерального сырья с предварительным электроразогревом смеси в формах основаны на фундаментальных положениях технологии жаростойких бетонов. Экспериментальные исследования по оптимизации режимов предварительного электроразогрева смеси в формах до сушки при температуре 105 °С, изучению влияния рецептурно-технологических факторов на свойства жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем с использованием местного сырья проведены с применением методов математической статистики. Исследования процессов формирования структуры и её влияния на свойства жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем проведены по методикам действующих стандартов. Теплофизические и термомеханические исследования свойств бетона проводились по исследовательским методикам.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

– научно обоснованное технологическое решение получения с применением предварительного электроразогрева смеси жаростойкого керамзитобетона с тонкомолотой добавкой из обожженной аргиллитовой глины, вводимой в бетонную смесь в составе активированного композиционного вяжущего;

– результаты оценки количественного изменения при реализации предварительного электроразогрева керамзитобетонной смеси в формах на комплексном вяжущем «портландцемент + тонкомолотая добавка из обожженного аргиллита» содержания несвязанных оксидов SiO<sub>2</sub>, αFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, αAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> алюмината магния Mg (AlO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, гидроксида алюминия Al(OH)<sub>3</sub> и катоита Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>(OH)<sub>12</sub> и их влияния на свойства жаростойкого керамзитобетона;

– параметры целесообразного режима приготовления и уплотнения жаростойкой керамзитобетонной смеси, влияние рецептурно-технологических фак-

торов на прочность, усадку, теплофизические свойства, температурные деформации, в т.ч. под нагрузкой, термостойкость жаростойкого керамзитобетона на комплексном вяжущем «портландцемент + тонкомолотая минеральная добавка из обожженного аргиллита».

**Степень достоверности полученных результатов.** Степень обоснованности и достоверности научных исследований, теоретических и практических выводов, сформулированных в диссертации, подтверждена достаточным объемом экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях с использованием современных методов исследований и инструментальных средств измерения на аттестованном оборудовании.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Дагестанского государственного технического университета (г. Махачкала, 2009-2022 г.г.); научных семинарах кафедр технологии и организации строительного производства, строительных материалов и инженерных сетей Дагестанского государственного технического университета; Всероссийской научно-практической конференции «Компьютерные технологии в строительстве» (г. Махачкала, 2011 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Высокотехнологичные и энергоэффективные технологии и материалы в современном строительстве» (г. Махачкала, 2014 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет» имени акад. М.Д. Миллионщикова. (г. Грозный, 2015 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Новые строительные технологии и материалы» (г. Махачкала, 2016 г.); межрегиональной с международным участием специализированной строительно-архитектурной выставке-форуме «ДАГСТРОЙЭКСПО – 2016, 2017 г.» (г. Махачкала); научно-техническом совещании Министерства промышленности и торговли Республики Дагестан (г. Махачкала, 2016 г.); научно-техническом совещании Министерства строительства и ЖКХ Республики Дагестан (г. Махачкала, 2022 г.).

**Внедрение результатов исследований.** Осуществлен выпуск опытной партии блоков из жаростойкого керамзитобетона на основе композиционного вяжущего с предварительным электроразогревом смеси в ООО «СпецРем-СтройМонтаж» (г. Махачкала).

Разработан технологический регламент на изготовление блоков для жаростойкого бетона на керамзитовом заполнителе с предварительным электроразогревом смеси.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований используются в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 Строительство, магистров по направлению 08.04.01 Строительство.

**Публикации.** По результатам исследований опубликованы 15 научных статей, в том числе 6 публикаций в рецензируемых изданиях ВАК РФ, 2 статьи

в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus и Web of Science.

**Личный вклад автора.** Заключается в планировании и реализации экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных данных, внедрении результатов исследования в практику производства строительных материалов и изделий. Основные научные результаты получены соискателем лично.

**Структура и объем диссертаций.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, заключения, списка литературы из 150 наименований и 5 приложений. Диссертация изложена на 195 страницах и включает 55 рисунков и 26 таблиц.

Автор выражает благодарность за научные консультации д.т.н., профессору Т.А. Хежеву.

**Область исследований** соответствует паспорту научной специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия, п.9 «Разработка составов и совершенствование технологий изготовления эффективных строительных материалов и изделий с использованием местного сырья ...», п.16 «Разработка методов и средств для создания эффективных специальных материалов ... для строительства специальных объектов ...».

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** показана актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, приведены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, данные об апробации работы и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** выполнен обзор данных использования жаростойких портландцементных бетонов, в т.ч. на пористых заполнителях, и путей расширения области их эффективного применения. Выявлена перспективность получения жаростойкого керамзитобетона с улучшенными эксплуатационными свойствами при температуре применения до 1000 °С по технологии предварительного электроразогрева бетонной смеси в формах с последующей сушкой при температуре 105 °С. Определена целесообразность получения тонкомолотой добавки, не представленной в СП 27.13330.2017, из местного минерального сырья – обожженного серого аргиллита, с последующим введением её в бетонную смесь в составе модифицированного композиционного вяжущего (КВ).

На основе обзора литературных данных в области лёгких жаростойких бетонов определены цель и задачи исследований.

**Во второй главе** приведены характеристики используемых материалов, оборудования и методики исследований. В качестве исходных сырьевых материалов для проведения исследований и изготовления опытно-промышленных партий образцов жаростойкого керамзитобетона и жаростойких изделий использованы следующие материалы:

– портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н производства АО «Себряковцемент»;

- тонкомолотая добавка из обожженной аргиллитовой глины Буйнакского месторождения Республики Дагестан;
- керамзитовый гравий и песок ООО «Кизилюртовский завод керамзитового гравия»;
- суперпластификатор СП-1 по ТУ 5870-005-58042865-2005.

Предварительный электроразогрев керамзитобетонной смеси в формах производился на разработанном лабораторном стенде. Каждая серия состояла из 18 образцов 100x100x100 мм, одновременно прогреваемых в трех формах. После электропрогрева смеси по три образца-близнеца от каждой серии испытывали на прочность при сжатии, а остальные образцы помещали в лабораторный сушильный шкаф и выдерживали при температуре 100–110 °С до достижения постоянной массы. После сушки по три образца от каждой серии испытывали на прочность при сжатии. Высушенные образцы нагревали до температуры 800 и 1000 °С в муфельной печи по следующему режиму: подъем температуры в печи со скоростью 200 °С/ч, выдержка при заданной температуре 4 часа. Образцы остывали в печи, испытание образцов на прочность при сжатии производили через 10 суток после нагревания.

Производство КВ включало обжиг аргиллитовой глины с последующим совместным помолом ее с портландцементом в планетарной мельнице «Активатор-4М». Теплопроводность жаростойкого керамзитобетона определялась по методике ВНИПИ Теплопроекта. Деформации жаростойкого керамзитобетона под нагрузкой определялись с использованием электрической криптоловой печи с устройством для нагрузки образца и измерения величины деформации. Коэффициент линейного температурного расширения (КЛТР) жаростойкого керамзитобетона при нагреве определялся на кварцевом емкостном dilatометре, разработанном институтом физики ДНЦ РАН. Рентгеноструктурный анализ образцов произведен на дифрактометре общего назначения ДРОН 2,0 с высокотемпературной установкой УВД–2000. Рентгеноструктурный анализ жаростойкого керамзитобетона выполнен на образцах: с предварительным электроразогревом смеси при 80 °С и после нагрева при 1000 °С; без предварительного электроразогрева смеси после нагрева при 1000 °С; с предварительным электроразогревом смеси при 80 °С и после нагрева при 105 °С; без предварительного электроразогрева смеси после нагрева при 105 °С; с предварительным электроразогревом смеси при 80 °С и после нагрева при 500 °С; без предварительного электроразогрева смеси при 80 °С и после нагрева при 500 °С.

Исследования микроструктуры жаростойкого керамзитобетона до и после нагрева до заданных температур проводились на растровом электронном микроскопе Quanta200 ЗД–SEM/FIB (Duae Vuamtm) в научно-исследовательской лаборатории «Наноматериалы и нанотехнологии» Грозненского государственного нефтяного технического университета им. М.Д. Миллионщикова.

Оценку деформаций под нагрузкой жаростойкого керамзитобетона при высоких температурах выполняли на образцах-цилиндрах диаметром 36 мм и высотой 50 мм, после высушивания до постоянной массы при температуре 105°С. Температура нагрева при испытании составляла 1000 °С.

Другие характеристики использованных материалов и образцов определяли по действующим государственным стандартам. Обработку экспериментальных данных производили с помощью программы Microsoft Excel.

**Третья глава** посвящена исследованиям влияния предварительного электроразогрева керамзитобетонной смеси на прочностные, деформационные и теплофизические свойства жаростойкого керамзитобетона на активированном композиционном вяжущем. Выполнено математическое моделирование процесса предварительного электроразогрева смеси жаростойкого бетона, которое обеспечило хорошее совпадение с результатами экспериментальных данных.

Составы жаростойкого керамзитобетона на активированном композиционном вяжущем приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы жаростойкого керамзитобетона на активированном композиционном вяжущем

№№ составов	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона						
	портландцемент (ПЦ), кг	тонкомолотая добавка – обожженная аргиллитовая глина		заполнитель, л, фракции, мм			добавка СП-1, кг
		% от ПЦ	кг	5-10	2-5	до 2	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	405	10	45	360	360	580	0,68
2	315	30	135	360	360	580	0,68
3	270	40	180	360	360	580	0,68
4	225	50	225	360	360	580	0,68

Примечание: расход воды 175 л/м<sup>3</sup>

Сравнительный анализ изменения прочности всех составов от температуры нагрева до 1000 °С показал повышение прочности при предварительном электроразогреве смеси в формах на 25÷32 % относительно эталонного образца. Увеличение прочности жаростойкого керамзитобетона с предварительным электроразогревом смеси в формах на композиционном вяжущем связано с особенностями температурного поля по объему образцов и процессами массопереноса между формирующимся цементным камнем и пористым заполнителем, что приводит к интенсификации реакции гидратации портландцемента, как за счет возрастания активности воды при повышенных температурах, так и за счет известного эффекта влияния температуры на скорость химических реакций, что сопровождается значительным ускорением набора прочности бетона в начальный период твердения. Подтверждением является выявленное снижение количества химически несвязанной воды и уменьшение порового пространства в структуре бетона.

Определение рациональной дозы (30 %) тонкомолотой добавки реализовано с использованием смесей без предварительного электроразогрева в формах при содержании добавки 10...50 % от массы вяжущего. Предел прочности на сжатие жаростойкого керамзитобетона до нагрева, в зависимости от дозы добавки, составил 10,7...12,3 МПа, а в зависимости от температуры нагрева 6,7...18,3 МПа. Повышение температуры предварительного электроразогрева

керамзитобетонной смеси в формах свыше 60 °С не способствует росту остаточной, после кратковременного нагрева, прочности, но с учетом влияния параметров электроразогрева на термостойкость жаростойкого керамзитобетона при 800 °С, сделан вывод о целесообразности назначения параметров электроразогрева смеси в зависимости от поставленных задач.

Исследования влияния температурных параметров предварительного электроразогрева керамзитобетонной смеси в формах на композиционном вяжущем на кинетику внешнего массообмена выявили, в частности, интенсивный рост влагопотерь при повышении температуры нагрева с 80 °С до 90 °С, что оказывает влияние на формирование структуры и свойств жаростойкого керамзитобетона. Сделан вывод о целесообразности применения предварительного электроразогрева керамзитобетонной смеси в формах на основе активированного композиционного вяжущего для получения жаростойкого керамзитобетона с улучшенными прочностными, деформационными и теплофизическими свойствами. Также сокращается технологический процесс изготовления жаростойких изделий, период сушки и вывода теплового агрегата на рабочий режим, при этом наиболее благоприятным режимом первого нагрева, способствующим снижению деструктивных процессов в бетоне, является ступенчатый нагрев.

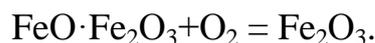
**Четвертая глава** посвящена исследованию особенностей структуры жаростойких керамзитобетонов с предварительным электроразогревом смеси в формах на композиционном вяжущем.

Анализ пористости жаростойкого керамзитобетона показал, что при общей анализируемой площади 1417,61 мм<sup>2</sup>, общий периметр пор составляет 1774,7 мм, общая площадь пор составляет 145,24 мм<sup>2</sup> (10,2 %), средняя площадь пор 0,051 мм<sup>2</sup>, средний периметр пор 0,63 мм, средний диаметр пор 0,17 мм, средний фактор формы пор 0,62 мм, максимальный диаметр пор 4,71 мм, минимальный диаметр пор 0,04 мм. Зерна керамзита между собой прочно сцементированы. Адгезионный слой в основном химический, коррозионный.

В образцах, полученных без предварительного электроразогрева смеси в формах после воздействия температуры 1000 °С, фиксируются волосяные микротрещины, появление которых объясняется тем, что в процессе твердения такого керамзитобетона в нем остается повышенное количество химически несвязанной воды, которая при нагреве до 1000 °С переходит в парообразное состояние, что существенно повышает поровое давление, вызывающее дополнительные растягивающие напряжения в структуре бетона, приводящие к появлению микротрещин. Существенное снижение, либо полное отсутствие микротрещин в образцах, полученных из керамзитобетонной смеси с предварительным электроразогревом смеси в формах до 90 °С, объясняется значительным сокращением количества несвязанной воды, испаряющейся в процессе предварительного электроразогрева смеси.

Способ получения жаростойкого керамзитобетона с предварительным электроразогревом смеси в формах оказывает существенное влияние на количественное изменение содержания некоторых оксидов и минералов после воздействия нагрева до 1000 °С (табл. 2). Содержание SiO<sub>2</sub> составляет 58 % против

33,3 % в образцах без предварительного электроразогрева смеси в формах,  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 27 % против 10,1 %,  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8 % против 3 %. Увеличение содержания  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  способствует улучшению прочностных, деформационных и теплофизических свойств жаростойкого керамзитобетона, поскольку  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  обладают высокой стойкостью к температурным и химическим воздействиям. В частности,  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  обладает огнеупорностью до 1565 °С, способствует в жаростойких бетонах при обжиге появлению железистого стекла и при этом инициирует образование муллита. Увеличение содержания  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  вероятно связано с возможной химической реакцией окисления смешанного оксида  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  кислородом воздуха по схеме:



Наличие в составе  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  также интенсифицирует образование муллита в структуре бетона.

Таблица 2 – Содержание несвязанных оксидов в жаростойком бетоне

Оксиды	содержание несвязанных оксидов, %	
	с предварительным электроразогревом	без предварительного электроразогрева
$\text{SiO}_2$	58 %	33,3 %
$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$	27 %	10,1 %
$\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$	8 %	3 %
$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ - $\text{Mg}_2\text{SiO}_3$	7 %	36,4 %
$\text{Al}_2\text{MgO}_4(\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2)$		17,2 %

Помимо указанных оксидов, выявлено соединение  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ , открытое в первой половине 19-го века и известное как минерал катоит, имеющий твердость по шкале Мооса 6 баллов. Наличие катоита в сочетании с увеличением содержания  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  объясняет повышение механической прочности исследованного жаростойкого керамзитобетона. Определенный вклад вносит  $\text{MgAl}_2\text{Si}_2$  – силицид алюминия-магния, обладающий высокой термической стойкостью и прочностью.

Исследования влияния температуры нагрева на температурные деформации, усадку и теплопроводность жаростойкого керамзитобетона проведены на составе, представленном в таблице 3.

Таблица 3 – Состав жаростойкого керамзитобетона с предварительным электроразогревом смеси на композиционном вяжущем для исследования деформационных и теплофизических свойств

КВ (ПЦ+ТМД), кг/м <sup>3</sup>	СП-1, кг/м <sup>3</sup>	Заполнитель в зависимости от фракции кг/м <sup>3</sup>			Вода, л
		керамзитовый гравий		керамзитовый песок	
		5-7 мм	7-10 мм		
(280 +120) <sup>1</sup>	2	507	218	625	175

Примечание: 1 – тонкость помола 3500 см<sup>2</sup>/г

Усадочные деформации в бетоне, связанные с обезвоживанием, прекращаются в процессе сушки в интервале температур 180...220 °С. При дальнейшем нагреве усадочные деформации не оказывают влияния на КЛТР. Возраста-

ние значения КЛТР наблюдается в интервале размягчения и образования плавня, сопровождающегося возникновением новообразований. Снижение КЛТР у жаростойкого керамзитобетона на КВ связано с уменьшением гелиевого пространства между частицами цемента за счет интенсификации реакций гидратации, увеличением средней плотности и прочности бетона. В диапазоне температур 20... 200 °С отмечается повышение КЛТР примерно на 10 %. Далее при нагреве в диапазоне 300...800 °С происходит увеличение КЛТР примерно еще на 10 %. После 900 °С отмечается значительное снижение величины КЛТР. В рабочем диапазоне температур до 1000 °С КЛТР жаростойкого керамзитобетона изменяется в пределах  $(3,9...5,8...2 \times 10^{-6}) 1/^\circ\text{C}$ . В жаростойком бетоне с предварительным разогревом смеси показатель КЛТР на 10-20 % ниже после первого нагрева вследствие более интенсивного формирования структуры цементного камня и более полной гидратации вяжущего вещества в сочетании с разрушением первоначально образовавшихся вокруг гидратирующихся зерен цемента «экранирующих» оболочек из гидросульфалюминатов кальция, которые при температуре близкой к 100 °С почти полностью разрушаются, что приводит к открытию негидратированных слоев цемента, обеспечению нового контакта с водой и отвода продуктов гидратации, т.е. увеличению степени гидратации с уменьшением количества несвязанной воды. На снижение КЛТР с предварительным электроразогревом смеси в формах при первом и втором нагреве существенное влияние оказывает и уменьшение порового давления, связанное с удалением несвязанной воды из пор заполнителя.

Зависимость КЛТР керамзитобетона от температуры нагрева приведена на рисунке 1.

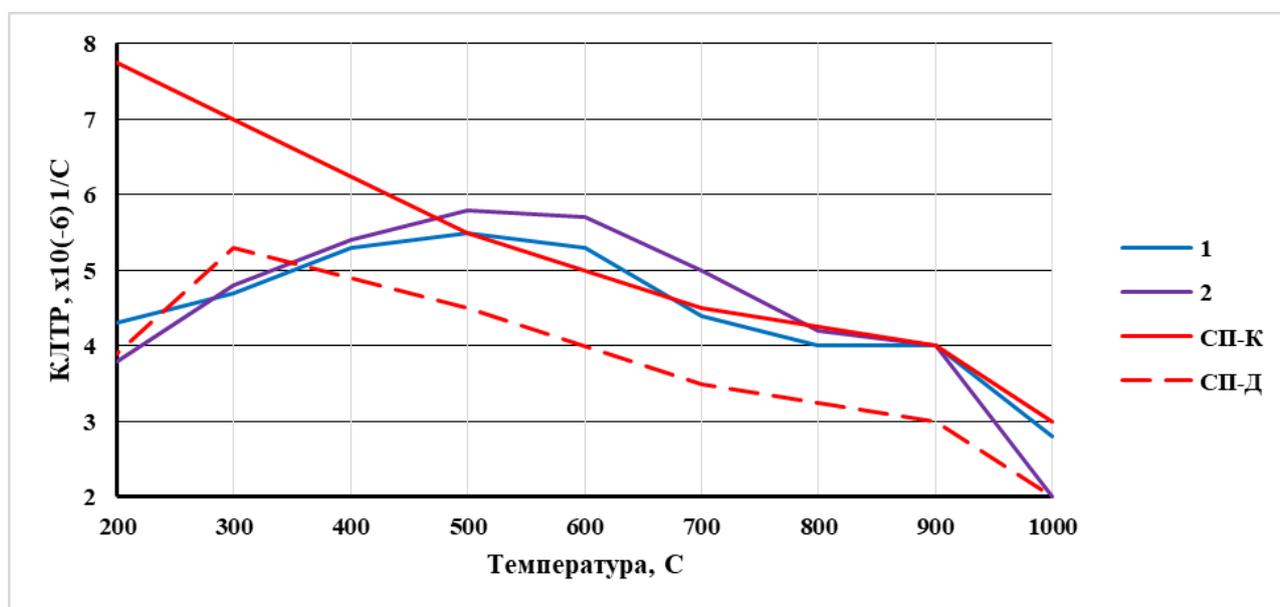


Рисунок 1 – Зависимость КЛТР жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева

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

При первом нагревании образцов жаростойкого керамзитобетона, изготовленных с предварительным электроразогревом смеси в формах и без предварительного электроразогрева, наблюдается рост расширения до температуры 600...650 °С, затем деформация стабилизируется и фиксируется плавное уменьшение деформаций расширения. При повторном нагревании образцов жаростойкого керамзитобетона, изготовленных с предварительным форсированным электроразогревом смеси в формах и без электроразогрева, наблюдается достаточно равномерное расширение вплоть до 1000 °С (рис. 2).

Усадка жаростойкого керамзитобетона, изготовленного с предварительным электроразогревом смеси в формах, плавно возрастает до значений 0,04 % при температуре 600 °С, далее фиксируется ускорение роста усадочных деформаций до значений 0,12 % при 1000 °С. Для жаростойкого керамзитобетона, изготовленного без предварительного электроразогрева смеси в формах, зависимость усадки от температуры носит более сложный, хотя и подобный характер, а значения достигают 0,1 % при 600 °С и 0,24 % при 1000 °С, т.е. имеет место удвоение величины деформаций усадки (рис. 3).

Температурный интервал размягчения, установленный при исследовании деформаций под нагрузкой жаростойких керамзитобетонов при высоких температурах в зависимости от температуры предварительного нагревания, составил 180...206 °С, что достаточно хорошо согласуется с данными (190 °С) Некрасова К.Д. и Масленниковой М.Г.

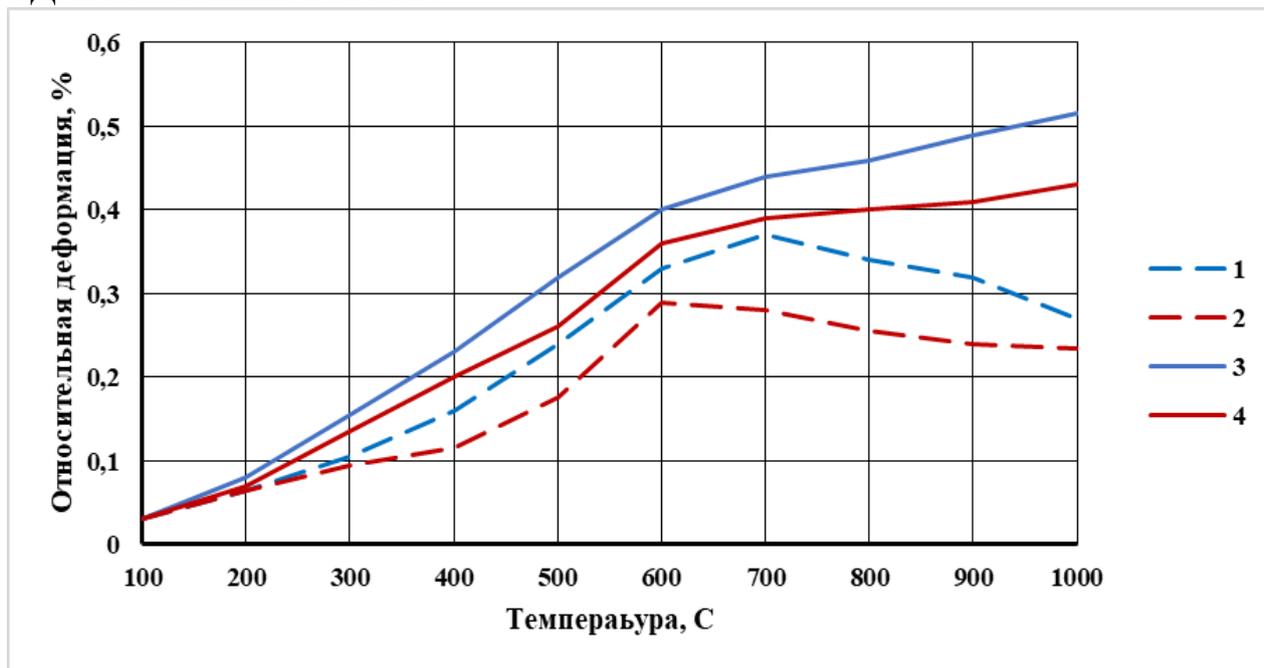


Рисунок 2 – Зависимость линейной деформации жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева

- 1 – первый нагрев без предварительного электроразогрева смеси;
- 2 – первый нагрев с предварительным электроразогревом смеси;
- 3 – второй нагрев без предварительного электроразогрева смеси;
- 4 – второй нагрев с предварительным электроразогревом смеси

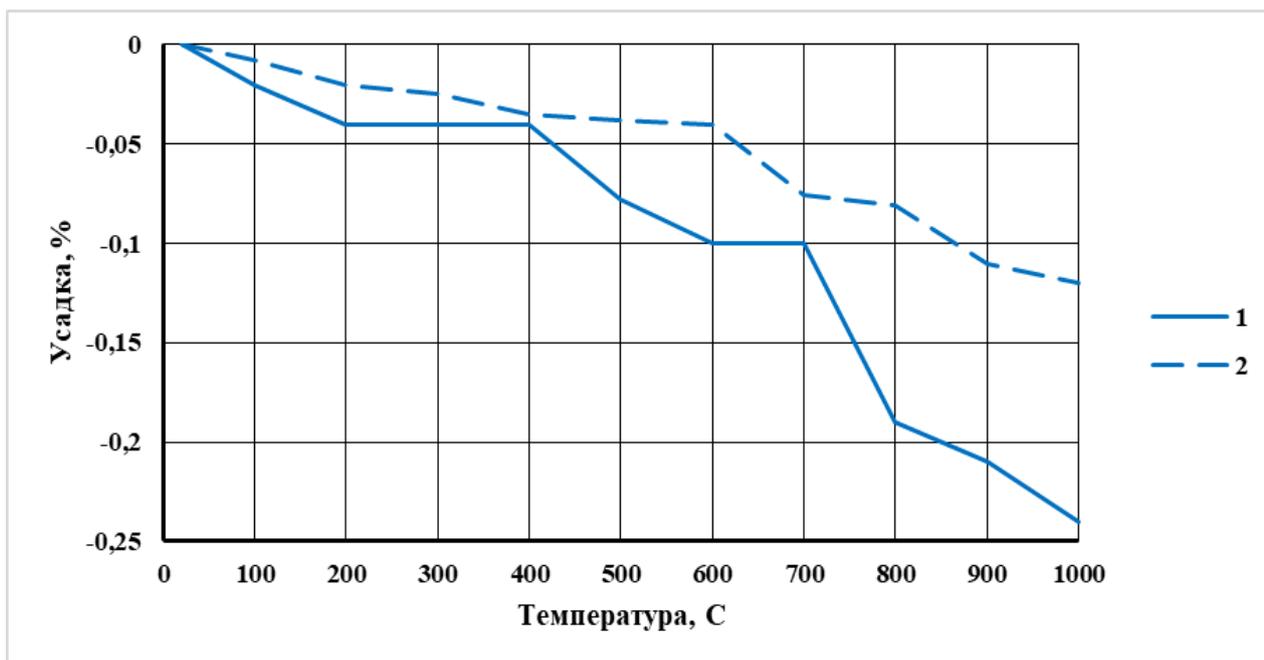


Рисунок 3 – Зависимость усадки керамзитобетона от температуры нагрева  
 1 – без предварительного электропрогрева смеси;  
 2 – с предварительным электропрогревом смеси

Термостойкость жаростойкого керамзитобетона на КВ, изготовленного с использованием различных режимов предварительного электропрогрева смеси в формах, составляет от 12 до 15 воздушных теплосмен (табл. 4), что соответствует данным СП 27.13330.2017 для состава 24.

Таблица 4 – Термостойкость керамзитобетона с предварительным электропрогревом смеси

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура предварительного прогрева, °С	Температура испытания, °С	Количество воздушных теплосмен		
			до появления		до разрушения образцов
			волосяных трещин	открытых трещин	
1450-1500	60	800	5	6	12
	80		6	8	14
	90		7	9	15

Коэффициент теплопроводности исследованного жаростойкого керамзитобетона в зависимости от температуры закономерно возрастает, но имеет место отличие изменения величины КЛТР от температуры нагрева в сравнении с данными СП 27.13330.2017 (рис. 4). Повышение коэффициента теплопроводности исследованных жаростойких керамзитобетонов составило 29...34 % при повышении температуры до 1000 °С, что существенно ниже 55...90 % для состава 24 по СП 27.13330.2017.

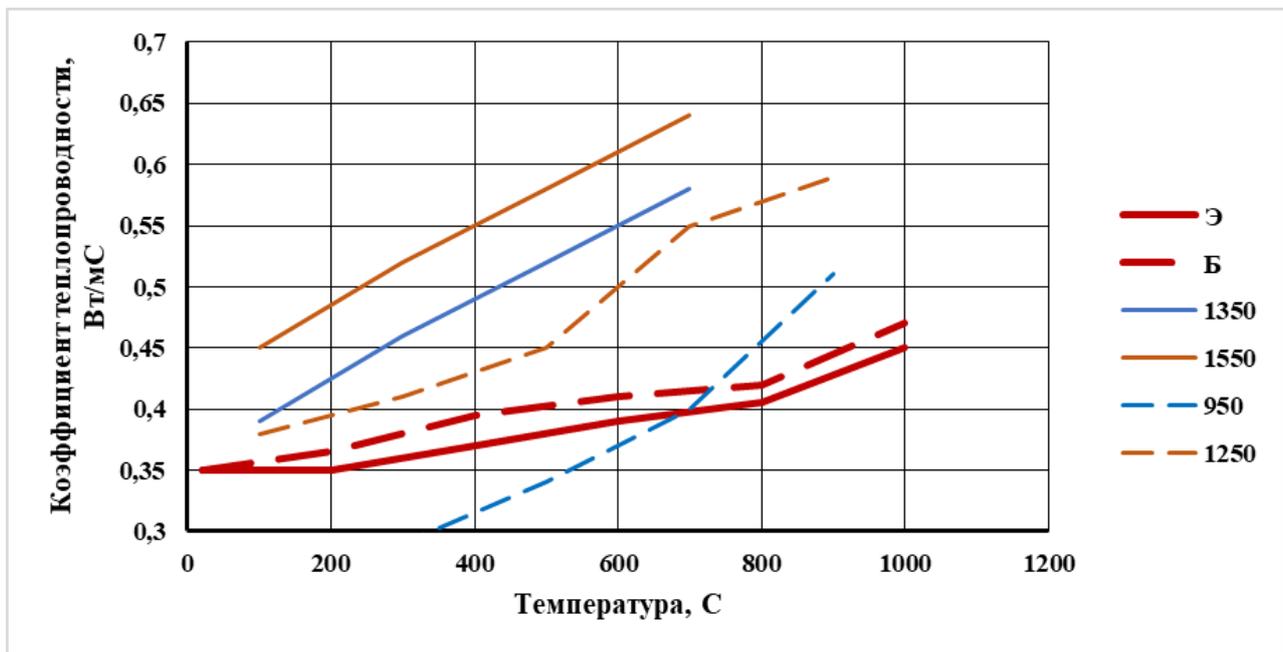


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента теплопроводности жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева Б, Э – соответственно без предварительного форсированного электроразогрева смеси и с разогревом; 950, 1250, 1350, 1550 – по табл. 5.6 СП 27.13330.2017 для составов 23, 24

Исследование влияния рецептурных и технологических факторов на предел прочности жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем после кратковременного нагрева до 1000 °С показало (рис. 5):

- зависимость предела прочности на сжатие от величины водотвердого отношения В/Т носит экстремальный характер, характерный для бетонов на пористых заполнителях;
- рациональной величиной В/Т смеси исследованных жаростойких керамзитобетонов, полученных с предварительным электроразогревом смеси до 80...90 °С, является диапазон 0,3...0,4;
- при разогреве до 60 °С и для бетонов без предварительного электроразогрева смеси рациональной величиной В/Т можно считать значения в диапазоне 0,37...0,44;
- предварительный электроразогрев смеси в формах при рациональном значении В/Т обеспечивает повышение предела прочности на 50...90 % при температуре разогрева до 80...90° С и на 40...45 % при температуре разогрева до 60 °С относительно эталона без электроразогрева смеси.

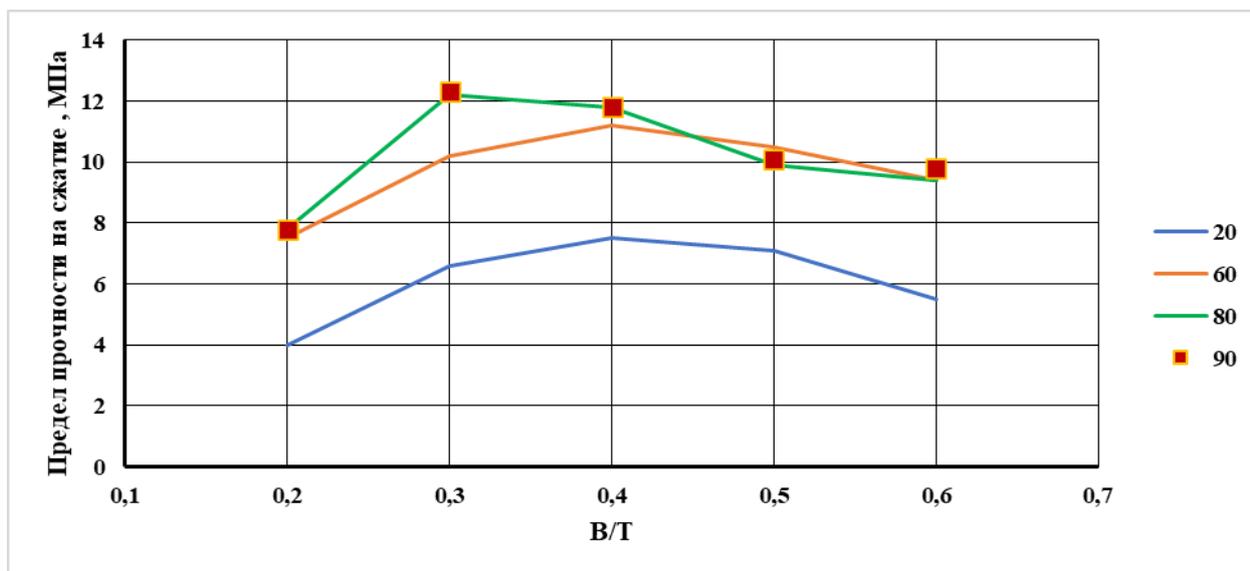


Рисунок 5 – Зависимость предела прочности на сжатие жаростойкого керамзитобетона на комплексном вяжущем после кратковременного нагрева до 1000 °С от величины В/Т 20...90 – температура предварительного электроразогрева смеси

Исследование влияния на предел прочности жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем после сушки при 105 °С типа бетоносмесителя (гравитационного Г и принудительного П действия) и режимов перемешивания выполнено на бетонных смесях с осадкой конуса 2 см (П1) (табл. 5). Исследованы режимы:

1 – загрузка всех компонентов смеси и воды одновременно и перемешивание в течение 6-8 минут;

2 – загрузка всех компонентов одновременно, сухое перемешивание в течение 2-3 минут, затворение водой и перемешивание в течение 3-4 минут при общем времени перемешивания 5-7 минут;

3 – загрузка песка и композиционного вяжущего, перемешивание в течение 2 минут, загрузка гравия, перемешивание в течение 2-3 минут, затворение водой и перемешивание в течение 3-4 минут при общем времени перемешивания 7-9 минут.

Таблица 5 – Влияние типа смесителя и режимов перемешивания на предел прочности керамзитобетона после сушки при температуре 105 °С

Смесители	Режимы перемешивания	Предел прочности на сжатие, МПа (%)			
		без предварительного разогрева	с предварительным разогревом		
			при 60 °С	при 80 °С	при 90 °С
П	1	15,32 (100)	13,92 (100)	15,87 (100)	16,77 (100)
	2	15,87 (103,5)	14,22 (102,1)	16,11 (101,5)	17,92 (106,8)
	3	16,52 (107,8)	14,67 (105,4)	16,58 (104,5)	18,61 (110,9)
Г	1	13,82 (90,2)	13,17 (94,6)	15,12 (95,3)	16,27 (97,0)
	2	14,27 (93,1)	13,87 (99,6)	15,91 (100,3)	16,90 (100,8)
	3	15,55 (101,5)	14,15 (101,6)	16,22 (102,2)	17,50 (104,3)

Исходя из полученных данных для практических целей рекомендуется второй режим перемешивания как наиболее короткий, т.е. технологичный. Кроме того, при перемешивании по второму режиму в смесителях гравитационного действия в случае применения предварительного электроразогрева смеси в формах обеспечивается значение прочности, равное при использовании традиционного режима (№ 1) в смесителях принудительного действия, которые для смесей на пористых заполнителях являются предпочтительными.

Исследование влияния интенсивности колебаний при вибропрессовании бетонной смеси на предел прочности на сжатие жаростойкого керамзитобетона без предварительного электроразогрева смеси и с предварительным электроразогревом смеси в формах до температур 60...90 °С показало, что максимальное значение прочности на сжатие исследованного жаростойкого керамзитобетона обеспечивается при интенсивности колебаний 300-320 см<sup>2</sup>/сек<sup>3</sup> независимо от режима предварительного разогрева при величине пригруза (13 ÷ 14) 10<sup>-2</sup> МПа.

**В пятой главе** приведены сведения о внедрении и технико-экономическое обоснование эффективности применения жаростойкого керамзитобетона на комплексном вяжущем с тонкомолотой добавкой из обожженного аргиллита. Опытно-промышленное внедрение разработанного жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем с предварительным электроразогревом смеси реализовано на кирпичном заводе ООО «СпецРемСтройМонтаж» в п. Карабудахкент Карабудахкентского района Республики Дагестан при футеровке стен туннельной печи обжига кирпича блоками из разработанного жаростойкого керамзитобетона. Экономический эффект по сравнению с привозными штучными огнеупорами составляет 15,7 тыс. руб на 1 м<sup>3</sup> футеровки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Развита научные представления о количественном изменении содержания несвязанных оксидов SiO<sub>2</sub> до 74 %, αFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и αAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 2,7 раза при реализации предварительного электроразогрева смеси в формах жаростойкого портландцементного керамзитобетона с тонкомолотой добавкой из обожженного аргиллита, доказано формирование в этих условиях повышенного содержания несвязанных оксидов SiO<sub>2</sub>, αFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и αAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, алюмината магния Mg (AlO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, гидроксида алюминия Al(OH)<sub>3</sub> и катойта Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>(OH)<sub>12</sub>, что вследствие их высокой стойкости к температурным и химическим воздействиям и формирования контактного слоя «пористый заполнитель – цементный камень» повышенной плотности обеспечивается рост механической прочности жаростойкого портландцементного керамзитобетона с тонкомолотой добавкой из обожженного аргиллита.

2. Определена рациональная дозировка тонкомолотой добавки из обожженного аргиллита, определены параметры обжига, разработаны составы композиционного вяжущего, содержащие 30...50 % тонкомолотой добавки и опре-

делены технологические параметры получения композиционного вяжущего посредством совместного помола до удельной поверхности  $3500 \text{ см}^2/\text{г}$ .

3. Определены параметры целесообразного режима приготовления бетонной смеси с рациональными дозой тонкомолотой добавки из обожженного аргиллита и величиной В/Т в диапазоне  $0,3 \dots 0,44$  в смесителях принудительного и гравитационного типа с продолжительностью перемешивания 5-7 минут, включая загрузку компонентов, сухое перемешивание 2-3 минуты, затворение, 3-4 минуты перемешивания и параметры уплотнения смеси – интенсивность колебаний  $300-320 \text{ см}^2/\text{сек}^3$  независимо от режима предварительного разогрева при величине пригруза  $(13 \div 14) 10^{-2} \text{ МПа}$ .

4. Подтверждена характерная для бетонов на пористых заполнителях экстремальная зависимость предела прочности на сжатие жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем после кратковременного нагрева до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  от величины В/Т, повышение предела прочности на сжатие в случае предварительного электроразогрева смеси в формах с рациональным В/Т составляет  $50 \dots 90 \%$  при температуре разогрева до  $80 \dots 90 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $40 \dots 45 \%$  при температуре разогрева до  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  относительно эталона без электроразогрева.

5. Термостойкость жаростойкого керамзитобетона, изготовленного с использованием различных режимов предварительного электроразогрева смеси в формах, составляет от 12 до 15 воздушных теплосмен, что соответствует требованиям СП 27.13330.2017. Температурный интервал размягчения, установленный при исследовании деформаций под нагрузкой жаростойких керамзитобетонов при высоких температурах в зависимости от температуры предварительного нагревания, составил  $180 \dots 206 \text{ }^\circ\text{C}$ , что достаточно хорошо согласуется с данными ( $190 \text{ }^\circ\text{C}$ ) Некрасова К.Д. и Масленниковой М.Г.

6. Усадка жаростойкого керамзитобетона, изготовленного с предварительным электроразогревом смеси в формах, плавно возрастает до значений  $0,04 \%$  при температуре  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ , далее фиксируется ускорение роста усадочных деформаций до значений  $0,12 \%$  при  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для жаростойкого керамзитобетона, изготовленного без предварительного электроразогрева смеси, зависимость усадки от температуры носит более сложный, хотя и подобный характер, а значения достигают  $0,1 \%$  при  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $0,24 \%$  при  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , т.е. имеет место удвоение величины деформаций усадки.

7. Применение механически активированного композиционного вяжущего «портландцемент + тонкомолотая добавка из обожженного аргиллита» в исследованных жаростойких керамзитобетонах со средней плотностью  $1450 \dots 1500 \text{ кг}/\text{м}^3$  обеспечило существенное качественное различие, особенно при кратковременном нагреве до  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ , закономерности изменения от температуры нагрева величины КЛТР в сравнении с данными СП 27.13330.2017. В рабочем диапазоне температур до  $200 \dots 500 (600) \dots 1000 \text{ }^\circ\text{C}$  КЛТР жаростойкого бетона на керамзитовом заполнителе изменяется в пределах  $(3,9 \dots 5,8 \dots 2 \times 10^{-6}) 1/^\circ\text{C}$ .

8. Рост коэффициента теплопроводности в исследованных жаростойких керамзитобетонах на композиционном вяжущем с тонкомолотой добавкой из

обожженного аргиллита до 800 °С имеет практически линейный характер, при более высокой температуре теплопроводность возрастает более интенсивно, сохраняя линейный характер, в результате при повышении температуры до 1000 °С рост коэффициента теплопроводности составил 29...34 %, тогда как по СП 27.13330.2017 при росте температуры до 900 °С повышение составляет 55...90 %.

9. Разработаны составы композиционного вяжущего, жаростойкого керамзитобетона класса по предельно допустимой температуре применения И10 и класса по прочности на сжатие В10, установлены технологические параметры предварительного электроразогрева смеси и режима сушки при разработке технологического регламента на производство жаростойких изделий – блоков размером 700×400×200 мм для футеровки стен туннельной печи на кирпичном заводе ООО «СпецРемСтройМонтаж» в п. Карабудахкент Республики Дагестан с общим экономическим эффектом 33,658 тыс. руб. на 1 м<sup>3</sup> футеровки.

**Предпосылки дальнейшей разработки темы.** Данная диссертационная работа не исчерпывает всего круга вопросов, связанных с исследованием жаростойкого керамзитобетона с предварительным электроразогревом смеси для футеровки стен туннельной печи обжига кирпича в условиях силовых и температурных воздействий. Дальнейшие исследования планируется направить на расширение области применения предложенной технологии жаростойкого керамзитобетона на железобетонные конструкции различных конфигураций и условий эксплуатации.

## **ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК:**

1. **Гаджиев, А.М.** Технология устройства монолитной футеровки шахтной печи для обжига извести с применением автоматизированного модуля скользящей опалубки / Хаджишалапов Г.Н., Гаджиев А.М., Курбанов Р.М. // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2011. – №4. – Т.23. – С.112–116.

2. **Гаджиев, А.М.** Влияние зернового состава заполнителя на свойства жаростойкого базальтового бетона / Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А., Гаджиев А.М., Курбанов Р.М. // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2017. – №3. – Т.44. – С.146–155.

3. **Гаджиев, А.М.** Влияние предварительного электроразогрева на физико-термические характеристики жаростойкого керамзитобетона на основе композиционного вяжущего из местного минерального сырья / Алхасова Ю.А., Гаджиев А.М., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Махачкала. – №3 (45). – 2018. – С. 145–154.

4. **Гаджиев, А.М.** Влияние вакуумной обработки и технологических факторов на прочность жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем / Алимуратов Ш.А., Гаджиев А.М., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Махачкала. – №2 (46). – 2019. – С. 158–166.

5. **Гаджиев, А.М.** Исследование влияния электроразогрева керамзитобетонной смеси на структуру и свойства легких керамзитобетонов, подверженных воздействию высоких температур / Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А., Гаджиев А.М., Раджабов У.И., Исаева У.И. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Махачкала. – №4 (48). – 2021. – С. 187–196.

6. **Гаджиев, А.М.** Жаростойкий керамзитобетон на основе портландцемента с обожженным аргиллитом из смесей с предварительным форсированным электроразогревом / Гаджиев А.М. Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. // Инженерный вестник Дона. – 2023. – №6. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2023/8510>.

**Статьи в журналах, индексируемых наукометрической базой Web of Science и Scopus:**

7. **Gadjiev, A.M.** Influence of Preheating on Thermomechanical Properties of Heat-Resistant Ceramsite Concrete Based on Composite Binding Agent / G.N. Khadzishalapov, A.M. Gadzhiev, T.A. Hezhev, M.N. Kokoev // International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology. – 2019. Vol. 1. – P. 179-182.

8. **Abdulla M. Hajiyev.** Heat Resistant Light Solutions on the Activated Composite Binder from the Local Mineral Raw Materials / G.N. Khadzishalapov, Abdulla M. Hajiyev, T.A. Khezhev, Shakhmurad A. Alimuradov // Materials Science Forum. – 2019. Vol. 974. – P. 400-405.

**В других изданиях:**

9. **Гаджиев, А.М.** Влияние предварительного разогрева на свойство специальных бетонов / Хаджишалапов Г.Н., Гаджиев А.М. // Сборник тезисов докладов XXX итоговой научно-технич. конф. преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. Технические науки. Дагестанский государственный технический университет. – 2009. – Ч. 1 – С. 255–256.

10. **Гаджиев, А.М.** Влияние предварительного разогрева на теплофизические свойства и режим первого нагрева бетона для повышенных температур / Хаджишалапов Г.Н., Гаджиев А.М. // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: материалы V междунар. научно-практ. конф. – Махачкала-Ростов-на-Дону: ДГТУ, РГСУ. – 2010. – С. 157–159.

11. **Гаджиев, А.М.** Определение оптимальных режимов сушки жаростойких бетонов для повышенных температур / Хаджишалапов Г.Н., Гаджиев А.М., Курбанов Р.М. // Сборник тезисов докладов XXXIII итоговой научно-технич. конф. преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. Дагестанский государственный технический университет. – 2012. – С. 67–68.

12. **Гаджиев, А.М.** Жаростойкое вяжущее на основе портландцемента с активацией на «Активаторе-4М» / Хаджишалапов Г.Н., Гаджиев А.М., Рикматулаев Р.Г., Курбанов Р.М. // Материалы всероссийской

научно-технической конференции. Дагестанский государственный технический университет. – 2012. – С. 172–174.

13. **Гаджиев, А.М.** Влияние предварительного разогрева бетонной смеси на поровое давление в бетоне / Хаджишалапов Г.Н., Гаджиев А.М. // Сборник тезисов докладов XXXV итоговой научно-технич. конф. преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. Дагестанский государственный технический университет. – 2014. – С. 192–193.

14. **Гаджиев, А.М.** Влияние предварительного разогрева на теплофизические свойства и режим первого нагрева бетона для повышенных температурах / Хаджишалапов Г.Н., Гаджиев А.М. // Научные исследования в области строительства: научно-тематический сборник. – Махачкала. – ДГТУ. – 2014. – С. 101–103.

15. **Гаджиев, А.М.** Влияние предварительного разогрева на теплофизические свойства и режим первого нагрева бетона для повышенных температур / Хаджишалапов Г.Н., Гаджиев А.М. // Современные строительные материалы, технологии и конструкции: материалы Международной научно-практич. конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ «ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». – Грозный: ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – 2015. – С. 448–451.